

Propuesta de Proyecto de Investigación Divisional del Cuerpo Académico Consolidado - Biosistemas en Medio Ambiente y Energía

1. Título del proyecto.

Bioprocesos ambientales

2. Línea de investigación del Cuerpo Académico o Grupo de Investigación, o de Posgrado.

El presente proyecto es presentado por el cuerpo académico (CA) consolidado de *Biosistemas en Medio Ambiente y Energía*, el cual desarrolla las siguientes líneas de generación y aplicación del conocimiento (LGAC):

- I. Diversidad y función microbiana en ambientes diversos
- II. Sistemas biológicos para el tratamiento de problemas ambientales (suelo, agua, aire, suelo y residuos)
- III. Productos de valor agregado (incluye combustibles alternativos como bioetanol, biodiesel, biogás y biopolímeros microbianos)

A su vez, están vinculadas a la LGAC de Procesos y Medio Ambiente del Posgrado en Ciencias Naturales e Ingeniería.

3. Responsable del proyecto, participantes y adscripción de cada uno de ellos.

Todos los participantes del proyecto están adscritos al Departamento de Procesos y Tecnología de la División de Ciencias Naturales e Ingeniería de la UAM-Cuajimalpa

Responsable	Adela Irmene Ortiz López
Integrantes	Sergio Revah Moiseev
	Marcia Guadalupe Morales Ibarria
	Miguel Sergio Hernández Jiménez
	Juan Gabriel Viguera Ramírez
	Flor Yunuén García Becerra

4. Orientación (se puede seleccionar más de una opción):

Investigación básica	√
Investigación aplicada	√
Desarrollo o adaptación	
Transferencia de tecnología	
Desarrollo de tecnología	√
Otros: Especificar	

5. Fecha de inicio y duración.

Inicio: Julio 2021

Duración: 4 años

6. Propuesta:

a. Resumen

Esta propuesta plantea un proyecto marco que incluya las actividades del CA de Biosistemas en Medio Ambiente y Energía con la finalidad de poder contribuir en la planeación de las actividades de investigación a mediano y largo plazo y optimizar recursos. Los motivos de estudio de este proyecto surgen a partir de problemáticas ambientales ocasionadas por contaminantes en agua, suelos y agua y la experiencia en soluciones biotecnológicas que cada uno de los participantes aporta a esta propuesta. Entre los contaminantes que se han identificado como motivo de estudio se encuentran: los gases de efecto invernadero, compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles, plaguicidas organoclorados, microcontaminantes emergentes, materia orgánica, entre otros; con un enfoque al desarrollo de procesos eficientes y amigables con el medio ambiente. También se busca contribuir al desarrollo de procesos sustentables mediante la valorización de corrientes residuales y a la generación de fuentes de energía alternativas.

b. Antecedentes

El antecedente de la presente propuesta es el proyecto de investigación divisional 50-S114-15 (junio 2015 - junio 2021) desarrollado por el CA de *Biosistemas en Medio Ambiente y Energía*. Durante el desarrollo de dicho proyecto se reportaron, en cuanto a formación de Recursos Humanos: 27 alumnos de Licenciatura graduados, 11 Tesis de maestría, 6 Tesis de doctorado y 15 servicios sociales. Mientras que se publicaron 48 artículos en revistas indizadas, 7 Memorias en extenso y 21 capítulos de libros. Logrando cumplir con los objetivos planteados, en ese sentido, la presente propuesta es una actualización en las actividades que nos permitirá dar continuidad a nuestro trabajo como CA y mantener el status de consolidado.

Los beneficios económicos y ambientales que la biotecnología puede ofrecer en los procesos de producción, monitoreo y manejo de residuos son el reducir el impacto ambiental, eficientar procesos biológicos y recuperar productos de valor agregado, aumentando así la sustentabilidad de estos procesos. Sin embargo, la falta de conocimiento de ciencia básica en lo que respecta a las comunidades microbianas, su diversidad, función, etc., limita considerablemente la mejora y adaptación de estas tecnologías a nuevos retos. Dentro del grupo de investigación que presenta esta propuesta se han abordado temas específicos que involucran tratamiento de malos olores ocasionados por compuestos de azufre, y compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles (COV y CIV) por biofiltración, eliminación de hidrocarburos de petróleo y plaguicidas en suelos, así como, de metales en acuíferos, la captura de CO₂ en fotobiorreactores y la eliminación de gases de combustión y de efecto invernadero. En este proyecto se propone el estudio microorganismos y poblaciones microbianas con potencial de ser utilizadas en sistemas de tratamientos medioambientales y la revalorización de algunos desechos.

