

Prototipo de Biorreactor Inteligente para Microalgas

Carlos E. Franco A. *, Heidy C. Estrada G*.

*Estudiante de Ingeniería Mecánica en la Universidad Autónoma del Estado de México.

Abstract – *El presente trabajo describe el diseño y construcción de un prototipo de biorreactor de bajo costo para el cultivo de microalgas con un microcontrolador ESP32 para la detección en tiempo real de variables de crecimiento como temperatura y dióxido de carbono. Se utilizarán la capacidad de conexión a WIFI del microcontrolador para subir las mediciones a un spreadsheet y posteriormente pasarlo a formato CSV para con ello programar un modelo de Deep Learning que realice un análisis de sensibilidad para cada variable. En conjunto, se utilizará la base de datos de Ruken Missonnier (Ruken, 2023) a la cual igualmente se tratará y creará un modelo de DL. También se implementará un modelo de DL con los datos obtenidos en el spreadsheet, este modelo será de clasificación para saber si el cultivo crece o no. Se detectó que la variable más importante para que las algas crezcan es la luz, seguido por el pH y cantidad de nitratos.*

Contenidos

Introducción	1
Objetivo	2
Marco Teórico.....	2
Microalgas	2
Biorreactores.....	3
Sensores para el Monitoreo	4
Materiales y Métodos.....	5
Conclusiones	7
Referencias.....	7
Anexos	9

Anexo 1: Google spreadsheet	9
Anexo 2: Código con base de datos propia	9
Anexo 3: Código con base de datos de Ruken Missonnier	9
Anexo 4: Carpeta con fotografías	9
Anexo 5: Código Arduino	9

Introducción

El presente proyecto se enfoca en el desarrollo de un biorreactor de algas, integrando diseño electrónico, prototipado, obtención y tratamiento de datos, siendo este último realizado con metodología de *Deep Learning*, utilizando un microcontrolador ESP32 como microcontrolador predilecto para la obtención de datos y control de la oxigenación del biorreactor. El sistema busca generar un dataset, el cual permita reflejar el crecimiento del cultivo de algas, para ello, se utilizará un sensor de temperatura y un sensor de calidad del aire, que permita medir gases presentes en el prototipo. Las microalgas como *Chlorella vulgaris* o *Spirulina* representan una fuente renovable de biomasa, la cual podría ser utilizada para cuestiones de alimentos, farmacéuticos y remediación ambiental, por su alta eficiencia fotosintética y capacidad de fijar CO_2 , en general las algas presentan estas propiedades, siendo los estromatolitos un factor primordial para la creación de la atmosfera primitiva hacer tres mil quinientos millones de años (Beraldi, 2025).

El prototipo tiene un enfoque de bajo costo, con inspiración en modelos air-lift con agitación neumática e inmersión temporal,

para este enfoque se utilizaron jeringas de plástico, bombas de 5V y sensores comerciales como el LDR 5537, MQ-135 y DS18B20, los cuales serán explorados más a fondo en Marco Teórico, además, para reducir costos en la nueve, creación de un servidor privado, o estar conectados al microcontrolador para recibir datos por 24 horas seguidas como se solicita, se utilizarán la conectividad integrada del ESP32 para conectarse a internet y transmitir datos a *Google spreadsheet*, posteriormente estos datos serán preprocesados y utilizados para entrenar un modelo de DL.

En las secciones siguientes, se detallará el diseño del hardware, arquitectura del código ESP32, metodología de adquisición de datos, data frame, modelo DL y conclusiones basados en los resultados obtenidos de la adquisición de datos.

