



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Anexo I

Estructura de Presentación de Propuestas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad Politécnica

**CONVOCATORIA PARA PRESENTACIÓN DE
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

FORMULARIO DE PRESENTACIÓN

PERFIL DEL PROYECTO

1. Título del Proyecto. Investigador/a Principal y Coinvestigadores

Implementación de un sistema automático de fotoreactor de cultivo de microalgas
Norma Silva, Investigador Principal, Ever Quiñonez Investigador Consolidado. Tomás Rodrigo
López Arias, investigadores externos

2. Resumen del proyecto

En el presente trabajo de titulación "Implementación de un sistema automático de fotoreactor de cultivo de microalgas" tendrá como objetivo de mejorar las condiciones del sistema cultivo de las microalgas mediante la implementación de un sistema de monitoreo y control de las siguientes variables: luz, temperatura, oxígeno y nutrientes para la microalga, en el cual se buscará el incremento de la eficiencia del cultivo a través de sensores conectados al microcontrolador ESP32 a un recipiente de material acrílico con un volumen de muestra, así mismo, el prototipo contará con la aplicación IOT para visualizar las lecturas de los sensores en tiempo real en un dispositivo móvil o remoto.



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

En este trabajo abarcará diferentes etapas del diseño del sistema. Esto incluye la recolección de datos mediante el estudio del arte y de entrevistas a profesionales del área de biotecnología, cálculos detallados de fotoreactor, selección de sensores y la utilización del método de matriz ponderada para seleccionar los diversos componentes del sistema. Estas elecciones se basan en criterios relacionados con sistemas embebidos de código abierto y las necesidades específicas de operación del sistema. Además de la selección de componentes, el trabajo detalla los resultados de las pruebas de funcionamiento, los diagramas de funcionamiento del sistema, los planos mecánicos y los planos electrónicos. El prototipo implementado buscará obtener un rendimiento superior debido al control continuo de las variables propuestas en comparación con el método tradicional de cultivación de microalgas. Específicamente, logrando una mayor eficacia significativa mediante la automatización en el crecimiento de las microalgas. Este resultado subrayará la importancia y el potencial de la implementación de sistemas automatizados en la cultivación de microalgas. Por lo tanto, se espera que este trabajo pueda contribuir al campo de la ingeniería Biotecnología, Mecatrónica, entre otras de manera conjunta tenga un impacto positivo en la investigación del crecimiento de las microalgas.

Palabras Claves: Automatización, Cultivo de microalgas, Sensores, ESP32, IoT

3. Equipo de investigadores

Nombre	Formación / grado académico	Sede/Grupo de Investigación/Carrera	Función y actividad en el proyecto
Norma Graciela Silva Ortiz	Ingeniera en Electrónica	GIEM – FPUNA	Investigador Principal
Ever Quiñonez	Ingeniero en Electrónica	GIEM – FPUNA	Investigador Consolidado
Tomás Rodrigo López Arias	Licenciado en Ciencias Mención Biología. Máster en Gestión y Auditorías Ambientales con	GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL- FACEN	Investigador Externo



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

	especialidad en Ingeniería de tratamiento de aguas residuales		
--	---	--	--

4. Área y especialidad de la propuesta

Basadas en el manual de Frascati. Indicar la contribución/alineación con la Política en Ciencias y Tecnología del CONACYT; el Plan de Desarrollo, PND 2030; el Plan Estratégico Institucional de la Fa Contribución y alineación

Área de la Ciencia: **Ingeniería y Tecnología- Ciencias Naturales**; El proyecto impulsa la innovación tecnológica en biotecnología y mecatrónica, mediante el desarrollo de sistemas automatizados para el cultivo de microalgas, promoviendo la investigación aplicada y la innovación en sistemas embebidos y control de procesos, en concordancia con la apuesta del CONACYT por fortalecer la infraestructura y capacidades de investigación.

Contribuye a la diversificación económica y al impulso de la economía verde, mediante la optimización de cultivos sostenibles de microalgas, que tienen aplicaciones en biocombustibles, alimentos y cosméticos, fomentando la sostenibilidad y el uso eficiente de recursos naturales. (PND) 2030

Potencia la formación en ingeniería mecatrónica, biotecnología y tecnologías emergentes, promoviendo investigación aplicada, innovación y vinculación con la industria en línea con los objetivos de fortalecer capacidades institucionales para el desarrollo regional y nacional. (PEI-FPUNA).

