

# Una Mirada al Laboratorio de Tecnología Anaerobia del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec: a 20 años de su creación

Dr. Sergio Esteban Vigueras Carmona\*  
(Fundador del LTA, TESE)



## *Acerca del autor*

\*Académico-Investigador, de la División de Ingeniería Química y Bioquímica, del Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Ecatepec, Estado de México.



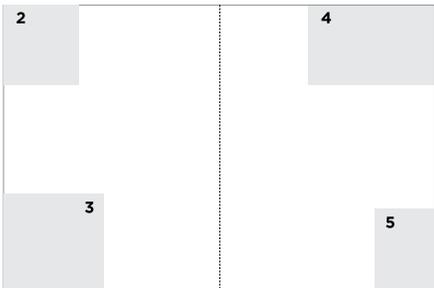
Dr. Sergio Esteban Viguera Carmona

## Resumen

El laboratorio de Tecnología Anaerobia (LTA) del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), cumple en este 2024 veinte años de su creación. Durante estos primeros años, hemos conformado la idea de crear no solo un espacio para la investigación y la formación de recursos humanos especializados, sino que este laboratorio también sea un punto de encuentro y de identidad con el TESE, un lugar que se añore, se recuerde gratamente y al que se desee regresar convencidos de que siempre estaremos dispuestos a conversar sobre las anécdotas pasadas y las presentes, pues muchos de los que han pasado por el “Lab” vuelven y traen nuevos relatos; también estamos dispuestos a iniciar planes para el futuro inmediato o de largo plazo, siempre compartiendo la tradicional taza de café en el “Lab”. Pienso que lo hemos logrado, aún sin las redes sociales que ahora nos mantienen más unidos y cercanos (Tecnología\_anaerobia en Instagram). A lo largo de los años, hemos logrado mantener contacto con muchos de nuestros antiguos colaboradores, y varios de nuestros exalumnos (ahora ingenieros, maestros y doctores) son también nuestros colaboradores.

En el LTA del TESE hemos recibido a más de 200 alumnos durante ese tiempo; tesis de doctorado, maestría, licenciatura, de residencias profesionales, servicio social, actividades complementarias y de intercambio académico provenientes de algunas de las universidades con las que colaboramos. Desde luego, también hemos generado vínculos con colegas no solo de otras universidades, sino también de algunas dependencias públicas y de la iniciativa privada.

Sirva la siguiente remembranza para agradecer y abrazar a todos, sin excepción, los que conforman este concepto de identidad, superación y amistad y cada uno de ellos ha contribuido a los logros del LTA, aportando su entusiasmo, su técnica y su visión en la construcción y desarrollo del Laboratorio de Tecnología Anaerobia. Mil millones de gracias, y ya saben que aquí seguimos, para cuando quieran charlar, tomando la tradicional taza de café.



Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

## Recordando la idea de su creación

Durante el periodo de 1997 al 2004 realicé mis estudios de posgrado en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, en el laboratorio de microbiología ambiental de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, bajo la tutela del Dr. Oscar Monroy Hermosillo. Me especialicé en los procesos de digestión anaerobia (DA), trabajando en la estabilización de lodos residuales secundarios (LRS), que provienen de la purga de los reactores de lodos activados, y forman parte de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Durante la estabilización de los LRS éstos deben disminuir su velocidad de biodegradabilidad, reducir su volumen y patogenicidad, el proceso más sustentable para lograrlo es la digestión anaerobia, durante la cual, además, se genera biogás, una mezcla compuesta principalmente de metano y bióxido de carbono; el metano puede ser convertido a energía eléctrica y calorífica. Durante mi estancia en el laboratorio del Dr. Monroy, participé en diferentes proyectos, que me dieron la experticia en todo el proceso de tratamiento de aguas residuales. En esa etapa, me convencí de la importancia de incidir en el desarrollo