Objetivo

De acuerdo con las instrucciones del doctor Jaime, el objetivo del proyecto es el siguiente (García, 2025):

*“Diseñar, construir y programar un prototipo de **biorreactor de bajo costo** que utilice un **microcontrolador ESP32** para la **adquisición de datos en tiempo real** (señales ambientales y de crecimiento) de un cultivo de microalgas, con el fin de generar un dataset para el desarrollo y prueba inicial de un modelo de **Deep Learning** para la predicción o clasificación del estado del cultivo.”*

Marco Teórico

El marco teórico de este proyecto busca darle sustento a Materiales y Métodos, buscando que el prototipo mantenga un bajo costo sin dejar de lado la funcionalidad del biorreactor y sin comprometer componentes electrónicos por durante la agitación neumática.

Microalgas

Las microalgas son organismos fotosintéticos (pueden ser unicelulares o multicelulares, variando su temperatura desde células hasta las grandes colonias tipo pasto marino), gracias a la clorofila que es su pigmento primario, siendo de gran importancia para la atmosfera gracias a sus altas capacidades para fijar el CO_2 , además de estar en la base de la cadena alimenticia, siendo una fuente alimento esencial en ecosistemas acuáticos. Las algas tienen una función de gran importancia en la producción de oxígeno, siendo la mitad de la producción fotosintética de material orgánico en la Tierra, además reducen los efectos de la contaminación del agua y de la tierra, mejorando incluso las características del último, pues en caso de haber exceso en el agua, puede causar malos olores y efectos negativos en la salud humana si su reproducción es acelerada (Dina, et al., 2017).

Su tasa de crecimiento es superior a la de los plantas terrestres llegando a crecer $21.9 \frac{g}{m^2} / dia$ en sistemas optimizados, por lo tanto, se podría considerar un recurso renovable gracias a su acelerado crecimiento (Chenghu Yan, 2016). Por si todo lo anteriormente mencionado fuera poco, las algas son ampliamente utilizadas en el sector farmacéutico, agrícola, nutricional y últimamente el sector energético, siendo de gran interés debido a sus lípidos y la producción de biodiesel (Dina, et al., 2017). Estudios han demostrado que se llegan a producir más de $14 \frac{g}{L}$ de biomasa, con niveles reducidos de bicarbonato de sodio $0.9 \frac{g}{L}$, fosfato $0.25 \frac{g}{L}$ y urea $0.5 \frac{g}{L}$, siendo esta la combinación óptima para el crecimiento de algas (Daryush & Malek, 2024).

Cultivar algas requiere controlar variables ambientales como (Marcin, Joanna, & Marcin, 2025):

- **Nutriente:** La concentración de nitrógeno en el cultivo acelera el crecimiento, siendo un indicador importante para el crecimiento de algas. El carbono no suele ser un factor limitante como lo es el fósforo y el nitrógeno. Según (Marcin, Joanna, & Marcin, 2025) la razón de carbono, nitrógeno y fósforo debe ser C:N:P = 20:8:1.
- **Temperatura:** Óptima a los 32-30 °C, esto puede aumentar hasta dos veces la producción de algas, sin embargo, altas temperaturas e iluminación excesiva, pueden afectar el crecimiento de algas.
- **pH:** Mantenerlo en un rango de 6-8 evitando alcalinidad la cual reduce la disponibilidad de CO_2 .
- **Intensidad de la iluminación:** Este es un factor que tiene gran influencia en el crecimiento de algas, normalmente requieren menos luz que las plantas de tierra. *Chlorella vulgaris* necesita estar iluminada en el rango de 50-100 $\frac{W}{m^2}$. Se ha demostrado que a medio día hay un efecto de fotoinhibición debido a las grandes cantidades de energía que reciben las algas, por ello, es necesario tener cautela para no propiciar este fenómeno.
- **Concentración de oxígeno:** Altas concentraciones de oxígeno de igual manera pueden orillar a la fotoinhibición de las algas siendo 29 $\frac{mg}{L}$ el límite. Además, el incremento de oxígeno puede orillar a la proliferación de otros organismos como los hongos.

Para reducir mayores riesgos es recomendable sistemas cerrados con monitoreo de tiempo real.

