



MODELO D+i
FASE I: Preparación y planeación
Punto de control
#PC0 Y #PC1

Datos generales

Victoria Montserrat Almazán Triano

Carolina Del Carmen Avilés Álvarez

Angel Gabriel Zamacona Argudo

Ingeniería en Energía y Petróleo

5to Semestre

Proyectos V

Dra. Patricia Yolanda Pool Contreras

Resumen

El proyecto busca producir hidrógeno a partir de microalgas verdes (Scenedesmus y Coelastrum), evaluando su metabolismo en condiciones completas y bajo limitación de azufre o potasio, con el fin de identificar las fuentes de electrones y protones que intervienen en el proceso. Se considera factible por los antecedentes exitosos en especies similares, aunque la evidencia en Coelastrum es limitada y representa una oportunidad de innovación. Los beneficios esperados incluyen la generación de energía limpia y renovable, la captura de CO₂, el desarrollo de procesos más estables y sostenibles, así como el aporte científico y tecnológico para avanzar en biocombustibles a partir de microalgas.

Problema

El reto por resolver es la generación sostenible de hidrógeno molecular como vector energético limpio, aprovechando microalgas verdes (Scenedesmus y Coelastrum). Actualmente, la producción de hidrógeno depende en gran medida de procesos industriales costosos y contaminantes (como el reformado de gas natural), lo que limita su viabilidad ambiental. Aunque se ha demostrado que ciertas microalgas pueden producir hidrógeno bajo condiciones de estrés nutricional, aún no se conoce con claridad el comportamiento metabólico de especies como Scenedesmus y Coelastrum en condiciones completas o bajo limitaciones de azufre y potasio, lo que representa un vacío científico y tecnológico

Análisis del entorno y estado de la técnica

Microalgas: Son organismos unicelulares fotosintéticos con alta eficiencia en la captura de CO₂ y la conversión de energía solar en compuestos energéticos. Scenedesmus y Coelastrum destacan por su robustez y adaptabilidad a diferentes condiciones de cultivo. Producción de hidrógeno en microalgas: Se ha demostrado que ciertas microalgas verdes pueden generar hidrógeno molecular mediante la actividad de la enzima hidrogenasa, principalmente bajo condiciones de estrés, como la limitación de azufre. Estrategias biotecnológicas para la producción de hidrógeno: La manipulación de condiciones de cultivo (nutricionales, lumínicas y de oxígeno) ha sido clave para inducir la producción de hidrógeno. Sin embargo, aún existe la interrogante de si es posible alcanzar una producción significativa en medios completos, sin

necesidad de someter a las algas a estrés severo. Limitación de azufre: estrategia clásica y efectos fisiológicos: La privación o limitación de azufre es la estrategia más estudiada para inducir la fotoproducción de H_2 porque reduce la actividad del Fotosistema II (PSII), disminuye la evolución de O_2 fotosintético y permite la generación de condiciones anóxicas intracelulares que activan a la hidrogenasa. Este protocolo ha sido descrito de forma detallada en *Chlamydomonas reinhardtii* y adaptado a otras microalgas; sin embargo, la limitación de S provoca estrés que afecta la viabilidad a largo plazo y la eficiencia fotosintética. Limitación de azufre y potasio: Algunos estudios muestran que la combinación de estas limitaciones genera un estrés metabólico que favorece la acumulación de compuestos reductores internos (como NADPH o almidón degradado), los cuales pueden actuar como donantes de electrones para la hidrogenasa. En especies como *Scenedesmus obliquus* se han observado cambios en la fisiología que permiten redirigir electrones hacia la producción de H_2 .

Idea del proyecto

Este proyecto propone evaluar la producción de hidrógeno molecular en microalgas verdes de los géneros *Scenedesmus* y *Coelastrum* bajo tres condiciones experimentales: cultivo con nutrientes completos, limitación de azufre y limitación de potasio. El objetivo es determinar los cambios metabólicos que se generan en cada escenario y establecer cuáles son las principales fuentes de electrones y protones que alimentan la enzima hidrogenasa durante la producción de H_2 . La investigación busca llenar el vacío de conocimiento existente en especies poco estudiadas, especialmente *Coelastrum*, y aportar información clave para procesos de biohidrógeno más eficientes y sostenibles. Con ello, se espera sentar las bases para tecnologías que integren la captura de CO_2 con la producción de energía renovable, generando beneficios ambientales al reducir emisiones, beneficios científicos al ampliar el entendimiento metabólico de las microalgas, y beneficios tecnológicos al ofrecer alternativas viables para la transición hacia energías limpias.