tecnológico de este ámbito, principalmente porque debido a las políticas públicas en la gestión del agua en México, la mayor parte de las PTAR municipales están mal configuradas. Una PTAR bien diseñada y operada en general, tiene un balance de energía positivo; por cada 100 kg de carbono procesado, se producen 19 kW·h. La configuración adecuada de una PTAR es la siguiente: sistema de pretratamiento, reactor biológico, sistema de postratamiento y desinfección, y un sistema de estabilización de lodos residuales, que incluye un reactor anaerobio. Sin embargo, en México una gran proporción de las PTAR carecen del reactor anaerobio, lo que provoca que el déficit de energía en estas instalaciones, éste en el orden de 44 kW·h por cada 100 kg de carbono alimentado, lo que hace inviable el proceso de tratamiento y provoca que las plantas se abandonen y la infraestructura se deteriore o pierda. Esta aparente ineficiencia de los procesos de tratamiento de aguas, desalienta la inversión de los municipios, que son los encargados de la gestión del agua residual en México, ya que al parecer los costos de operación de las PTAR son siempre mayores, inclusive a los costos sociales; esta percepción, claro, es equivocada, ya que las PTAR bien configuradas y operadas tienen un beneficio social evidente y una ganancia energética que las hace sustentables.

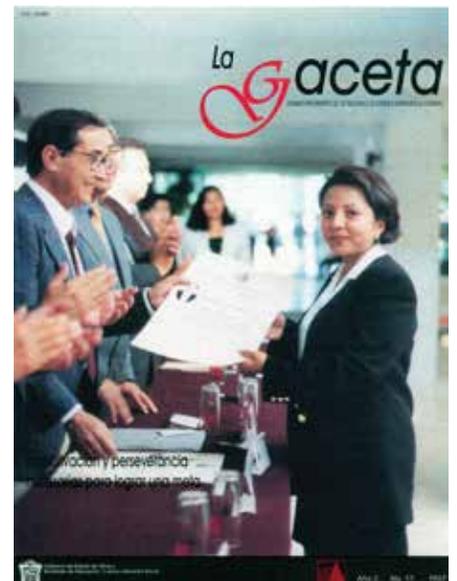
## Iniciamos...

En el 2004, me incorporé de lleno al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), después de los apoyos en términos de tiempo que el Tecnológico me proporcionó para culminar mis estudios de posgrado (1997-2004). Fue en ese año que inició la propuesta de conformar el Laboratorio de Tecnología Anaerobia (LTA); esta idea coincidió con mi incorporación al núcleo básico de la maestría de Ingeniería Química del TESE. Este evento me llevó a tener un espacio en el laboratorio O2 del edificio E; ese instante es el que registro en mi memoria como la creación del LTA. Durante los siguientes años, iniciamos el trabajo de adaptación y de invitación a compañeros para formar parte del LTA; entre los que aceptaron la invitación, estuvo la Maestra Helué García, con quien participamos en los entonces concursos de creatividad, patrocinados por el Gobierno del Estado de México; al proyecto lo llamamos Biosol, que era un biosólido tipo A que se producía por la digestión anaerobia de lodos residuales secundarios, que era un fertilizante y mejorador de suelos; los alumnos que participaron en este proyecto fueron Mario Gómez y Víctor Flores (2005). Unos años después, la Maestra Helué se fue a probar suerte al Tecnológico de Apizaco y a la distancia seguimos colaborando por algunos años. Por esos días, fuimos acondicionando el laboratorio E-02; fue necesaria una manita de gato (o de león), tomamos algunos equipos descompuestos por aquí y por allá, y los rehabilitamos para ir poco a poco contando con la infraestructura básica; recordamos a Eduardo Cruz, Artemio Ascención y Erika Ortega, quienes participaron entusiastamente en esa tarea.