Biorreactores

Un biorreactor es un sistema cerrado en el que se propician las condiciones adecuadas para el crecimiento de un organismo, como una planta o alga, controlando factores como pH, oxigenación, temperatura, entre otros, proveyendo de un ambiente controlado (Dayanna & Angie, 2020). Para las microalgas, los biorreactores pueden disponer de luz artificial, para maximizar la producción, incluso cuando es de noche (Marcin, Joanna, & Marcin, 2025). Se les puede encontrar en modelos tipo *thin-flim* o *air-lift* que son modelos de bajo costo.

Para sistemas de bajo costo se pueden utilizar recipientes de plástico para reducir las altas inversiones que un biorreactor puede suponer, incorporando agitación neumática se pueden distribuir nutrientes y CO_2 sin la necesidad de complicadas partes mecánicas (Daryush & Malek, 2024). Para modelos de tipo *air-lift* la bomba genera un flujo ascendente mejorando el suministro de nutrientes, de esta manera evitando la creación de sedimentos. Un subconjunto de este tipo de biorreactores son los de tubo concéntrico, en los cuales el aire se alimenta por medio de un anillo ubicado en el centro del tubo, por este anillo circulan las burbujas que se unen y salen en la parte superior de la columna, mientras que las otras se mantienen en el líquido provocando agitación neumática (Dayanna & Angie, 2020).

Se recomienda para la inmersión temporal completa que se agite neumáticamente con ciclos de 15 minutos cada 6 horas, de esta manera se optimiza el contacto con el medio nutritivo (Plantas, 2024).

En conjunto con sensores e IoT se puede monitorear de manera continua y remota el estado del biorreactor, maximizando la producción, reduciendo la mano de obra y permite la creación de datasets continuos con los cuales se puede realizar un análisis más

detallado y acertado del crecimiento de las algas.

Sensores para el Monitoreo

Los sensores requeridos para el monitoreo en tiempo real y medición de lagunas variables críticas antes mencionadas como la temperatura y CO_2 que afectan el metabolismo de las microalgas son el LDR 5537, DS18B20 y MQ_135.

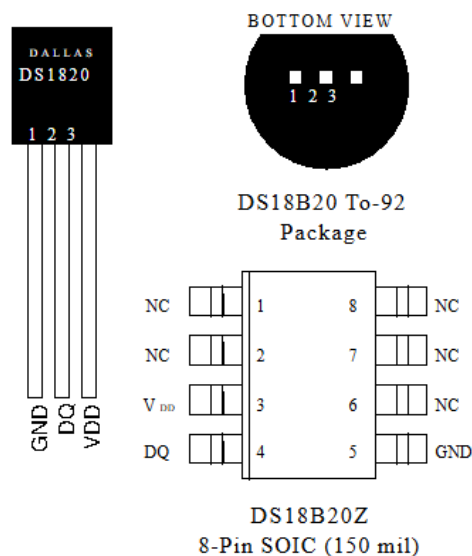
Las fotorresistencias (LDR, Light Dependent Resistors) son componentes semiconductores cuya resistencia es inversamente proporcionar a la intensidad luminosa, haciéndolas ideales para aplicaciones de bajo costo para el monitoreo de luz, la cual es una característica crítica para las microalgas, siendo estas fotosintéticas. Las conexiones no son tan sencillas como lo puede ser conectar otro tipo de resistencias, ya que para el sensor LDR se necesita conectar en serie otra resistencia, la cual normalmente es de $10k\Omega$, la data se obtiene del nodo entre el LDR y la resistencia común. Puede llegar a trabajar hasta con voltajes de 150 V con una potencia máxima de 100 mW, el rango de temperatura va de $-30^\circ C$ a $70^\circ C$ (Unit Electronics, 2025).