Gases de efecto invernadero (GEI) - En el grupo de trabajo se tiene experiencia en la obtención de poblaciones de sitios interes para la remoción de CO₂ con microalgas y de metano por bacterias. Los estudios incluyen la caracterización de la remoción en sistemas a escala laboratorio y bench (fermentadores, biofiltros, fotobiorreactores y sistemas de cultivo en estanques) incluyendo estudios microbiológicos, bioquímicos, pero también de la caracterización hidrodinámica y transferencia de masa de algunos de los sistemas de

cultivo y su modelamiento matemático. La tendencia actual sobre la implementación de sistemas de control de emisiones o mitigación de los GEI, no se limita a que sean sistemas eficientes y económicos, sino que permitan la valorización de las corrientes del proceso. A este respecto, se propone el uso de bacterias que asimilan al CH₄ y organismos fotosintéticos (microalgas/cianobacterias) que capturan el CO₂. Además de la remoción de los gases, se busca la valorización de las corrientes a través de la generación de polihidroxicanoatos (PHAs). El uso de corrientes residuales como aguas residuales y gases de combustión, a partir de las cuales se pueden obtener la fuente de carbono y otros nutrientes, contribuye a la reducción en los costos de producción de este tipo de materiales y busca la sustentabilidad al proceso.

Compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles COV y CIV - En el grupo hay antecedentes de trabajo con estos sistemas aplicados a compuestos azufrados, aromáticos, alifáticos, organosulfurados. Además, se ha estudiado la biofiltración fúngica para el tratamiento de malos olores ya que han demostrado que son sistemas más resistentes a variaciones en condiciones ambientales y pueden obtenerse mayores capacidades de eliminación que en los biofiltros bacterianos. Los resultados incluyen microorganismos involucrados, reactores, modelamiento matemático, diseño de equipo y escalamiento y se propone seguir trabajando en esta línea emblemática del grupo y en estudios de interacción en la degradación de mezclas utilizando hongos.

Plaguicidas organoclorados (POC) - Los POC son contaminantes orgánicos persistentes que son resistentes a la fotodegradación, a la degradación biológica y a la química. A este respecto, se ha estudiado desde el monitoreo de dichos compuestos en agua, suelos y sedimentos; aislamiento e identificación de microorganismos con capacidad de degradar POC, y alternativas biológicas y fisicoquímicas para su tratamiento en agua y suelo. Por lo que en este proyecto se propone estudiar las transformaciones, biotransformaciones y eventual mineralización de POC y sus respectivos metabolitos. De igual manera, se profundizará en los mecanismos y rutas metabólicas involucrados en dichos procesos para desarrollar alternativas de biorremediación. Además, se estudiará la degradación de los POC utilizando diversas cepas de bacterias y hongos aisladas de suelos contaminados.

Microcontaminantes emergentes - Por otro lado, contaminantes emergentes, incluyen una gran gama de químicos, como plaguicidas, disruptores endócrinos, fármacos, cosméticos, productos de limpieza personal y doméstica, microplásticos, etc. Estos contaminantes y sus productos de degradación, se encuentran en concentraciones diminutas y pueden ser considerablemente tóxicos, especialmente si se encuentran formando parte de mezclas complejas. La presencia de estos microcontaminantes persistentes orgánicos incrementa cada vez más en ambientes acuáticos, en gran parte por que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) convencionales tienen una capacidad limitada para degradarlos, y es uno de los grandes retos de saneamiento del siglo XXI. Más aún no se pueden descartar posibles rutas de distribución de estos microcontaminantes hacia suelos y aire. A este respecto, se propone estudiar cepas bacterianas y fúngicas capaces de degradar dichos contaminantes en aguas residuales.