Este proyecto responde a las prioridades nacionales e institucionales de fomentar la innovación tecnológica, sustentabilidad ambiental y desarrollo económico, en sintonía con las agendas globales y nacionales para un futuro más sostenible. (ODS 9-12 al 14)



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

5. Objetivos del proyecto

Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema automatizado de fotoreactor para el cultivo de microalgas, que permita el control preciso de variables clave como luz, temperatura, oxígeno y nutrientes, con el fin de incrementar la eficiencia y productividad del proceso de cultivo.

Objetivos Específicos

- Elaborar el diseño técnico de un sistema automatizado que considere los parámetros esenciales en cada etapa del crecimiento de las microalgas, garantizando un ambiente óptimo para su desarrollo.
- Programar una plataforma basada en microcontrolador ESP32, integrando una interfaz IoT en tiempo real que facilite la monitorización y regulación automática de las variables del sistema.
- Validar la operación efectiva del sistema mediante pruebas de campo, evaluando el rendimiento en el crecimiento de microalgas y ajustando los parámetros según sea necesario para optimizar el proceso.

6. Resultados esperados y los medios para verificarlos

Objetivo 1: Elaborar el diseño técnico de un sistema automatizado que considere los parámetros esenciales en cada etapa del crecimiento de las microalgas, garantizando un ambiente óptimo para su desarrollo.

- **Resultado esperado:** Un diseño técnico completo y funcional del sistema automatizado que considere todos los parámetros necesarios para el cultivo de microalgas en cada etapa.
- **Medios de verificación:** Documentación técnica y planos del sistema. Informe de diseño con cálculos, selección de componentes y diagramas.

Objetivo 2: Programar una plataforma basada en microcontrolador ESP32, integrando una interfaz IoT en tiempo real que facilite la monitorización y regulación automática de las variables del sistema.



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

- **Resultado esperado:** Un sistema programado en ESP32 con interfaz IoT operativa, que permita monitorear y controlar en tiempo real las variables del fotoreactor.
- **Medios de verificación:** Código fuente del sistema programado. Demo o grabación de la interfaz en operación en tiempo real. Registro de funcionalidad en pruebas controladas.

Objetivo 3: Validar la operación efectiva del sistema mediante pruebas de campo, evaluando el rendimiento en el crecimiento de microalgas y ajustando los parámetros según sea necesario para optimizar el proceso.

- **Resultado esperado:** Validación del funcionamiento del sistema mediante pruebas de campo que demuestren un crecimiento eficiente de microalgas, comparado con métodos tradicionales.
- **Medios de verificación:** Resultados de pruebas de campo con datos de crecimiento, condiciones controladas y análisis comparativo.
Informes de resultados con gráficas y conclusiones sobre la efectividad del sistema.

7. Antecedentes y Justificación

El cultivo de microalgas ha emergido como una alternativa sostenible en la producción de biocombustibles, alimentos, suplementos nutricionales y compuestos bioactivos debido a su alta tasa de crecimiento y capacidad de captar CO₂ (Fawley et al., 2021). Sin embargo, uno de los mayores desafíos en la industrialización de estos cultivos es la optimización de las condiciones ambientales, que suelen ser controladas de manera manual y con poca precisión, afectando la eficiencia y productividad del proceso (González et al., 2020).

A nivel mundial, investigaciones recientes han demostrado que la automatización del control de variables como luz, temperatura, oxígeno y nutrientes puede incrementar significativamente la biomasa y reducir costos operativos (Li et al., 2022). Tecnologías de monitoreo en tiempo real, basadas en sistemas embebidos y plataformas IoT, han permitido una gestión más eficiente y adaptativa de estos sistemas, logrando mejorar la calidad y rendimiento del cultivo (Kumar et al., 2023). Sin embargo, en contextos nacionales y en muchas instituciones, estos avances aún están en fases experimentales o limitados a proyectos de investigación puntuales, sin una integración generalizada en sistemas de cultivo a escala industrial.

Con trabajos multidisciplinario del GIEM con el GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL- FACEN en el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo de la producción de



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

metano en tiempo real de un reactor anaeróbico piloto para laboratorio en la digestión de lodos con contaminantes emergentes en aguas residuales. Silva Ortiz, N. G., Ortellado, J., & Díaz, M. (2024, 20-23 de agosto).