Objetivos

Desglosar el objetivo general del proyecto. Al desarrollar los objetivos específicos recordar que deben ser SMART (eSpecíficos, Medibles, Alcanzables, Realistas/Relevante, acotado en el Tiempo). Debe iniciar con un verbo activo.

Objetivos generales: Evaluar la producción de hidrógeno molecular en microalgas verdes (*Scenedesmus* y *Coelastrum*) bajo condiciones nutrimentales completas, con limitación de azufre y con limitación de potasio, mediante la implementación de metodologías de seguimiento metabólico, para identificar las fuentes de electrones y protones involucradas en el proceso.

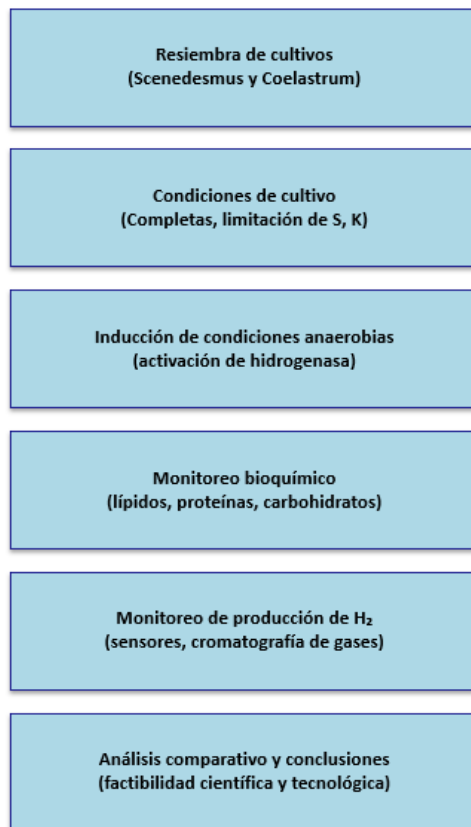
Objetivo específico:

1. Implementar metodologías de seguimiento para evaluar los cambios metabólicos durante la producción de hidrógeno a partir de microalgas
2. Implementar metodologías de seguimiento para evaluar los cambios metabólicos durante la producción de hidrógeno a partir de microalgas bajo limitación de azufre.
3. Implementar metodologías de seguimiento para evaluar los cambios metabólicos durante la producción de hidrógeno a partir de microalgas bajo limitación de potasio.

Organización del equipo

Victoria Montserrat Almazán Triano – Encargada de estudiar la Producción de hidrógeno de Scenedesmus y Coelastrum bajo limitación de potasio.

Diagrama del proyecto



Primero se hace la resiembra de las microalgas para tener cultivos frescos y saludables. Después, se prueban las tres condiciones de cultivo: medios completos, con menos azufre y con menos potasio. Una vez listas, se inducen condiciones sin oxígeno para activar la producción de hidrógeno.

Luego viene el monitoreo bioquímico, donde se revisan cambios en lípidos, proteínas y carbohidratos, y el monitoreo de la producción de hidrógeno con sensores y análisis de gases. Al final, todos los resultados se comparan para ver qué condición funciona mejor y así poder sacar conclusiones sobre la viabilidad del proceso.

Etapas

Etapa 1. Preparación y resiembra de cultivos

- *Funcionalidad:* Reactivar y mantener los cultivos de *Scenedesmus* y *Coelastrum*.
- *Requerimientos técnicos:* Medios de cultivo estandarizados, condiciones de luz y temperatura controladas.

- *Recursos humanos:* Estudiantes-investigadores responsables de bioseguridad y cultivo.
- *Recursos financieros:* Insumos de laboratorio (reactivos, medios, material estéril).

Etapas 2. Establecimiento de condiciones de cultivo

- *Funcionalidad:* Generar las condiciones experimentales (medios completos, limitación de azufre y potasio).
- *Requerimientos técnicos:* Fotobiorreactores, suministro de gases, control de pH y luz.
- *Recursos humanos:* Equipo de investigación para el diseño y seguimiento experimental.
- *Recursos financieros:* Reactivos químicos para modificar los medios, equipos de control de gases.

Etapas 3. Inducción de condiciones anaerobias

- *Funcionalidad:* Disminuir el oxígeno y favorecer la activación de la enzima hidrogenasa.
- *Requerimientos técnicos:* Sistemas de aireación controlada, medición de oxígeno disuelto.
- *Recursos humanos:* Técnicos especializados en bioprocesos.
- *Recursos financieros:* Gases, reactivos de calibración, sensores.