Los primeros trabajos de investigación estuvieron enfocados en la estabilización anaerobia de lodos residuales secundarios. Participaron los ahora Ingenieros Artemio Ascencio, Norma Rodríguez, Joseline Belmontes, Michelle Hernández, Leticia Olguín, Gabriel Ortega y Elvira Olalde, estos últimos, los primeros Maestros que se graduaron en el LTA. Durante esos



Dr. Oscar Monroy Hermosillo



Mtra. Helué Miriam García Ignacio



Mtra. Gabriela Zafra Ibarra (TESE)



Dra. Alejandra Velasco Pérez (UV)



Mtra. Carmen Kikey Chang Solís (TESE)



Dra. Patricia Castilla Hernández (UAM-X)



Mtra. María Monserrat Montes García

primeros años, exploramos la digestión anaerobia de LRS como tecnología de estabilización, incluyendo DA termofílica (Michelle Hernández Montoya, 2008) poniendo énfasis en la calidad del biosólido generado (Leticia Olguín, 2008). Entre las diferentes técnicas probadas para intensificar el proceso de estabilización de lodos, se utilizaron distintos pretratamientos químicos y físicos (Elvira Olalde, 2009) y se simularon dichos procesos (Gabriel Nájera, 2009). También se determinaron los requerimientos de energía para la estabilización de lodos residuales secundarios (Itzel Villegas, 2013) y se exploró la posibilidad de producir biohidrógeno a partir de la DA de LRS mediante trabajos de simulación (Samanta Hernández (2012).

Con la intención de fortalecer el concepto del Laboratorio de Tecnología Anaerobia, se incorporaron a colaborar al LTA la Maestra Gabriela Zafra (TESE), la Dra. Alejandra Velasco (UV), la Maestra Carmen

Kikey Chang Solís (TESE), la Dra. Patricia Castilla (UAM-X) y la Maestra María Monserrat Montes García, quienes en conjunto establecimos que los ejes de acción del LTA serían:

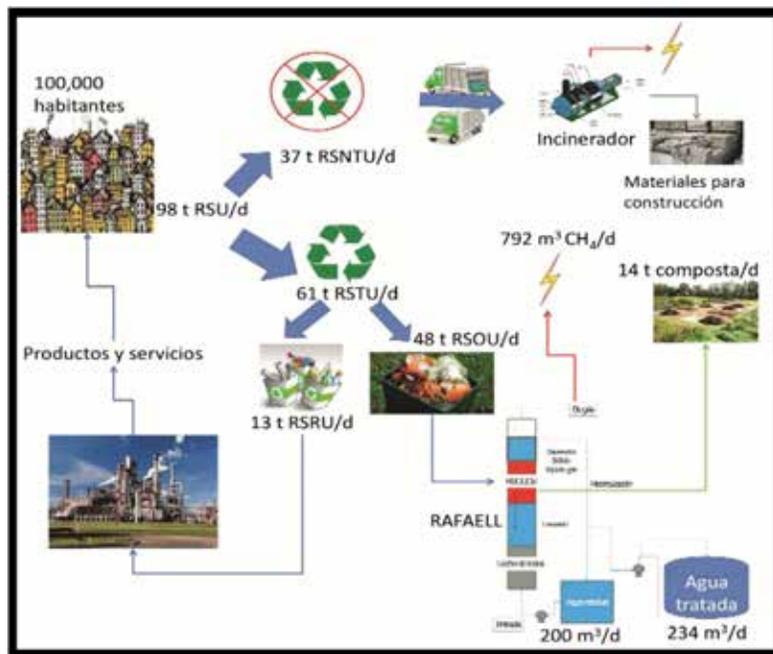
- Diseño de digestores anaerobios de lodos residuales y residuos sólidos orgánicos.
- Diseño de reactores anaerobios de tercera generación para el tratamiento de aguas residuales, tipo EGSB y lechos fluidizados.
- Modelaje e intensificación de (bio)-reactores, en especial para el tratamiento biológico de aguas residuales y residuos sólidos orgánicos.
- Optimización de diseño y control óptimo de (bio)-reactores.
- Detección de fallas en (bio)-reactores.