El uso de microcontroladores como el ESP32 ha facilitado la incorporación de tecnologías de código abierto y bajo costo en la automatización de procesos biológicos, permitiendo la creación de sistemas flexibles, escalables y accesibles (Rodríguez et al., 2022). La integración de sensores para medición de variables clave y la visualización en tiempo real mediante plataformas IoT, aún representa un reto técnico en el contexto local, por lo que desarrollar un prototipo funcional puede significar una contribución importante para el campo, promoviendo su adopción en comunidades científicas y productivas nacionales.

La justificación de este trabajo se sustenta en la necesidad de mejorar las condiciones y la eficiencia en la producción de microalgas, contribuyendo a un desarrollo sustentable y sostenido, alineado con las tendencias internacionales actuales (ONU, 2022). La implementación de un sistema de control automatizado que sea accesible y adaptable para diferentes contextos apoya la innovación en biotecnología y la economía verde, fomentando la investigación aplicada y el conocimiento técnico en el país.

La incorporación de tecnologías abiertas, de bajo costo y de fácil integración, será un paso hacia la democratización del acceso a soluciones tecnológicas avanzadas en la biotecnología, fortaleciendo la infraestructura investigativa y productiva local. En suma, este proyecto representa una contribución significativa para optimizar los procesos de cultivo de microalgas y promover un desarrollo tecnológico sustentable, respondiendo a las necesidades estratégicas tanto nacionales como globales.

8. Materiales y Métodos

Describe todos los materiales y la metodología que emplea para desarrollar el trabajo de investigación.

Se plantean como diseño de investigación adoptando un esquema de investigación conocido como Modelo Integral para el Profesional en Ingeniería (Serrano Castaño, 2002), como se observa en la Figura 1:



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

FACULTAD POLITÉCNICA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Modelo Integral para un Profesional en Ingeniería



Figura 1: Modelo Integral para el Profesional en Ingeniería

Metodología

Fase de Diseño y Selección de Componentes:

Revisión bibliográfica y análisis técnico para determinar los sensores y actuadores adecuados.

Cálculos de diseño del fotoreactor, incluyendo dimensiones, disposición de sensores y elementos de control.

Selección de componentes basada en criterios de compatibilidad, costo y disponibilidad.

Desarrollo del Sistema Electrónico y Programación:

Montaje del circuito en protoboard o PCB, conectando sensores y actuadores al ESP32.

Programación del microcontrolador para lectura en tiempo real de sensores, ejecución de algoritmos de control y comunicación con la plataforma IoT.

Configuración de la interfaz en la plataforma IoT para visualización y control remoto en tiempo real.

Construcción y Configuración del Fotoreactor:

Ensamblaje del recipiente de acrílico, instalación de sensores y sistemas de iluminación y distribución de nutrientes.

Verificación de la estanqueidad y funcionalidad del sistema.

Pruebas y Validación:

Pruebas de funcionamiento en condiciones controladas para ajustar parámetros y calibrar sensores.

Ejecución de cultivos experimentales en campo, monitoreando en tiempo real y recopilando datos de crecimiento y control de variables.

Análisis estadístico y comparación con metodologías tradicionales para evaluar mejoras en eficiencia.

Documentación:

Registro del proceso de desarrollo, esquemas electrónicos, código fuente y resultados.

Elaboración de informes y gráficas para mostrar la operación y efectividad del sistema.



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

FACULTAD POLITÉCNICA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Esquema Funcional del Sistema de cultivo automático de microalgas

El sistema de cultivo automático de microalgas estará compuesta por los sensores de Luz, oxígeno y temperatura que se encargan de enviar las lecturas de datos al ESP 32 que será el encargado de realizar el control de la temperatura accionando los calentadores de inmersión, para la luminosidad se acciona las luces Led, el control de oxígeno es la bomba de aire y la alimentación de las microalgas un micro servo que se puede accionar de forma automática o temporizada y todo esto a su vez se los visualiza en un dispositivo móvil en tiempo real.

En la siguiente Figura 2 se presenta un breve esquema funcional del sistema automático de cultivo de microalgas.