Valorización de biomasa de desecho - Los desechos sólidos orgánicos son altamente ecotóxicos y dentro de estos son los de mayor impacto ambiental son los que contribuyen al cambio climático y de eutricación [1,2]. El problema de los desechos sólidos orgánicos se agrava más ya que no tienen un valor comercial como tal y son en general, altamente heterogéneos. Sin embargo, la biomasa de desecho ofrece una oportunidad de procesar material renovable altamente disponible de bajo costo para la recuperación de productos verdes de valor agregado. A este respecto se propone la recuperación de: a) azúcares fermentables y otros productos de alto valor, tal como son las enzimas lignocelulolíticas; b) celulosa bacteriana usando al hongo del té Kombucha; c) proteína de residuos lignocelulósicos para la alimentación animal empleando efluentes de la industria azucarera; d) azúcares fermentables a partir del pretratamiento térmico de biomasa lignocelulósica.

Energías alternativas: bioetanol, biodiesel, biogás (CH₄, H₂) - La situación actual en términos energéticos es crítica, debido al agotamiento del petróleo, sus variaciones en precio y problemas ambientales generados por el uso de combustibles no-renovables, lo cual demanda urgentemente fuentes alternas de energía y los biocombustibles constituyen una alternativa ante esta problemática. Los organismos fotosintéticos como las i) las microalgas constituyen una fuente de biocombustibles o de materiales para su elaboración: CH₄, H₂, biodiesel a partir de aceites o etanol a partir de procesos de fermentación de los carbohidratos presentes en la biomasa ó ii) bacterias púrpuras no del azufre (BPNS) pueden destinarse a aumentar los rendimientos globales en la producción de hidrógeno a partir de residuos orgánicos, cuando se acopla al tratamiento de las corrientes residuales generadas durante el proceso de la fermentación oscura. Generando un doble beneficio al eliminar el problema de contaminación generado por materia orgánica y produciendo un biocombustible.

En el Anexo 1 se presenta un concentrado de las diferentes temáticas y los participantes del proyecto asociado a cada una de ellas, así como, algunas de las publicaciones científicas del CA relacionado a dichas temáticas.

c. Objetivos

Objetivo general

Desarrollar soluciones biotecnológicas a problemas actuales de contaminación de agua, aire y suelos, a la generación de bioenergías y químicos verdes a través de investigación básica y aplicada además de la formación de recursos humanos en el área de biotecnología ambiental.

Objetivos particulares.

1. Aislar, identificar, y caracterizar microorganismos y poblaciones microbianas con potencial de ser utilizadas en sistemas de tratamiento para la eliminación de agentes contaminantes en aire, suelos y agua

2. Desarrollar sistemas de tratamiento de la contaminación ocasionada por la liberación de compuestos persistentes o recalcitrantes en aire, agua y suelo, a nivel laboratorio y piloto, así como, en desarrollos tecnológicos potencialmente aplicables a gran escala.
3. Desarrollar sistemas para la transformación de contaminantes y biomásas de desecho en compuestos de valor agregado o biocombustibles.

d. Descripción, incluyendo hipótesis y metodología

Hipótesis:

A través del uso de microorganismos, las corrientes residuales y materiales contaminados se pueden eliminar del ambiente y/o transformar en productos de valor agregado mediante procesos sustentables y amigables con el medio ambiente contribuyendo a: 1) la mitigación de problemas ambientales, 2) valoración de corrientes residuales y 3) a la reducción de los costos de producción de los productos de interés.

Descripción:

En la sección de antecedentes se describió de manera general las propuestas en cada una de las líneas de investigación, a continuación se detallan los alcances en cada una de ellas asociados a los 3 grandes objetivos del trabajo.