Como objetivo general, se estableció el utilizar las herramientas de la ingeniería química y bioquímica, con el propósito de diseñar y mejorar el comportamiento global de uno (o varios) reactores biológicos anaerobios, en particular aquellos empleados para el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos orgánicos. Este objetivo no solo incluye la aplicación de técnicas y teorías conocidas en ambas áreas, sino fundamentalmente, generar soluciones teóricas nuevas. Por otro lado, es de gran importancia para el LTA que las soluciones generadas se verifiquen experimentalmente y conduzcan finalmente a productos tecnológicos que aporten soluciones apropiadas a los problemas del país.

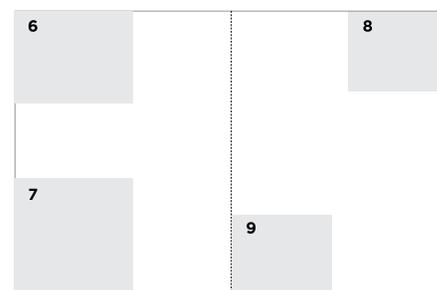
En el 2011 emprendimos un proyecto para el tratamiento integral de los residuos sólidos orgánicos urbanos, por lo que se diseñó un tren de tratamiento, que consiste en el composteo con recuperación de lixiviado, el cual es digerido en un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) con recuperación de energía mediante la captación del biogás (Anabel Hernández y Elideth Carrasco, 2011). Este proyecto fue el punto de partida para el desarrollo de procesos



que contribuyen al tratamiento conjunto de dos de los mayores residuos generados en las grandes ciudades: las aguas residuales domésticas (ARM) y los residuos sólidos orgánicos urbanos (RSOU); se estima que en el Valle de México se producen anualmente 373,835 toneladas de  $DBO_5$  en las ARM (la  $DBO_5$  es la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, parámetro que indica la cantidad de oxígeno que consume un cuerpo de agua para oxidar los contaminantes que recibe, entre más  $DBO_5$  entra al cuerpo de agua, más difícil será volver a su equilibrio ecológico). En tanto que la estimación de RSOU en el Valle de México (con sus más de 21 millones de habitantes, CONAPO, 2024), asciende a 5.53 millones de toneladas anuales. Tanto los valores de  $DBO_5$  en el ARM y los RSOU, son estimados a partir de datos de la CNA (2021) y SEMARNAT (2020), respectivamente.



Para el 2013 participamos en el Evento Nacional de Innovación Tecnológica del Tecnológico Nacional de México (TecNM), representando a la región oriente del Estado de México; Karina Flores, Teresa Ordoñez y Alma González, presentaron un proyecto de codigestión anaerobia de LRS y residuos de frutas y hortalizas, trabajo que derivó en el diseño de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente Empacado con Lecho de Lodos (RAFAELL). A finales del 2013, José Vian inició la identificación de los parámetros de diseño y operación del RAFAELL, cuyos resultados fueron publicados en su Tesis de Maestría (Vian, 2014) y de doctorado (Vian, 2020). El RAFAELL (Figura 1) considera una sección de empaque, que es una etapa de pretratamiento (desintegración), en la cual los residuos sólidos orgánicos son sometidos a corte para aumentar tanto el número de partículas menores a 105 Qm como la concentración de sólidos disueltos (partículas menores a 2.5 Qm). También se presentan las reacciones de hidrólisis y acidogénesis en la sección de empaque; el diseño del RAFAELL permite separar las fases hidrolítico-



Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec



acidogénica y metanogénica, lo que reduce los problemas de acidificación; también considera un lecho de lodos para aumentar el tiempo de residencia celular. El flujo hidráulico transporta la fracción rápidamente biodegradable desde la sección de empaque hasta el lecho de lodos, favoreciendo la productividad de metano. El diseño incluye una sección amortiguadora, donde la alcalinidad que surge del lecho de lodos consume la acidez producida en la sección de estado sólido, permitiendo una mayor estabilidad del pH en el reactor. Al evaluar el comportamiento del RAFAELL, se obtuvieron buenas cifras de eficiencia en la remoción de sólidos (67%) en 12 días, con una

productividad de metano aceptable ( $1.5 \text{ L}_{\text{CH}_4} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ), en función de las cargas orgánicas aplicadas al sistema ( $2.5 \text{ g VS} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ).