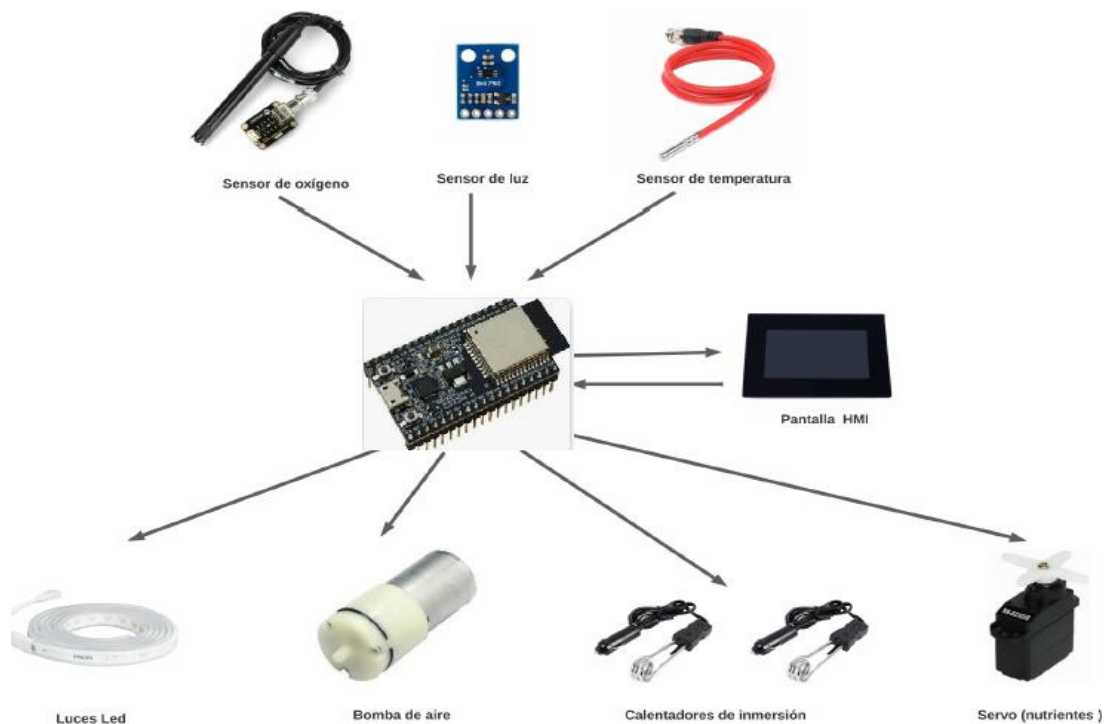


Figura 2: Esquema Funcional del Sistema automático con sensores y actuadores

Materiales

Hardware:

Microcontrolador ESP32 (Espressif Systems)

Sensores:

Sensor de luz (fotodiodo o sensor de intensidad lumínica)

Sensor de temperatura (termistores o sensores digitales, como DS18B20)

Sensor de oxígeno disuelto (sensor de oxígeno óptico o electroquímico)



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Sensores de nutrientes (sensores de concentración específicos según el nutriente)

Actuadores:

LED o fuentes de luz controlables

Elementos de calefacción o enfriamiento (heaters/calentadores y ventiladores)

Bombas peristálticas o válvulas para en resolución de nutrientes

Dispositivo de interfaz (pantalla LCD, módulos Wi-Fi)

Recipiente de cultivo de acrílico (capacidad de 5 litros)

Software:

IDE Arduino o plataforma similar para programar ESP32

Plataforma IoT (como Blynk, ThingSpeak, o similar) para monitoreo en tiempo real

Herramientas para realizar diagramas electrónicos y mecánicos (Eagle, Fritzing, etc.)

Otros materiales:

Materiales de montaje (cables, conectores, tornillos, soporte para sensores)

Elementos de seguridad y protección (guantes, gafas de protección)

9. Relevancia de la propuesta

Indique la contribución/avance para el área del conocimiento abordado que serán obtenidos con los resultados de la propuesta.

La implementación de un sistema automatizado controlado vía IoT para el cultivo de microalgas representa un avance significativo en la optimización de procesos biotecnológicos, especialmente en el contexto nacional. La contribución principal radica en el diseño de una plataforma económica, escalable y flexible, que permite monitorear y ajustar en tiempo real las variables críticas (luz, temperatura, oxígeno y nutrientes), optimizando el crecimiento de microalgas y elevando la productividad de manera sostenida (Kumar, Patel, & Singh, 2023).