EL sensor DS18B20 es un sensor con un rango de operación de $-55^\circ C$ a $150^\circ C$ al que se le puede suministrar de 3.0-5.5 V con una corriente máxima de $154 \mu A$, la ventaja de este sensor es su forma de sonda, la cual permite que sea sumergido en el líquido donde si ubicarán las microalgas. La precisión del sensor es de máximo $\pm 0.5^\circ C$. En conjunto esto lo hace ideal para trabajar en el biorreactor con las microalgas. Otra ventaja es que solo requiere un *port pin* para comunicarse con el microcontrolador permitiendo ser conectado con un GPIO del ESP32 (DALLAS SEMICONDUCTOR, NA).

La información se envía por medio de la interfaz de 1-Wire de tal forma que solo un cable tenga que ser conectado al microprocesador central como se mencionó en

párrafos anteriores. Todo esto permite amplias aplicaciones como control de temperatura en edificios, maquinaria, procesos de monitoreo y control (DALLAS SEMICONDUCTOR, NA).

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

GND - Ground
DQ - Data In/Out
V_{DD} - Power Supply Voltage
NC - No Connect

Figure 1. Pines del sensor DS18B20. Fuente: (DALLAS SEMICONDUCTOR, NA)

En cuanto al monitoreo de los gases el sensor MQ-135 permite monitorear gran variedad de estos considerándose un medidor de calidad de los gases.

Según la hoja de datos, cuanto mayor es la contaminación, mayor es la conductividad del sensor, convirtiendo la señal eléctrica en una salida que mida la concentración de los gases. El MQ-135 tiene gran sensibilidad a gases como el gas de amoníaco, sulfuro, benceno y otros gases tóxicos, la ventaja de este sensor es que es de bajo costo. Tiene un rango de detección de gases de los 10-1000 ppm (partes por millón, se utiliza para medir concentraciones muy pequeñas). Se debe mantener lejos al sensor de la condensación del agua, esto puede afectar su sensibilidad

disminuyéndola, también en caso de grandes concentraciones de gas, incluso si el sensor no tiene energía, su sensibilidad igualmente se verá afectada (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co, 2015).

El módulo utilizado funciona con 5 voltios, con una corriente de 150mA, pero, una característica que debe considerarse es que requiere de un tiempo de precalentamiento, o sea, debe esperarse 20 segundos para que el sensor pueda comenzar a leer datos (NAYLAMP MECHATRONICS, 2023).

Materiales y Métodos

En esta sección se describen los materiales empleados y los procedimientos aplicados para el diseño y construcción del biorreactor. Como se mencionó anteriormente, el enfoque se orientó en la obtención de componentes de bajo costo, lo que permitió garantizar la disponibilidad y accesibilidad de los materiales requeridos.

Materiales

1. Microcontrolador ESP32
2. Sensor de temperatura DS18B20
3. Sensor de gases MQ-135
4. Bomba de 5V DC
5. Frasco de plástico de 120 ml (esterilizable en autoclave)
6. Cepas de alga Spirulina
7. Tubo semirrígido
8. Foco ahorrador
9. Cautín

La manipulación de los materiales se efectuó bajo condiciones de higiene controlada, asegurando la desinfección previa del área de trabajo, esto para minimizar cualquier riesgo de contaminación.

1. Preparación del envase y perforación

Se utilizó un frasco estéril de 120 ml como base para el biorreactor. Para perforar la tapa

del frasco, se tomó un cautín previamente calentado a aproximadamente 350–400 °C. Con la punta del cautín se realizaron dos perforaciones en la tapa plástica del frasco, teniendo especial cuidado de que los orificios resultantes tuvieran el diámetro exacto necesario para permitir adaptarlo a el sensor de temperatura DS18B20 y al tubo semirrígido conectado a la bomba.

Posteriormente, en una zona lateral de la tapa del frasco se realizaron dos pequeños orificios para fijar el sensor de gases MQ-135. Además, se efectuaron varios orificios (con diámetro muy reducido) adicionales alrededor del sensor con el fin de facilitar la captación de los gases.

En esta etapa se tuvo especial cuidado durante la perforación, el cautín se aplicó de forma rápida y precisa para evitar deformaciones excesivas del plástico y la formación de rebabas que pudieran comprometer el diámetro de las perforaciones requeridas.