El diseño del reactor generó diferentes preguntas de investigación acerca del comportamiento de cada una de las secciones del reactor; en la búsqueda de respuestas, Monserrat Montes (2018) realizó la Digestión Anaerobia en Dos Etapas de Residuos de Frutas y Hortalizas, con el que se propuso separar la etapa de hidrólisis-acidogénesis en un reactor empacado de flujo ascendente y la metanogénesis, en un reactor anaerobio de flujo ascendente. Esta separación permitió estudiar las condiciones ambientales de los grupos microbianos presentes en cada etapa y tener un mejor control sobre las variables globales del proceso. La fracción fácilmente biodegradable impuso la máxima carga orgánica del proceso global ( $10 \text{ g DQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ), además de condicionar la máxima carga de entrada de ácidos grasos volátiles (AGV) al reactor metanogénico  $8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ . Estas condiciones permitieron resaltar el beneficio de separar las etapas. Otras dos variables de proceso, que

están íntimamente ligadas a la carga orgánica, son el tiempo de retención hidráulico y el tiempo de retención de sólidos; el primero guarda una relación inversa con la carga: a mayor carga menor tiempo de retención hidráulico. Sin embargo, el tiempo de retención de sólidos no guarda esa relación con la carga orgánica, ya que éste depende además del modelo de flujo (mezcla o pistón), de la forma de alimentar el sustrato (continuo, discontinuo), lo que sugiere una relación más compleja de predecir. Por ello se estableció el patrón de flujo de los reactores utilizados, obteniendo valores del número Peclet de 24, lo que clasifica el flujo como de tipo pistón. A partir de ese patrón, se establecieron las ecuaciones de balance y se determinó





la concentración de sólidos suspendidos necesarios para determinar el tiempo de retención de sólidos (TRS), hallazgos que fueron retomados por Vian (2020) en su trabajo de doctorado. Durante y después de la pandemia, se reanudaron los trabajos con el RAFAELL, por parte de Verónica Olguín (2020), Abigail Sánchez y María Guijosa (2021), perfeccionando las estrategias de operación.

De los trabajos realizados por Vian y Montes (2018, 2020) se decidió iniciar el estudio del efecto del tamaño de partículas sobre la velocidad de hidrólisis anaerobia de los residuos sólidos orgánicos. De manera que Christian Zárate y Diana Muñoz iniciaron los estudios del tamaño de partícula en la DA de residuos de frutas y hortalizas (RFH), seguidos por Giovanni Gutiérrez (2019), Estefanie Garibay (2021), Ana Borjas (2023), Vanessa Rojas (2024) y Carolina Magaña (2024). Los resultados obtenidos con esos estudios, nos permiten concluir que durante la digestión anaerobia de RFH, los sustratos de fácil biodegradabilidad son consumidos en los primeros dos días de digestión y que la mezcla de RFH va modificando su biodegradabilidad al incrementarse el tiempo de digestión. Este resultado fue importante, porque nos permitió generar una estrategia de tratamiento más eficiente, que consistió en retirar los sustratos de fácil biodegradación (sólidos menores a 1.8 Qm que se convierten rápidamente en AGV) para evitar la acidificación de los digestores anaerobios e irlos dosificando en función de la alcalinidad generada por el propio digestor anaerobio al hidrolizar los sustratos de más lenta biodegradabilidad.

Tales conclusiones nos llevaron a proponer un tren de tratamiento que permitiera controlar la alcalinidad del medio a través de la dosificación de los sólidos de menor tamaño, luego que el digestor anaerobio ha logrado una buena relación de alcalinidades (Mariana García y Monserrat Montes, 2021). El tren de tratamiento incluye un tanque de lixiviación para la separación de

10	12
11	

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

los sólidos fácilmente biodegradables, y dicho lixiviado es mezclado con agua tratada proveniente de un reactor anaerobio (buena relación de alcalinidades), alimentando a un reactor anaerobio de flujo ascendente; esta operación de lixiviación-mezclado, permite ingresar altas carga orgánicas al RAFA por el alto poder de amortiguamiento de la mezcla alimentada. Debido a que las cargas orgánicas alimentadas tienen alta concentración de amortiguamiento, el RAFA puede operar con cargas orgánicas mayores a  $15 \text{ g DQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , manteniendo productividades de metano por arriba de los  $3 \text{ L CH}_4 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  y remociones de demanda química de oxígeno (DQO) alrededor del 80%. Esta alta carga tratada, también implica que el efluente entregado por el RAFA ya no cumpla con las normas mexicanas, por lo que es necesario acoplarle un reactor aerobio de lodos activados para depurar la carga orgánica del efluente anaerobio a las concentraciones de DQO (menor a  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) marcadas por la norma mexicana (NOM-SEMARNAT-001). Este sistema ha sido evaluado en varios estudios realizados por Elena Carrera y Paola Mascota (2022), así como Karen Hernández y Angélica Serrano (2023).

En el 2022 se inició el proceso de escalamiento del sistema anaerobio-aerobio para el tratamiento conjunto de agua residual y residuos de frutas y hortalizas. Los trabajos para adaptar la operación de la PTAR del TESE al sistema, fueron coordinados por el operador de la PTAR-TESE, Jesús Guerra Ramírez, con el apoyo de Ivonne Rivera (2023) y Alberto Zárate (2024), y desde luego, el trabajo de muchos más colaboradores estuvieron presentes. Esencialmente, se adaptó un tanque de solubilización y se estableció una estrategia de operación para la PTAR-TESE, ya que estaba configurada por un RAFA, y un reactor aerobio de lodos activados con su sistema de postratamiento. Aún se continúa en la tarea de perfeccionar la operación de la PTAR y se han realizado varios trabajos adicionales, evaluando la nueva operación (por parte de Andrea Popoca y Ángel Villalobos). Para esa tarea, se han realizado trabajos de simulación, que han servido de punto de partida, evaluación y retroalimentación de las labores de escalamiento del sistema anaerobio-aerobio. La tesis de Maestría de Elizabeth Sarmiento, dirigida por



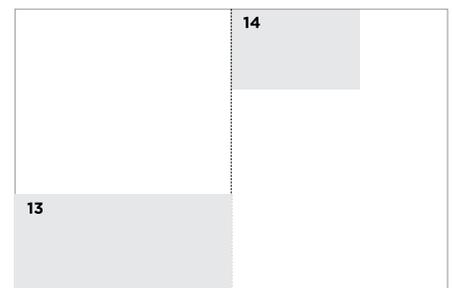


el Dr. Antonio Yáñez y la M. en C. Monserrat Montes (viejos colaboradores nuestros, que iniciaron sus pininos en la investigación en el LTA en el 2015), permitió establecer las condiciones de operación del sistema anaerobio-aerobio mediante herramientas de simulación.

Actualmente, estamos iniciando una nueva línea de trabajo en la revalorización de residuos sólidos orgánicos, y se comenzaron las acciones para su acondicionamiento, a fin de favorecer la fermentación de los sustratos (Christian Zárate, 2020, Selene Meléndez, 2023) y producir etanol, ácido propiónico y succínico (para empezar a calentar motores).

En el LTA se ha hecho trabajo de vinculación con diferentes actores, lo cual ha permitido que nuestros alumnos demuestren su experticia fuera del TESE y logren titularse; algunas de las instituciones con las que hemos colaborado son: la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la CFE (Susana Palacios y Fanny Sandoval), la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Tecámac (Rosario Mendoza, 2012), el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Antonio Yáñez, 2015), los Laboratorios Farmacéuticos BEST (Beatriz Sánchez y Minerva Sánchez, 2022), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Katya Galicia, 2022), la SEMARNAT (Alma González, 2013, Zeline Castillo, 2018), el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Monserrat Montes, Diana Licon, 2014), la Universidad Veracruzana (José Vian, 2014, Giovanni Gutiérrez, 2019), los Laboratorios Azteca (Artemio Ascención, 2015), el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (Alejandro Vilchis, 2017), el Sistema de Aguas del Municipio de Huejutla de Reyes, Hidalgo (Silem Mógica, 2018), el Laboratorio de Biorremediación del TESE (Monserrat Montes, 2018), la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco (José Vian, 2020), la División de Mecatrónica y Ciencias Computacionales del TESE (Estefany Interino, 2022), y el Centro Médico Capistrán (Melissa de la Rosa, 2023).

Este ha sido un recorrido por el LTA en estos 20 años, seguramente con muchas lagunas mentales, pero recopilado con entusiasmo y cariño. Mi más sincero reconocimiento a quienes colaboraron en el pasado, presente y futuro. Un abrazo.



Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

## Referencias

- Ascención Reyes, Artemio (2015). Validación de una técnica analítica para la detección y cuantificación de cocaína en un fluido biológico (orina) por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Tesis de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- Borjas Rubio, Ana María (2023). Determinación de los parámetros cinéticos de un consorcio microbiano anaerobio. Tesis de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- Carrasco, Elidets (2011). Evaluación de la calidad microbiológica de lixiviado estabilizado por digestión anaerobia. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- Carrera Maldonado, María Elena; Mascota Álvarez, Jessica Paola (2022). Tratamiento anaerobio-aerobio de residuos de frutas y hortalizas. Tesis de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- Castillo Flores, Zeline Mariel (2018). Estudio de las características de lixiviado del relleno sanitario Bordo Poniente en la Etapa I y II de la Ciudad de México. Reporte de memoria de residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- CONAPO (2024). Metrópolis de México 2020, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. [https://www.gob.mx/cms/uploads/sedatu/MM2020\\_06022024.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/sedatu/MM2020_06022024.pdf)
- De la Rosa Morales, Melisa (2023). Estandarización de procesos en la elaboración de soluciones peptídicas. Proyecto de investigación de Ingeniería Química, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- García Cuellar, Katya Patricia (2020). Tratamiento de aguas residuales municipales para lograr la remoción simultánea de materia orgánica, nitrógeno y contaminantes emergentes. Tesis de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- Garibay Flores, Estefanie (2021). Efecto del tamaño de partícula en la digestión anaerobia de residuos de fruta y hortalizas. Proyecto de investigación de Ingeniería Química, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- Gazca Rojas, Vanessa (2024). Potencial de producción de biogás de mezclas de agua residual municipal y residuos de frutas y hortalizas. Proyecto de investigación de Ingeniería Química, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- González Delgadillo, Alma Elizabeth (2013). Análisis de la infraestructura autorizada para el manejo de residuos peligrosos, así como la revisión de información de cumplimiento de condicionantes indicadas en las autorizaciones expedidas para el manejo de residuos peligrosos. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.
- Guijosa Ramírez, María Guadalupe; Sánchez Rojas, Areli Abigail (2021). Puesta en marcha y operación de un reactor anaerobio de flujo ascendente empacado con lecho de lodos (RAFAELL) para el tratamiento de residuos de frutas y hortalizas. Proyecto de investigación de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Gutiérrez García, Giovanni de Jesús (2019). Análisis cinético del proceso de digestión anaerobia de residuos de frutas y vegetales.

Tesis de la Licenciatura de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Veracruzana. Orizaba, Veracruz.

Hernández Carrillo, Karen Joseline (2023). Tratamiento de residuos de frutas y hortalizas por digestión anaerobia. Tesis de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Hernández Díaz, Anabel (2011). Estabilización anaerobia de lixiviados generados en el composteo de residuos sólidos orgánicos urbanos de origen vegetal. Tesis de Ingeniería Química del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Hernández Gutiérrez, Jéssica Samanta (2012). Simulación de la producción de hidrógeno en un reactor de mezcla completa alimentado con lodos residuales secundarios. Tesis de Maestría en Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Hernández Montoya, Michelle Albany (2008). Estabilización de lodos residuales por digestión anaerobia termofílica. Reporte de memoria de residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Interino Palacios, Estefany (2022). Desinfección de superficies utilizando un Robot Teledirigido con uso de luz ultravioleta. Proyecto de investigación de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Licona Pérez, Diana ( ). Manual para la cuantificación de metales pesados en muestras de agua por espectrofotometría de emisión atómica. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería

Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Magaña López, Carolina (2024). Inhibición de la metanogénesis por efecto del pH. Tesis en Ingeniería Química, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Mendoza Gómez, María del Rosario (2012). Estrategia para el manejo de lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Tecámac. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Meléndez Rico, Maura Selene (2022). Acondicionamiento de residuos de frutas y hortalizas para la producción de bioetanol. Proyecto de investigación de Ingeniería Bioquímica del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Montes García, María Monserrat (2014). Manual para la cuantificación de metales pesados en muestras de agua por espectrofotometría de absorción atómica. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Montes García, María Monserrat (2018). Digestión Anaerobia en dos etapas de residuos de frutas y vegetales. Tesis de Maestría en Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Mogica Redondo, Silem Neftalí (2018). Diseño de un programa de muestreo para la evaluación de la calidad del agua potable en la ciudad de Huejutla de Reyes, Hidalgo. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Olalde Soto, Elvira (2009). Dimensionamiento de un reactor (Rafa) para el tratamiento de lodos residuales secundarios pretratados. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, del Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México.

Olguín González Leticia (2008). Evaluación microbiológica de lodos residuales y biosólidos. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Olguín González, Verónica (2017). Manejo integral de residuos sólidos. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Ortega Nájera, Gabriel (2010). Validación del modelo ADM1 para la digestión anaerobia termofílica de lodos residuales. Tesis de Maestría en Ingeniería Química, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Palacios Alamilla, Maribel Susana; Sandoval Rodríguez, Fanny (2009). Estudio del fenómeno de bulking en la Planta de Tratamiento de Aguas Negras de la Comisión Federal de Electricidad. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Rivera Bueno, Ivonne Abigail (2023). Adaptación de un sistema anaerobio-aerobio para el tratamiento conjunto de aguas residuales y residuos sólidos urbanos. Tesis de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Sánchez García, Beatriz; Sánchez García, Minerva Guadalupe (2020). Evaluación de las tecnologías aerobias y anaerobias para el tratamiento de un agua residual de

la industria farmacéutica. Proyecto de investigación de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Serrano Galindo, Angélica (2023). Evaluación de un sistema de reactores anaerobios de flujo ascendente para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Proyecto Terminal de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental, de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Ciudad de México.

Vian Pérez, José Guadalupe (2014). Producción de metano a partir de residuos sólidos urbanos orgánicos vegetales. Tesis de Maestría en Ciencias en Procesos Biológicos, de la Universidad Veracruzana. Orizaba, Veracruz.

Vian Pérez, José Guadalupe (2020). Caracterización y modelado de un reactor anaerobio de flujo ascendente empacado con lecho de lodos. Tesis de Doctorado en Ingeniería de Procesos, de la Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México.

Vilchis Cruz, Alejandro (2017). Desarrollo de un método rápido para medir isótopos de uranio en agua de pozo. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Villegas Duran, Itzel María (2013). Efecto de la temperatura sobre la velocidad de hidrólisis anaerobia de lodos residuales secundarios. Tesis de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Yáñez Varela, Juan Antonio (2015). Estudio sobre la inhibición del proceso de tratamiento anaerobio de aguas residuales de una industria cervecera. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Zárate Zamora, Alberto (2024). Adaptación de un sistema

anaerobio-aerobio para el tratamiento de aguas residuales. Reporte de Memoria de Residencia de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

Zárate Ocaña, Christian Omar (2020). Producción de digestato anaerobio a partir de residuos de frutas y verduras. Tesis de Ingeniería Bioquímica, del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Estado de México.

## Fotografías

Académicos-Investigadores, de la División de Ingeniería Química y Bioquímica, del Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Ecatepec, Estado de México.