Este trabajo aporta conocimientos técnicos en la integración de tecnologías abiertas, como el microcontrolador ESP32 y sensores de bajo costo, en aplicaciones biotecnológicas, fortaleciendo el campo de la automatización bioprocesal (Rodríguez, Pérez, & García, 2022). Además, genera un prototipo funcional que puede ser utilizado como base para futuras investigaciones o implementaciones industriales, promoviendo el desarrollo sustentable y la economía verde en el país (ONU, 2022).

Desde el punto de vista científico, la propuesta contribuye a profundizar en el entendimiento de la dinámica de cultivo controlado, facilitando la recopilación de datos precisos y en tiempo real para optimizar parámetros y procesos (Li, Zhao, & Chen, 2022). En el ámbito educativo y de



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

investigación, fomenta la formación en tecnologías IoT aplicadas a biotecnología y la transferencia de conocimientos en ingeniería y microbiología.

En suma, esta iniciativa impulsa avances tecnológicos y científicos que pueden acelerar la innovación en cultivos de alto valor añadido, contribuyendo a la diversificación productiva, la reducción de costos y la sostenibilidad ambiental, alineándose a las prioridades nacionales e internacionales en materia de desarrollo científico y tecnológico (Fawley, Heidorn, & Khan, 2021).

La implementación de un sistema automatizado controlado vía IoT para el cultivo de microalgas es especialmente relevante para Paraguay, debido a su potencial en la diversificación de su matriz productiva y en el aprovechamiento de recursos biológicos para actividades sostenibles. Actualmente, Paraguay enfrenta desafíos en la optimización de procesos agrícolas y biotecnológicos, con una necesidad urgente de innovaciones que mejoren la eficiencia y reduzcan costos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021).

El cultivo de microalgas ofrece múltiples beneficios en el país, incluyendo la producción de biocombustibles, complementos alimenticios y ácidos grasos funcionales, que pueden contribuir a la seguridad alimentaria y energética, aspectos prioritarios en el desarrollo sostenible en Paraguay (CEPAL, 2020). Sin embargo, la falta de sistemas automatizados y monitoreo en tiempo real limita el potencial de estos cultivos a nivel industrial y de investigación.

Este proyecto contribuirá al fortalecimiento de la ciencia y tecnología nacionales, promoviendo el uso de tecnologías abiertas, accesibles y adaptables, que pueden ser implementadas en pequeños y medianos emprendimientos locales. Además, facilitará la capacitación técnica en automatización y biotecnología, generando conocimientos y habilidades que redundarán en un mayor desarrollo tecnológico en el país (Senai Paraguay, 2022).

Asimismo, fomentar la innovación en agricultura y biotecnología con enfoque sustentable puede promover el aprovechamiento de recursos como la quelpa, el agua y la energía, contribuyendo a una economía más resiliente y diversificada. La producción de microalgas con control automatizado puede también generar valor agregado para productos nacionales y potenciar exportaciones en el ámbito de la bioeconomía.

Este proyecto se sitúa en línea con las prioridades estratégicas de Paraguay para potenciar la innovación, la sostenibilidad y el desarrollo científico-tecnológico, contribuyendo a alcanzar objetivos nacionales relacionados con la producción limpia y el desarrollo económico sustentable.