1. Microorganismos y poblaciones microbianas
 - 1.1. Evaluar la capacidad de degradación de los POC de estudio de cepas aisladas a partir de suelos contaminados y cepas previamente caracterizadas para degradación de otros contaminantes orgánicos.
 - 1.2. Analizar la producción de intermediarios en las biodegradaciones con la finalidad de establecer posibles rutas metabólicas y mecanismos de degradación.
 - 1.3. Aislar microorganismos de ambientes naturales y extremos para la degradación de compuestos contaminantes, incluyendo GEIs, y estudiar sus interacciones y capacidades metabólicas
 - 1.4. Estudiar las capacidades metabólicas de *Leucoagaricus gongylophorus*, mediante la determinación conjunta del secretoma y expresión genética de enzimas con actividad sobre carbohidratos complejos (CAZymes)
2. Sistemas de tratamiento de la contaminación
 - 2.1. Estudiar y caracterizar tratamientos de gases efecto invernadero, COV, CIV, plaguicidas, microcontaminantes en agua
 - 2.2. Evaluar los tratamientos, en términos de eficiencia de eliminación, tasas de consumo, tiempo requerido para el tratamiento y producción de metabolitos.
 - 2.3. Desarrollar bioreactores y fotobioreactores acoplados para degradación de CH₄ y el CO₂ producido de la oxidación.
 - 2.4. Desarrollar biofiltros, biolavadores y fotobioreactores
 - 2.5. Monitorear la interacción y evolución en espacio y tiempo de comunidades bacterianas en humedales construidos, mediante técnicas de biología molecular

3. Transformación de contaminantes y biomasa
 - 3.1. Obtener aceites, biopolímeros, pigmentos a partir de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄).
 - 3.2. Producir de celulosa bacteriana usando al hongo del té Kombucha.
 - 3.3. Recuperación de azúcares fermentables y enzimas a partir de residuos agrícolas usando a *L. gongylophorus* en fermentación sólida.
 - 3.4. Aprovechar residuos sólidos (biomasa vegetal, microalgal, lodos activados, etc) para biocombustibles; digestión anaerobia para la producción de biogás ó para producir químicos verdes; comunidades microbianas para producción de biopolímeros heterogéneos con funcionalidad comercialmente relevante.
 - 3.5. Pretratar mediante procesos hidrotérmicos biomasa lignocelulósica, lodos activados o biomasa microalgal. Caracterización de los hidrolizados y la fracción sólida residual. Obtención de parámetros de operación, presión del vapor, temperatura y tiempo de pretratamiento de las biomásas para maximizar la obtención de azúcares y minimizar la energía invertida. Realizar los balances de masa y energía del proceso. Escalamiento del proceso de pretratamiento a nivel piloto. Simulación del escalamiento del proceso.

Metodología

I) *Estrategia experimental*. La estrategia general será conocer las condiciones que promueven la remoción del compuesto contaminante en particular y/o la acumulación o eliminación del metabolito de interés. Utilizando diferentes sistemas de cultivo que provean las condiciones para cada caso dependiendo de la actividad buscada.

II) Poblaciones microbianas a emplear

Bacterias

- Bacterias metanotróficas y consorcios que son capaces de consumir metano y acumular PHA o lípidos, enriquecidas de ambientes naturales (estanques) y de nichos extremos como el Volcán Chichonal o tierras alcalinas de Texcoco. Cultivos axénicos: *Methylomonas methanica*.
- Bacterias para la degradación de POC

Hongos

- *Paecilomyces lilacinus* hongo nematófago usado para la degradación de hidrocarburos, COV y POC y la producción de hidrofobinas.
- *Leucoagaricus gongylophorus* hongo usado para el ablandamiento de residuos lignocelulósicos y recuperación de CAZymes
- Hongo del té Kombucha, consorcio microbiano usado para la producción de celulosa bacteriana.
- *Paecilomyces variotti*, *Aspergillus niger* para degradación de POC y VOC

Microalgas y Cianobacterias

- *Scenedesmus*, *Chlorella* o algunos otros que permitan la fijación de CO₂ y acumulación de metabolitos de interés como (aceites, carbohidratos, pigmentos, entre otros)

- *Synechococcus sp.*, *Desertifilum tharense* , o algunos otros que permitan la fijación de CO₂ y acumulación de metabolitos de interés como (polímeros y pigmentos, entre otros).

Además de otros organismos a aislarse de ambientes naturales o a adquirirse de colección.

III) Medios de cultivo.

Diversas fuentes de nutrientes que incluyen: i) diferentes medios de cultivo de acuerdo al microorganismo a cultivar y del estado fisiológico a promover para la obtención del metabolito de interés o contaminante a eliminar; ó ii) fuentes contaminadas, aguas residuales, suelos contaminados, residuos sólidos o sus lixiviados, etc.

IV) Sistemas de cultivo

Los sistemas de cultivo abarcaran desde cajas petri, matraces, fermentadores, fotobiorreactores abiertos (estanque tipo raceway) y cerrados (columnas de burbujeo, reactores airlift, de columna, placa plana, entre otros), reactores de mezclado de sólidos y biofiltros

V) Análisis

Composición de biomasa (ejemplo: CHONS, polisacáridos, proteínas, etc); caracterización y rendimientos de aceites y biopolímeros (ejemplo: PHA, alginato); determinación de contaminantes, metabolitos, producción de CO₂, consumo de O₂, estudios ómicos, etc.

e. Formación de recursos humanos.

Los productos mínimos esperados en la duración total del proyecto son:

Producto	Cantidad
Servicios sociales	4
Proyectos terminales	4
Estudiantes de Maestría	4
Estudiantes de Doctorado	2
Publicaciones de trabajos en revistas indizadas	9
Presentaciones en congresos	8

f. Impacto esperado del proyecto.

- Apoyar a la resolución de Problemas Nacionales, incluyendo: gestión integral del agua, seguridad hídrica y derecho del agua; Mitigación y adaptación al cambio climático; Ciudades y desarrollo urbano; y Desarrollo y aprovechamiento de energías renovables limpias)
- Formación de recursos humanos a nivel licenciatura y posgrado
- Mantener la consolidación de CA

- Obtención de financiamiento externo
- Además del impacto científico, tecnológico, social y ambiental de este proyecto, éste se vincula directamente con una de las líneas emblemáticas de la Unidad Cuajimalpa que es la Sustentabilidad.
- Contribuir a la consolidación del proyecto académico de la DCNI, buscando la incidencia en la sociedad y el desarrollo de las líneas emblemáticas de investigación de la DCNI como los son: **Bioprocesos e Ingeniería y Diseño (bio) Molecular y de (bio) Materiales**, tal como se describe en el Desarrollo de la DCNI 2014-2024
- Contribuir a los objetivos de la investigación de la Unidad relacionados con la formación de recursos humanos desde nivel licenciatura hasta posgrado de alta calidad, enriqueciendo la docencia y los programas y procesos educativos de la Unidad a través de la investigación.
- Contribuir al objetivo de desarrollar las líneas emblemáticas de la Unidad para construir nichos de identidad en los ámbitos de la educación superior, la ciencia, la tecnología y la innovación, en el contexto nacional e internacional, así como fortalecer el liderazgo y el posicionamiento social de la misma.

7. Recursos necesarios para el proyecto:

a. *Financiamiento e infraestructura física y humana actual en el proyecto.*

a.1 *Financiamiento interno:* Presupuesto departamental, Proyectos interdisciplinarios, Proyectos de fortalecimiento de CA de la DCNI (2015). El financiamiento externo se detalla mas adelante.

a.2 *Infraestructura física:* El proyecto se desarrollará en el laboratorio de bioprocesos, laboratorio analítico, la planta piloto de bioprocesos, invernadero en la azotea de la Torre III, procesamiento de biomasa y fermentaciones. Se cuenta con la siguiente infraestructura y equipo analítico que garantiza la ejecución del proyecto

Análisis:

- 1 Fluorómetro (Trilogy Turner design)
- 2 Cromatógrafo de gases con detectores FID con adquisición de datos (Hewlett-Packard)
- 1 Cromatógrafo de Gases con detector TCD (GowMac)
- 1 Cromatógrafo de iones (Schimadzu)
- 1 Cromatógrafo de gases con detector ECD (VARIAN)
- 1 Cromatógrafo de gases acoplado a espectro de masas (Agilent)
- 1 Cromatógrafo de líquidos de alta resolución con detector UV-Vis-RI (VARIAN)
- 1 Cromatógrafo de líquidos de alta resolución con detector UV-Vis-PDA (Knauer)
- 1 Analizador elemental CHONS (ThermoScientific)
- Cromatógrafo de gases con detector FID (GowMac)
- Cromatógrafo de gases con detectores FID y TCD (Hewlett- Packard)
- Analizador de carbono orgánico total en muestras líquidas y sólidas y módulo análisis de N₂ (Shimadzu)
- 2 Medidores continuos de CO₂ IR (California Instruments).