Etapas 4. Montaje de técnicas bioquímicas de monitoreo

- *Funcionalidad:* Cuantificar metabolitos (lípidos, proteínas, carbohidratos) y parámetros fotosintéticos.
- *Requerimientos técnicos:* Espectrofotometría, cromatografía, fluorometría.
- *Recursos humanos:* Estudiantes capacitados en técnicas analíticas.
- *Recursos financieros:* Kits bioquímicos, estándares, material de laboratorio.

Etapas 5. Monitoreo de producción de hidrógeno

- *Funcionalidad:* Cuantificar la evolución de hidrógeno en cada condición experimental.
- *Requerimientos técnicos:* Cromatografía de gases, sensores específicos para H₂.
- *Recursos humanos:* Personal entrenado en análisis instrumental.
- *Recursos financieros:* Gases de referencia, columnas cromatográficas, calibraciones.

Etapas 6. Análisis de resultados y conclusiones

- *Funcionalidad:* Comparar la producción de hidrógeno y cambios metabólicos entre las tres condiciones.
- *Requerimientos técnicos:* Software de análisis estadístico y procesamiento de datos.
- *Recursos humanos:* Investigadores responsables de redacción y análisis.
- *Recursos financieros:* Principalmente tiempo de laboratorio y recursos computacionales (mínimos).

Características

Microalgas seleccionadas

- *Scenedesmus sp.:* Microalga verde unicelular, robusta y adaptable, con alta eficiencia fotosintética. Posee la capacidad de acumular compuestos reductores internos como almidón y NADPH, que pueden redirigir electrones hacia la producción de hidrógeno.
- *Coelastrum sp.:* Microalga verde con menor estudio en este campo, pero con potencial biotecnológico en bioenergía. Su análisis ofrece una oportunidad de innovación al caracterizar su metabolismo en la producción de H₂.

Condiciones de cultivo

- *Condiciones anaeróbicas inducidas:* Se generarán ambientes sin oxígeno para activar la enzima hidrogenasa y favorecer la producción de hidrógeno.
- *Limitación de azufre:* Reducción de sulfatos para provocar estrés metabólico y evaluar el efecto en el redireccionamiento de electrones.
- *Limitación de potasio:* Ajuste en la disponibilidad de K^+ para modificar la homeostasis osmótica y energética, observando su impacto en la eficiencia fotosintética y la producción de H_2 .

Metodologías de seguimiento

- *Medición de gases:* Uso de sensores y cromatografía de gases para cuantificar la producción de hidrógeno en cada condición.
- *Análisis metabólico:* Espectrofotometría, fluorometría y ensayos bioquímicos para determinar variaciones en metabolitos como NADPH, almidón y lípidos.
- *Microscopía y conteo celular:* Evaluación del crecimiento, viabilidad y morfología de las células en condiciones de estrés.

Condiciones técnicas de laboratorio

- *Fotobiorreactores con iluminación LED:* Control preciso de la intensidad y calidad de luz para mantener la fotosíntesis.
- *Sistemas de aireación y control de gases:* Regulación de CO_2 y supresión de oxígeno para establecer ambientes anaeróbicos.
- *Control de temperatura y pH:* Garantía de condiciones estables y reproducibles durante los ensayos.

Infraestructura del CICY

Laboratorios especializados en microalgas y bioenergía, equipados con sistemas de cultivo, instrumentación analítica y personal técnico capacitado, lo que asegura un seguimiento riguroso y confiable del proyecto.

**Pendientes por verificar el espacio expuesto y por confirmar componentes necesarios.*

Delimitaciones

- ***Alcance experimental reducido:*** El proyecto se limita a un nivel de laboratorio con cultivos en condiciones controladas, sin llegar a una escala piloto o industrial, lo cual restringe la extrapolación directa de resultados a sistemas de mayor tamaño.
- ***Especies seleccionadas:*** Solo se trabajará con las microalgas *Scenedesmus* y *Coelastrum*, por lo que los resultados no necesariamente reflejarán el comportamiento de otras especies con potencial para producir hidrógeno.
- ***Condiciones nutrimentales específicas:*** El estudio se enfocará en tres escenarios de cultivo: condiciones completas, limitación de azufre y limitación de potasio. No se considerarán otras estrategias de inducción de hidrógeno (como consorcios alga–bacteria, ingeniería genética o variaciones de iluminación).
- ***Parámetros medidos:*** La investigación se concentrará en el seguimiento de cambios metabólicos y la identificación de fuentes de electrones y protones. No se evaluará el costo económico del proceso ni su integración directa con sistemas energéticos actuales.
- ***Tiempo de ejecución:*** El trabajo se desarrollará en un plazo de 1 año, lo cual limita la observación de la estabilidad de los cultivos y de la producción de hidrógeno en periodos prolongados.