2. Adaptación del sensor DS18B20, sensor MQ-135, tubo semirrígido y el motor

La sujeción del sensor MQ-1325 se logró mediante un pequeño cable, el cual se empleó como elemento de anclaje para mantener el sensor estable y orientado correctamente hacia una zona lateral de la tapa, rectificando que dicho cable no hiciera contacto con algún componente del sensor.

Posteriormente, el sensor de temperatura DS18B20 fue colocado en la parte interna del vaso de 120 ml, asegurándolo de forma externa mediante cinta transparente. Esto permitió garantizar su estabilidad sin obstruir la visibilidad ni interferir con la lectura de volumen. Ambas adaptaciones se realizaron procurando la integridad estructural del vaso y asegurando el correcto funcionamiento de los sensores durante el proceso de monitoreo

Manipulamos ambos materiales para verificar que ensamblan perfectamente a la tapa y evitar algún tipo de movimiento durante el proceso.

Seguidamente, se insertó el tubo semirrígido en el orificio practicado en la tapa del frasco, acoplando uno de sus extremos a la boquilla de salida del motor. El conjunto se aseguró mediante apretado manual y ajustes menores, garantizando una unión estable y sin fuga.

3. Procedimiento de adaptación y crecimiento de la cepa de Spirulina

Para el desarrollo del cultivo se adquirieron aproximadamente 30 ml de cepa de alga Spirulina, la cual fue transferida cuidadosamente al frasco, destinado como el contenedor del biorreactor.

Una vez realizada la transferencia, se procedió a colocar el recipiente en un ambiente controlado de iluminación. Para ello, se establecieron dos fuentes de luz complementarias:

1. Iluminación artificial mediante un foco ahorrativo, este fue seleccionado debido a su capacidad para emitir luz en un rango adecuado de grados Kelvin, indispensable para favorecer la actividad fotosintética del alga Spirulina.
2. Iluminación natural directa, asegurando que el vaso se ubicara en un lugar que recibiera luz solar desde las primeras horas del día y mantuviera exposición continua durante la mayor parte del día.

El foco se mantuvo encendido de manera permanente (24 horas continuas), con el fin de proporcionar un estímulo lumínico constante que promoviera el crecimiento de la cepa.

Este proceso de exposición lumínica se llevó a cabo durante un periodo de tres días continuos, durante estos días no se aplicaron modificaciones adicionales.

El procedimiento permitió observar el desarrollo progresivo, evidenciando el crecimiento de la cepa de alga Spirulina.

Durante estos días de adaptación y crecimiento, las observaciones diarias mostraron; un cambio progresivo de color verde claro a verde intenso característico de Spirulina sana, lo cual nos indicó ausencia de contaminación bacteriana o por otros microorganismos (confirmado por la observación microscópica)

La combinación de luz artificial continua y luz solar directa aceleró notablemente el crecimiento en comparación con otro recipiente el cual también fue agregado 50 ml de cepa de Spirulina, pero este solo fue mantenido con luz natural.

Esto permitió una adaptación exitosa y un crecimiento exponencial inicial de la cepa Spirulina, esto con el fin de estar listo para ser monitoreado en tiempo real mediante los sensores conectados al ESP32, con el propósito de generar un dataset robusto que contenga las variables ambientales y los indicadores de crecimiento de la microalga, este será utilizado posteriormente para entrenar y validar un modelo de Deep Learning.

Se busca recabar 20,000 datos para entrenar el modelo, esta cantidad de datos se puede alcanzar si cada 5 segundos por más de 24 horas se guarda el valor de los sensores del biorreactor (Tehreem, et al., 2024). Esto significa un problema por dos motivos:

1. Si se quieren guardar los datos en Excel se debe mantener conectado el microcontrolador a la computadora, impidiendo su uso durante más de 24 horas.
2. El documento al tratarse de 20,000 datos podría llegar a ser pesado.

Para manejar estos problemas se utilizarán *google spreadsheet*, la cual servirá como base

de datos en la nube, resolviendo la problemática del espacio en la memoria y la conexión del ESP32 directa a la computadora para el monitoreo del biorreactor.

Se utilizarán las capacidades del ESP32 para conectarse a internet y de esta forma compartir los datos. Para lograr esto primero debes entrar a Google *spreadsheet*, se recomienda que en la fila 1 colocar el título de que significa cada columna, para saber si se trata del monitoreo de temperatura o de algún gas en específico. Posterior a eso, dar click en “Extensiones”, “*Apps Script*”, una vez abra la ventana, se debe borrar el código ya existente en esa página, para colocar el código ubicado en **Error! Reference source not found.** (el código ejemplo se consigue con los pasos anteriormente mencionados).

Una vez se hayan alcanzado las lecturas deseadas, se descarga el documento en formato .CSV (Comma-Separated Values), formato muy útil para el tratamiento de datos. Es importante señalar que no solo se utilizará la base de datos obtenida por cuenta propia, también se utilizará la base de datos obtenida en Kaggle, la cual cuenta más variables y exactas, tratándose de un laboratorio (Ruken, 2023).

Debido a la limitación impuesta en la extensión de este documento (10 páginas) podrán encontrar todos los códigos y documentación extra en la sección de **Error! Reference source not found.**, cada código estará comentado para facilitar su comprensión.

Cada CSV tendrá un tratamiento diferente, el de Ruken Missonnier (Ruken, 2023) será una red neuronal con modelo de regresión, ya que cuenta con el conteo de células, en cambio el de elaboración propia es un modelo de clasificación para determinar si el cultivo crece o no.

Conclusiones

El desarrollo de este prototipo de biorreactor de bajo costo para el cultivo de microalgas permitió integrar tecnologías de IoT, uso de sensores y contenedores asequibles para optimizar procesos complejos. Gracias a las capacidades WIFI del ESP32 se logró una adquisición en tiempo real de variables como temperatura, niveles de calidad del aire e intensidad luminosa, permitiendo generar un CSV con 12067 filas para crear un modelo clasificatorio de Deep Learning, que en conjunto con los datos provistos por Ruken Missonnier (Ruken, 2023), confirmaron que la variable de mayor influencia es la luz, seguida por el pH y niveles de nitratos, siendo la temperatura, CO_2 y fosfato las variables de menor importancia cuando se trata del crecimiento de microalgas.

Por desgracia el sensor MQ-135 parece no ser estable cuando le da la luz del sol, ya que arrojaba valores enormes como $1.2301e+26$ ppm, valores imposibles para el dióxido de carbono y registrando una media de 9.86 ppm después de que se realizó la limpieza de datos, lo cual de igual manera representa una cifra inadecuada, ya que en promedio hay 420-450 ppm de dióxido de carbono en el aire. Es recomendable buscar sensores de mayor calidad o en su defecto buscar otro tipo de sensores, pues el CO_2 demostró no ser un factor importante para el crecimiento de las microalgas, en cambio buscar sensores de pH o nitratos, aunque estos suelen ser más caros.

Referencias

Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. (10 de 03 de 2015). *MQ135 Datasheet (PDF)* - Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. Obtenido de ALLDATASHEET: <https://www.alldatasheet.es/html->

- pdf/1307647/WINSEN/MQ135/249/1/MQ135.html
- Beraldi, H. (NA de 2025). *Estromatolitos - Instituto de Geología - UNAM*. Obtenido de INSTITUTO DE GEOLOGÍA UNAM : <https://www.geologia.unam.mx/contenido/estromatolitos#cianobacteria>
- Chenghu Yan, Q. Z. (2016). A Novel Low-cost Thin-film Flat Plate Photobioreactor for Microalgae Cultivation. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 1-7.
- DALLAS SEMICONDUCTOR. (NA). *DS18B20 Datasheet(PDF) 1 Page - Dallas Semiconductor*. Obtenido de ALLDATASHEET: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/58557/DALLAS/DS18B20/181/1/DS18B20.html>
- Daryush, A., & Malek, A. (2024). Design and fabrication of a simple and cost-effective microalgae culture photobioreactor and optimization of culture conditions. *Shahin Shahr Campus*, 1-19.
- Dayanna, F., & Angie, L. (2020). DESARROLLO DE UN BIORREACTOR DE BAJO COSTO PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE OXÍGENO EXTERNO EN UN CONSORCIO ALGA-BACTERIA PARA LA PRODUCCIÓN DE POLIHIDROXIALCANOATOS (PHA). *FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA*, 1-165.
- Dina, M., MOHD, S., Shaza, M., Hesham, A., ZOOL, I., & Mohd, I. (2017). A Systematic Review of Deep Learning Microalgae Classification and Detection. *IEEE Access*, 1-26.
- García, J. (27 de Noviembre de 2025). *Examen parcial 2 2025B Prototipo de Bioreactor Inteligente para Microalgas*. Obtenido de Microsoft Teams.
- Marcin, D., Joanna, K., & Marcin, Z. (2025). Multi-Sensing Monitoring of the Microalgae Biomass Cultivation Systems for Biofuels and Added Value Products Synthesis—Challenges and Opportunities. *MDPI*, 1-42.
- NAYLAMP MECHATRONICS. (NA de 2023). *Sensor MQ-135 gas Calidad de aire*. Obtenido de NAYLAMP MECHATRONICS: <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/73-sensor-mq-135-gas-calidad-aire.html>
- Plantas, N. L. (30 de Julio de 2024). *Construye tu propio Biorreactor casero paso a paso: Propagación de tomillo in vitro*. Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=HaprwOMKnqg&t=76s>
- Ruken, M. (NA de 2023). *Research on Algae Growth*. Obtenido de Kaggle: <https://www.kaggle.com/datasets/rukenmissonnier/research-on-algae-growth-in-the-laboratory>
- Tehreem, S., Shyam, K., Jonathan, M., Kris, L., Luc, R., & Leon, U. (2024). LSTM-based soft sensor for the prediction of microalgae growth. *Elsevier B.V.*, 1-7.
- Unit Electronics. (NA de 2025). *Fotoresistencia LDR 5537*.

Obtenido de Unit Electronics:
<https://uelectronics.com/producto/fotoresistencia-ldr-5537/?srsltid=AfmBOoo9wrh6jRBB>

2hKB_u1TJyytud-
Rh6oaOTFIT1PtDTXZiyO-lldd

Anexos

Anexo 1: *Google spreadsheet*

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1_hCABtGgLiRIJOQnmtm-wzq4wymFqAYLLexNzI7jqFk/edit?usp=sharing

Anexo 2: Código con base de datos propia

<https://colab.research.google.com/drive/1geY4noIw9g4NHS9iDzHaxxroB5wZVuJP?usp=sharing>

Anexo 3: Código con base de datos de Ruken Missonnier

Nuevamente, la base de datos no es de nuestra propiedad, es propiedad de Ruken Missonnier, la base de datos se obtuvo de <https://www.kaggle.com/datasets/rukenmissonnier/research-on-algae-growth-in-the-laboratory?resource=download>

Link para el código en *Google Colab*

https://colab.research.google.com/drive/1QgPTecp_ms1zbs8g339nIkFe-BApA6qC?usp=sharing

Anexo 4: Carpeta con fotografías

https://drive.google.com/drive/folders/1Og_JetyIGFH0lhAiXDZYZq9Kxu2O8Ttw?usp=drive_link

Anexo 5: Código Arduino

<https://docs.google.com/document/d/1CHTX6rqeIExzgV87sMrmUEavN0dtz6fmJ24okqhpHvc/edit?usp=sharing>