- 2 Espectrofotómetros IR de longitud de onda variable y celda de 20 metros para gases (Foxboro)
- Medidor de O₂ en continuo infrarrojo
- Espectrofotómetro B&L 21 y Espectrofotómetro UV-VIS (Perkin- Elmer)
- 2 Medidores de oxígeno disuelto (YSI)
- Analizadores en línea de oxígeno y CO₂ disuelto, pH, temperatura, intensidad luminosa
- Sistema de digestión Hach para determinación de DQO
- Titulador Automático (Mettler).
- 1 Luminómetro (Extech instruments)

Reactores:

- 2 Fermentadores BIOFLO III (New Brunswick) de 3 L con computadora 386 para control.
- 1 Fermentador LKB instrumentado de 5 L.
- 2 Fermentadores continuos BIOFLO I (New Brunswick) de 1 L.
- 1 Fermentador de 3 litros (Applikon)
- 1 Fermentador de 1 L (Sartoriours)
- Sistemas de biofiltración equipados a diferentes escalas.
- Reactor semi-piloto de mezclado helicoidal para tratamiento de suelos.

Equipos generales: Computadoras, microscopio, estereoscopio y equipo fotográfico Nikon. Baños agitados rotatorios. Incubadoras microbiológicas. Equipo menor: autoclaves, balanzas, termobalanzas, estufa, muflas, baños de temperatura controlada, pipetas automáticas, parrillas, Sistemas de extracción soxhlet, sistemas de filtración, refrigeradores, congeladores, centrifugas, etc.

Sistemas para el pretratamiento de biomasa

- Reactor rector enchaquetado calentado por vapor para realizar tratamiento hidrotérmico (steam-explosion)
- Analizador Bioquímico (YSI)
- Fermentador para hidrólisis equipado (Glasschem)

Sistemas experimentales para cultivo de microalgas

- Fotobiorreactor de burbujeo 25 y 50L para operación a la intemperie
- Sistema raceway de 200 L
- Sistema de 4 fotobiorreactores planos
- 2 cámaras de fotoregulación
- Fotobiorreactores a diferentes escalas desde 3 mL hasta 2 m³.
- 2 agitadoras con sistemas de regulación de la intensidad luminosa.

a.3 Humana: 3 profesores titulares y 2 técnicos académicos, alumnos de licenciatura y posgrado (Tabla 1), adicionalmente se buscará involucrar nuevos estudiantes a lo largo del desarrollo del proyecto.

Tabla 1. Alumnos Actuales inscritos por temática en los posgrados de **Ciencias Naturales e Ingeniería y Biotecnología**

Nivel/ LGAC	I. Diversidad y función microbiana en ambientes diversos	II. Sistemas biológicos para el tratamiento de problemas ambientales	III. Productos de valor agregado
Licenciatura	1	1	1
Maestría	2	1	2
Doctorado	3	1	2

a. *Presupuesto calendarizado.*

El presupuesto con el que se cuenta son los de los proyectos actuales mas los que se aprueben a los largo del desarrollo del proyecto

Año	I	II	III	IV
Presupuesto departamental	115,000	115,000	115,000	115,000
Financiamiento externo	No definido	No definido	No definido	No definido

Montos en pesos

b. *Fuentes de financiamiento externas.*

Proyectos vigentes con financiamiento involucrados.

- SECTEI-BC: Adaptación y resiliencia socio-hidrológica en el entorno periurbano de la Ciudad de México: Humedales Artificiales
- CB-2016 SEP-CONAYT. No. 287615. Análisis del secretoma y enzimas CAZymes-FOLymes de *Leucoagaricus gongylophorus* durante la degradación de sustratos lignocelulósicos en cultivo sólido".
- Proyecto #47410623 "Desarrollo de un prototipo con microalgas"

Se participará en diferentes convocatorias en la búsqueda de patrocinio externo ante organos como CONACyT, fondos del DF, convenios patrocinados por empresas etc.

8. Calendario de actividades en períodos trimestrales.

Actividad	AÑO I			AÑO II			AÑO III			AÑO IV		
1.1. Evaluar la capacidad de degradación de los POC de estudio de cepas aisladas y de colección	X	X	X				X	X	X			
1.2. Analizar la producción de intermediarios en las biodegradaciones con la finalidad de establecer posibles rutas metabólicas y mecanismos de degradación.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1.3. Estudiar las posibles interacciones (inhibitorias o inductoras) en la degradación de mezclas de contaminantes con diversas cepas	X	X	X	X	X	X						
1.4. Estudiar las capacidades metabólicas de <i>L. gongylophorus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2.1. Estudio y caracterización de tratamientos de gases efecto invernadero, COV, CIV, plaguicidas, microcontaminantes en agua	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2.2. Evaluar los tratamientos en términos de eficiencia de eliminación, tasas de consumo, tiempo requerido para el tratamiento y producción de metabolitos.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2.3. Desarrollo de biofiltros, biolavadores y fotoreactores	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.1. Obtención de Aceites, biopolímeros, pigmentos a partir de gases de efecto invernadero (CO ₂ , CH ₄).	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.2. Producción de celulosa bacteriana usando al hongo del té Kombucha.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.3. Recuperación de azúcares fermentables y enzimas a partir de residuos agrícolas usando a <i>L. gongylophorus</i> en fermentación sólida.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.4. Aprovechamiento de residuos sólidos (biomasa vegetal, lodos activados, biomasa microalgal etc) para biocombustibles, (bacterias fotofermentativas para producción de hidrógeno, digestión anaerobia para la producción de biogás) y para producir químicos verdes (comunidades microbianas para producción de biopolímeros heterogéneos con funcionalidad comercialmente relevante).	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.5. Pretratar mediante procesos hidrotérmicos biomasa lignocelulósica, lodos activados, biomasa microalgal	X	X	X	X	X	X						

9. Información para el seguimiento del proyecto:

a. Calendarización de productos esperados a lo largo del proyecto.

En la Tabla 2. Se muestra el número mínimo de productos esperados, considerando las colaboraciones entre los diferentes participantes del CA.

AÑO	I	II	III	IV
Servicios Sociales	1	1	1	1
Proyectos terminales	1	1	1	1
Estudiantes de Maestría graduados	1	1	1	1
Estudiantes de proyectos terminales dirigidos	1	1	1	1
Estudiantes de Doctorado graduados		1		1
Publicaciones	3	3	3	3
Presentaciones en congresos	2	2	2	2

b. Resultados esperados, según sea el caso, en términos de conocimiento producido, productividad científica, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos e impacto, o cualquier otra que, a juicio del Responsable y de los participantes en el proyecto, sirva para realizar una adecuada evaluación de seguimiento.

Referencias

1. Tukker, Arnold, et al. "The impacts of household consumption and options for change." *Journal of Industrial Ecology* 14.1 (2010): 1330.
2. Luo, Yunlong, et al. "A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment." *Science of the Total Environment* 473 (2014): 619641.

ANEXO 1. Matriz de temas

TEMAS PRINCIPALES	Marcia Morales	Irmene Ortíz	Sergio Hernández	Sergio Revah	Gabriel Viguera	Flor García
A. Aislar, identificar y caracterizar microorganismos y poblaciones microbianas con potencial de ser utilizadas en sistemas de tratamiento para la eliminación de agentes contaminantes.	Agua (microalgas, cianobacterias y otros organismos fijadores de CO ₂)	Suelo (bacterias, hongos)	Hongos	Aire (bacteria, hongos)	Hongos	Agua (bacterias, hongos)
B. Desarrollar sistemas de tratamiento para la contaminación ocasionada por la liberación de compuestos persistentes o recalcitrantes en aire, agua y suelo, tanto a nivel laboratorio como en desarrollos tecnológicos.	CO ₂	Plaguicidas y microcontaminantes	COVs,	COVs, CIV (H ₂ S) CH ₄		Microcontaminantes (esp., carbamazepina y microplásticos)
C. Desarrollar sistemas para la transformación de contaminantes y biomasa de desecho en compuestos de valor agregado o biocombustibles.	Aceites, pigmentos biopolímeros, biocombustibles biofertilizantes	Pretratamiento e hidrólisis enzimática de biomasa lignocelósica	Análisis energético en reactor de pretratamiento <i>steam explosion</i>	Biopolímeros	Biopolímeros (celulosa bacteriana)	Uso de biopelículas de tratamiento de aguas residuales. Plantas de ornato (humedales construidos)

D. Desarrollo de reactores para uso en sistemas ambientales.	fotobioreactores,	Reactores para pretratamiento hidrotérmico	Biofiltros fúngicos	Biofiltros, biolavadores	Fermentación sólida	Gránulos fúngico-bacterianos Humedales construidos intensificados
--	-------------------	--	---------------------	--------------------------	---------------------	--

Producción científica relevante del CA en 2020 relacionado con los las líneas de investigación propuestas en este proyecto.

1. Ruiz-Ruiz P, Gómez-Borraz TL, **Revah S, Morales M.** 2020. Methanotrophs and microalgae co-culture for greenhouse gases mitigation: Effect of initial biomass ratio and methane concentration. **Chemosphere** 259: 127418
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127418>. FI: 5.34
2. Sánchez L, Cabello J; **Revah S., Morales M.** 2020. Enhancing the lipid content of *Scenedesmus obtusiusculus* AT-UAM by controlled acidification under indoors and outdoors conditions. **Algal research** Volume 51, October 2020, 102024
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102024>.
3. Estrada-Graf A, **Hernández S, Morales M.** 2020. Biomitigation of CO₂ from flue gas by *Scenedesmus obtusiusculus* AT UAM a hybrid photobioreactor coupled to a biomass recovery stage by electro-coagulation-flotation. *Environmental Science and Pollution Research* 27: 28561–2857. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08240-2>.
4. Rincón-Pérez J., Celis LB., **Morales M.**, Alatraste-Mondragón F., Razo-Flores E. 2020. Improving the biodegradability of *Scenedesmus obtusiusculus* by thermochemical pretreatment to produce hydrogen and methane. *Bioenergy Research* 13: 477–486
<https://doi.org/10.1007/s12155-019-10067-w> publicado en línea 12 Noviembre de 2019
5. Romero-Natale A., Rebollar-Pérez G., **Ortiz I.**, Tenorio-Arvide M.G., Munguía-Pérez, R. Palchetti I., Torres E. **2019**. A simple spectroscopic method to determine dimethoate in water samples by complex formation. ***Journal of Environmental Science and Health***, Part B. 55: 310-318.
<https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1696095>.
6. Valdez-Vazquez I, Alatraste-Mondragón F., Arreola-Vargas CJ. Buitrón G, Carrillo-Reyes J., León-Becerril E., Mendez-Acosta H.O, **Ortiz I.**, Weber B. **2020**. A comparison of biological, enzymatic, chemical and hydrothermal pretreatments for producing biomethane from Agave bagasse. ***Industrial Crops & Products***.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112160>
7. Velasco A, Aburto-Medina A, **Ortiz I.** **2020**. Enhancement of the DDT reductive dehalogenation by different cosubstrates: Role of sulfidogenic and biogeochemical processes in soil. ***Applied Geochemistry***. 117: 104604.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104604>.
8. Hernández-Vázquez A, **Hernández S, Ortiz I.** **2020**. Hydrothermal pretreatment of agave bagasse for biomethane production: Operating conditions and energy balance. ***Biomass and Bioenergy*** 142: 105753.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105753>
9. Maya-Yescas M, **Revah S**, Le Borgne S, Valenzuela J, Palacios-González E, Terrés-Rojas E, **Vigueras-Ramírez G.** Growth of *Leucoagaricus gongylophorus* Möller (Singer) and production of key enzymes in submerged and solid-state cultures with lignocellulosic substrates. *Biotechnol Lett* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10529-020-03057-y>