10. Plan del trabajo

Tiempo de duración en meses: 6 mes

Inicio del proyecto: Mayo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

Finalización del proyecto: Noviembre

Resultado esperado	Actividades principales	Indicadores de éxito	Medios de Verificación	Supuestos/ imponderables	Tiempo de ejecución (semana N°)
Diseño técnico completo y funcional del sistema automatizado para cultivo de microalgas.	- Realizar cálculos de diseño. - Seleccionar componentes. - Elaborar planos electrónicos y mecánicos. - Documentar el diseño.	- Documentación y planos entregados y revisados. - Aprobación del diseño técnico.	- Informe técnico con cálculos y planos. - Revisión por comité técnico.	- Disponibilidad de recursos técnicos y materiales. - Aceptación del diseño por parte del supervisor.	4-6 semanas
Sistema en ESP32 con interfaz IoT operativa para monitoreo y control en tiempo real.	- Programar el microcontrolador. - Diseñar y desarrollar la interfaz IoT. - Integrar sensores y actuadores. - Realizar pruebas de control y monitoreo.	- Sistema programado y funcional. - Interfaz en funcionamiento y en tiempo real. - Pruebas en condiciones controladas.	- Código fuente y documentación. - Grabaciones o demo en operación. - Registros de pruebas.	- Funcionalidad de los componentes electrónicos. - Conectividad estable a internet y sensores confiables.	6-10 semanas
Validación del sistema mediante pruebas de campo y análisis de eficiencia en el cultivo de microalgas.	- Instalar y poner en marcha en campo. - Monitorear variables y crecimiento. - Comparar resultados con métodos tradicionales. - Analizar datos y elaborar informes.	- Datos de crecimiento y condiciones controladas. - Comparación estadística favorable. - Informe de resultados concluyente.	- Datos de campo y gráficas. - Informes de análisis. - Fotos y registros durante las pruebas.	- Condiciones meteorológicas favorables. - Sin interrupciones imprevistas en las pruebas.	10-24 semanas

11. Presupuesto

	Descripción del bien o servicio	Especificaciones básicas	Actividad	Subtotal Guaraníes
1	Microcontroladores ESP32	Módulo con Wi-Fi y Bluetooth, capacidad de programación en Arduino IDE	Programación y financiamiento del microcontrolador	2.500.000



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

2	Sensores (luz, temperatura, oxígeno, nutrientes)	Sensores analógicos/digitales, compatibilidad con ESP32	Compra e integración de sensores	2.500.000
3	Actuadores (bombas, ventiladores, LEDs)	Componentes automáticos para control de variables	Compra e instalación de actuadores	3000.000
4	Placa base y componentes electrónicos	Resistencias, cables, fuentes de poder	Montaje y soldadura	500.000
5	Recipiente de cultivo (acrílico, 5 litros)	Material resistente y transparente	Compra y adecuación del fotoreactor	1000.000
6	Materiales de prueba y validación	Insumos para pruebas de campo	Pruebas y recopilación de datos	500.000
Total + Costo de Envío				10.000.000

12. Estrategia de comunicación

Los resultados de investigación serán publicados en revistas científicas indexadas y/o presentadas en eventos académicos o científicos nacionales o internacionales.

- Jornadas de Jóvenes Investigadores
- Congresos Nacionales e Internacionales arbitrados por pares
- Publicación en revistas técnicas de innovación y desarrollo

13. Referencias bibliográficas

Fawley, M. W., Heidorn, T., & Khan, M. (2021). Microalgae biotechnology for biofuel production: Advances and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110348. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110348>

González, P., López, A., & Martínez, S. (2020). Control de variables ambientales en cultivo de microalgas: Revisión técnica. *Revista de Biotecnología y Bioingeniería*, 33(2), 134-145.



CAMPUS DE LA UNA
SAN LORENZO-PARAGUAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Kumar, S., Patel, R., & Singh, S. (2023). IoT-based automation systems for microalgae cultivation: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04567-9>

Li, Y., Zhao, Y., & Chen, B. (2022). Real-time monitoring and control of microalgae cultivation using embedded systems. *Bioengineering*, 9(3), 122.

Rodríguez, M., Pérez, J., & García, L. (2022). Implementación de plataformas IoT en procesos biotecnológicos: Casos de estudio. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 19(2), 193-202.

ONU (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Informe 2022*. Naciones Unidas.

EPAL. (2020). *Perspectivas económicas de América Latina y el Caribe 2020: La recuperación a partir de la crisis de la COVID-19*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46045-perspectivas-economicas-america-latina-caribe-2020>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2021). *Informe anual de producción agrícola y desafíos para el año*. Gobierno de Paraguay. <https://www.mag.gov.py> (acceso ficticio. Ajustar con link real si dispones).

Senai Paraguay. (2022). *Innovación y capacitación en tecnología y biotecnología en Paraguay*. Sociedad Nacional de la Industria de la Tecnología Paraguay. <https://www.senai.org.py>

Silva Ortiz, N. G., Ortellado, J., & Díaz, M. (2024, 20-23 de agosto). Monitoreo en tiempo real de la producción de metano en un reactor anaeróbico piloto para laboratorio durante la digestión de lodos con contaminantes emergentes en aguas residuales. 4ta Jornada de AMARU, Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay.