

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES PARA EL CRECIMIENTO DEL CORAL GATORADE ZOAS

IMPLEMENTATION OF AN ENVIRONMENTAL VARIABLE CONTROL SYSTEM FOR THE GROWTH OF GATORADE ZOAS CORAL

López Fierro Gerardo

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0002-3847-0554>
Gerardo.lf@cdjuarez.tecnm.mx

González Muñoz Miriam Magdalena

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0009-0006-1163-5847>
miriam.gm@cdjuarez.tecnm.mx

Castañeda Fierro Francisco

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0009-0005-1858-5996>
francisco.cf@cdjuarez.tecnm.mx

Camarillo Delgadillo José Mario

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0003-1446-8950>
jose.cd@cdjuarez.tecnm.mx

Ríos Fernández Nancy Esperanza

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0009-007-5289-8202>
Nancy.rf@cdjuarez.tecnm.mx

DOI: <https://doi.org/10.61273/neyart.v1i2.132>

| Recibido: 05/09/2023 | Aceptado: 10/10/2025 | Publicado: 11/11/2025

Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.



Resumen: Se desarrolló un sistema automatizado para el control de variables ambientales con el fin de favorecer el crecimiento del coral Gatorade Zoas. El sistema regula de manera precisa la luminosidad, temperatura, flujo de agua, pH, salinidad y alcalinidad, permitiendo la creación de un entorno controlado ideal para el desarrollo del coral. Esta solución tecnológica reduce la necesidad de experiencia previa en el cultivo de corales, facilitando resultados satisfactorios incluso para usuarios no especializados. Además, los datos recopilados durante el proceso de crecimiento servirán para establecer parámetros óptimos que contribuyan al estudio y conservación de esta especie.

Palabras clave: cultivo de coral, automatización, variables ambientales, Gatorade Zoas, sistemas de control.

Abstract: An automated system was developed to control environmental variables that promote the growth of Gatorade Zoas coral. The system accurately regulates light intensity, temperature, water flow, pH, salinity, and alkalinity, creating a controlled environment ideal for coral development. This technological solution minimizes the need for prior experience in coral cultivation, enabling satisfactory outcomes even for non-expert users. Furthermore, the data collected during the growth process will support the identification of optimal parameters, contributing to the study and conservation of this coral species.

Keywords: coral cultivation, automation, environmental variables, Gatorade Zoas, control systems.

INTRODUCCIÓN

El arte de preservar la vida marina se entrelaza cada vez más con la tecnología. En este artículo se presenta el desarrollo e implementación de un sistema de control automatizado, considerando algunas variables ambientales, diseñado para favorecer el crecimiento del coral Gatorade Zoas en ambientes artificiales, como peceras o acuarios. Este proyecto nace de la necesidad de conservar especies marinas vulnerables (Reyes, 2010; Gutiérrez, 2012), proponiendo una alternativa que conjuga ciencia, ingeniería y compromiso ecológico.

A través del uso de microcontroladores, sensores de temperatura, pH, iluminación y flujo de agua, se ha logrado crear un entorno controlado que emula las condiciones ideales de los arrecifes tropicales. El sistema no solo facilita el monitoreo y cuidado de los corales por parte de usuarios inexpertos, sino que también representa una posibilidad de utilización con fines educativos, comerciales o de conservación.

En Ciudad Juárez, se encuentra una comunidad que trabaja con peceras marinas, y es muy costoso su mantenimiento y la adecuación de las mismas, un elemento primordial para este tipo de peceras son los corales de tipo Gatorade Zoas, los cuales son de difícil manejo y transporte a la ciudad. El diseño de este sistema permitirá el cultivo bajo condiciones ambientalmente inducidas mediante un sistema automatizado de control de variables fisicoquímicas para lograr la reproducción de este tipo de coral, y así tener la opción de comercializar coral cultivado.

Objetivo general

Diseñar un sistema de control de algunas variables ambientales que proporcione las condiciones ideales para el correcto crecimiento y reproducción del coral Gatorade Zoas dentro de una pecera.

Objetivos específicos

- Conocer las condiciones ambientales ideales para el crecimiento del coral.
- Identificar los sensores y actuadores que se involucrarán dentro del modelo.
- Establecer el lenguaje de programación a utilizar para el control del sistema.
- Identificar las estructuras lógicas de circuitos necesarias para el control físico del sistema.
- Diseñar la estructura del sistema dentro de simuladores de diseño 3D.
- Realizar diseños de la estructura de los circuitos dentro de programas de simulación eléctricos y/o electrónicos.
- Elaborar un prototipo funcional del sistema de control de variables ambientales.
- Realizar pruebas previas a su colocación en la pecera, respecto al control de variables ambientales.
- Implementar el prototipo del sistema de control en la pecera.

Justificación

El desarrollo de un sistema automatizado para el control de variables ambientales en acuarios surge como una solución innovadora ante el creciente deterioro de los ecosistemas coralinos. Los corales, en especial los pertenecientes a la familia Scleractinia como el Gatorade Zoas, son organismos extremadamente sensibles a variaciones en parámetros como temperatura, PH, salinidad, iluminación y flujo de agua. Dichos factores deben mantenerse en rangos muy específicos para permitir su supervivencia y crecimiento (Reyes, 2016; Arteaga, 2018).

El presente proyecto propone una alternativa tecnológica viable para crear un entorno ex situ controlado, permitiendo así la reproducción y conservación del coral en contextos urbanos desfavorables como Ciudad Juárez, donde las condiciones ambientales naturales no son óptimas para su desarrollo (Arteaga, 2018). A través del uso de microcontroladores Arduino, sensores digitales y sistemas de control programables, se diseñó una plataforma capaz de regular automáticamente las condiciones internas de una pecera con un mínimo de intervención humana, promoviendo el cuidado coralino incluso por usuarios sin conocimientos especializados (Culkin, 2021; Sánchez, 2019).

La automatización de este tipo de sistemas también representa una oportunidad educativa, ecológica y comercial. Por un lado, permite acercar a los estudiantes y al público en general a temas de preservación marina mediante la aplicación de conocimientos de electrónica y programación. Por otro, ofrece un modelo escalable que puede implementarse en pequeñas empresas o proyectos de conservación, facilitando la reproducción de corales en entornos controlados sin la necesidad de importar tecnologías costosas (Pérez, 2015; Giancoli, 2005).

En un contexto global donde los arrecifes de coral están en peligro por el cambio climático y la acidificación de los océanos, iniciativas como esta representan un paso importante hacia la sustentabilidad y la apropiación tecnológica local con impacto ambiental positivo.

DESARROLLO

Crecimiento del coral

En el crecimiento del coral Gatorade Zoas influyen distintas variables tanto ambientales como químicas, entre las cuales se encuentran la alcalinidad, temperatura, incidencia de luz, tipo de incidencia de luz, PH, flujo de agua, y salinidad.

Las condiciones ideales para el crecimiento son las que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables del crecimiento del coral.

Variables ambientales/químicas	Valores aceptados
Alcalinidad	125-200 ppm / 7-8 dKH
Temperatura	19 – 29 °C
Incidencia de luz	100 – 250 PAR
Tipo de luz	T5's, Metal Halides, o LED's
PH	8 PH
Flujo de agua	Baja - Moderada
Salinidad	1023g – 1026 g / 34 – 38 ppt

Fuente. Jaques, T. (2003).

A continuación, se explicará el control de cada una de las variables:

Control de luminosidad del sistema. Antes de diseñar el control, es necesario conocer el espectro de luz para el crecimiento del coral; de los diversos estudios sobre el espectro de la luz, se ha deducido que las luces con longitudes de onda entre 370 y 500 nm son excelentes para penetrar en las profundidades del agua. Este tipo de luz en este rango de longitudes de onda incluye partes violetas y azules del espectro de luz, estas dos deberían penetrar fácilmente en el agua de mar para llegar a los arrecifes de coral para un mejor crecimiento. (Pérez, 2015)

El control de la luminosidad se logró mediante el uso de una tira de led (5050 SMD), alimentada con una fuente de 12 Vcd, que nos ofrece los colores de luz azul, verde, y rojo (RGB); el encendido de los leds es controlado por medio de un microcontrolador Arduino uno, que nos brinda la combinación y rangos de las tonalidades de luz necesarias.

Movimiento del agua. La falta de circulación de agua puede causar que el coral se ahogue, mientras que la corriente unidireccional puede causar que el coral se irrite, y por lo tanto se cierre. Los generadores de olas ayudan a eliminar estos problemas y mejorar la salud y el crecimiento de los habitantes del tanque.

El agua en un acuario debe de tener movimiento moderado alto, para los corales Zoantidos, debido a que el movimiento del agua permite mayor flujo de la luminosidad, la cual puede llegar al coral; ahora bien, los corales no sobreviven en aquellas zonas de las lagunas tropicales que quedan expuestas a la luz del sol durante la marea baja, por lo que estas actúan como freno a su crecimiento debido a la exposición prolongada al aire.

El movimiento del agua se genera con el uso de un generador de olas, regulado por medio de un atenuador de luz que nos sirve para controlar la velocidad del motor. La función de encendido-apagado se controla y se hace a través de programación en Arduino, en este caso se usará la lógica del control de un servomotor para indicarle el punto de cruce por cero y que de esta manera se realice correctamente el cálculo de la velocidad que se solicita. (Ortiz, 2021)

Temperaturas. Los arrecifes coralinos se encuentran por todo el mundo entre los 30 grados de latitud norte y 30 grados de latitud sur, por lo que la temperatura y la profundidad del agua determinan la distribución y crecimiento de los arrecifes coralinos, debido a que los pequeños organismos marinos que construyen las estructuras de los arrecifes necesitan vivir en aguas cálidas; por lo tanto, la temperatura del agua no debe descender por debajo de los 23 grados centígrados durante tiempos prolongados. (Magnason, 2021).

La variable de temperatura es controlada mediante el sensor digital DS18B20, el cual proporciona lecturas precisas de la temperatura actual del agua en la pecera. Para mantener esta variable dentro de un rango óptimo, se implementan dos mecanismos principales de control térmico:

Calentador de agua para acuarios: Se activa cuando la temperatura desciende por debajo del valor umbral previamente establecido. Su función es estabilizar la temperatura interna del acuario, evitando que el agua se enfríe en exceso.

Ventilador de enfriamiento: Opera de forma contraria al calentador. Se activa cuando la temperatura sobrepasa el límite superior del rango permitido, promoviendo la evaporación del agua, lo cual genera una pérdida de calor natural y ayuda a reducir la temperatura. Para maximizar su eficiencia, el ventilador debe colocarse lo más cerca posible de la superficie del agua.

Ambos dispositivos son gestionados mediante dos relevadores de control, los cuales permiten el encendido y apagado automatizado de cada sistema según las lecturas del sensor. La lógica de control es implementada en un microcontrolador Arduino Uno, que actúa como unidad central del sistema, procesando las señales del sensor y activando los actuadores correspondientes para mantener la temperatura dentro del rango deseado.

PH del agua. El pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La escala del pH es logarítmica con valores de 0 a 14, un incremento de una unidad en la escala logarítmica, equivale a una disminución diez veces mayor en la concentración de iones de hidrógeno. Con una disminución del pH, el agua se hace más ácida y con un aumento de pH el agua se hace más básica. (Silverthon, 2008).

El control del pH del agua en la pecera comienza mediante el uso de un electrodo de medición de pH, encargado de detectar el nivel de acidez o alcalinidad del agua en tiempo real. Este sensor permite conocer si el valor de pH se encuentra dentro del rango óptimo para la vida acuática o si requiere corrección.

Para ajustar el pH según las necesidades del sistema, se dispone de dos contenedores que almacenan soluciones químicas: uno para aumentar la alcalinidad y otro para reducirla (es decir, aumentar la acidez).

La dosificación de estas sustancias se realiza mediante dos electroválvulas, cada una conectada a un contenedor, que permiten la liberación precisa del químico correspondiente.

El sistema está controlado por un microcontrolador Arduino Uno, el cual:

- Procesa las lecturas del electrodo de pH,
- Determina si se requiere una corrección hacia valores más ácidos o más alcalinos,

- Activa la electroválvula correspondiente,
- Controla el tiempo de apertura de la válvula, para asegurar una dosificación adecuada.

Este mecanismo permite mantener el pH del agua dentro de los límites deseados, garantizando así un ambiente estable y saludable para los organismos acuáticos.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La implementación del sistema automatizado de control de variables ambientales para el crecimiento del coral Gatorade Zoas ha demostrado ser una solución funcional, precisa y de bajo costo para la reproducción de este tipo de organismo en entornos artificiales. La regulación de parámetros críticos como la luminosidad, el movimiento del agua, la temperatura, y el PH, permitió mantener condiciones estables que simulan el hábitat natural de los corales Gatorade Zoas, lo que se traduce en un entorno favorable para su crecimiento y supervivencia.

Los resultados obtenidos, mostrados en las Figuras 1, 2, 3 y 4 evidencian un control eficaz de cada variable monitoreada. En el caso de la luminosidad (Figura 1), se logró mantener un espectro de luz adecuado en el rango azul-violeta (370–500 nm), clave para la fotosíntesis de las zooxantelas presentes en el coral. Este control contribuyó directamente a la apertura constante de los pólipos y a una mejor pigmentación del tejido coralino.



Figura 1. Muestra de datos de la luminosidad.

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

En cuanto al flujo del agua (Figura 2), el uso de un generador de olas ajustado mediante programación permitió simular las corrientes naturales del océano. Esta dinámica de agua no solo mejoró la oxigenación del medio, sino que también evitó la acumulación de desechos y promovió una interacción saludable entre el coral y su entorno.

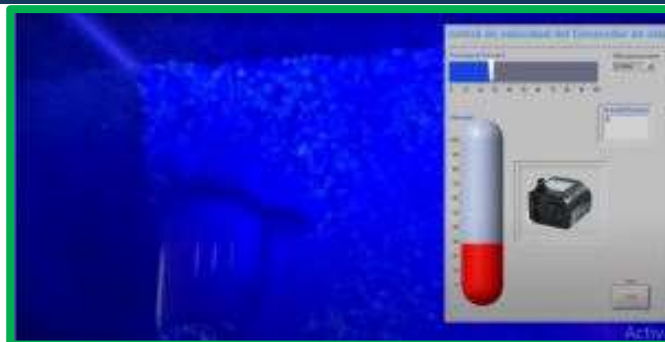


Figura 2. Datos del generador de olas.

Fuente. Elaboración propia (2025).

Respecto a la temperatura (Figura 3), el sistema de regulación mediante el sensor DS18B20, junto con los mecanismos de calefacción y enfriamiento, mantuvo el agua dentro del rango ideal de 24 a 27 °C. Este aspecto fue clave para garantizar la estabilidad metabólica del coral y evitar condiciones de estrés térmico.



Figura 3. Control de temperatura.

Fuente. Elaboración propia (2025).

El análisis general indica que el sistema desarrollado no solo logró cumplir con los objetivos planteados, sino que también demostró ser replicable y adaptable. Además, su facilidad de uso representa una ventaja importante para usuarios sin experiencia técnica previa, lo cual amplía sus posibilidades de aplicación en ambientes educativos, domésticos o de conservación.

La figura 4 muestra la disposición física de los componentes que integran el sistema de control de la variable de PH en el prototipo experimental. El servomotor se encuentra instalado a una altura intermedia respecto a la pecera y cuerpo de agua, con el propósito de prevenir afectaciones mecánicas o eléctricas derivadas de la exposición al medio líquido. En la parte superior del servomotor se ubica un tubo dispensador, el cual actúa como conducto para la dosificación del agente químico regulador del pH. Por otra parte, el electrodo de pH se encuentra sumergido en el agua, condición necesaria para garantizar una medición precisa y en tiempo real de dicha variable.



Figura4. Control del PH.

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

Comparación con estudios previos

Los resultados obtenidos en este proyecto concuerdan parcialmente con los hallazgos de Arteaga (2018), quien destacó la importancia de mantener niveles estables de alcalinidad y calcio para el crecimiento de corales en acuarios de arrecife. En el presente sistema, las mediciones automáticas de pH y temperatura permiten un control más preciso de dichas condiciones, lo que optimiza la respuesta fisiológica del coral sin requerir intervención manual constante.

De forma similar, Sánchez (2019) desarrolló un sistema de monitoreo de temperatura basado en el sensor DS18B20 con Arduino, logrando un control térmico eficiente en entornos acuáticos. Sin embargo, el sistema propuesto en este trabajo amplía dicha aplicación al integrar la regulación simultánea de múltiples variables (luz, flujo de agua y pH), lo que representa un avance significativo hacia un control integral automatizado.

Finalmente, Pérez (2015) analizó el espectro de luz más adecuado para la fotosíntesis de corales zoántidos, determinando que las longitudes de onda entre 370 y 500 nm favorecen la pigmentación y el crecimiento. En concordancia con ello, el sistema desarrollado en este estudio utiliza iluminación LED RGB dentro de ese rango, corroborando experimentalmente la efectividad de la luz azul-violeta en el desarrollo del coral Gatorade Zoas.

CONCLUSIONES

El sistema automatizado implementado para el control de variables ambientales representa un avance significativo en la reproducción y conservación ex situ del coral Gatorade Zoas. A través del uso de sensores especializados y microcontroladores, se logró mantener condiciones óptimas de luminosidad, temperatura, pH y flujo de agua, lo que posibilita un entorno estable para el desarrollo del coral incluso en contextos urbanos desfavorables.

Este proyecto demuestra que es viable integrar tecnologías de bajo costo y fácil acceso para automatizar procesos biológicos sensibles, reduciendo la dependencia de conocimientos técnicos avanzados y haciendo posible su implementación por parte de usuarios principiantes; además, los datos obtenidos mediante el monitoreo continuo permiten establecer parámetros de referencia que podrían aplicarse en futuras investigaciones sobre acuicultura coralina.

El enfoque replicable y educativo del sistema diseñado lo convierte en una herramienta útil no solo para el acuarismo responsable, sino también para instituciones educativas y proyectos de restauración marina. En suma, esta propuesta ofrece una solución tecnológica sustentable con impacto ambiental positivo y potencial para su escalamiento en distintas regiones del país.

TRABAJO A FUTURO

El sistema funciona de manera automática, sin embargo, requiere de monitoreo y mantenimiento habitual para asegurarse del correcto funcionamiento de los sistemas de control.

Mejorar la calidad de la luminaria brindará al coral una mejor coloración, por ende, se recomienda la adquisición de luminarias con un mejor desempeño.

Aunque con las variables controladas se puede tener un crecimiento del coral, implementar otro tipo de variable como la salinidad permitirá al coral desarrollarse en un entorno más óptimo, reduciendo el riesgo de un crecimiento inadecuado.

También se sugiere realizar pruebas de campo para validar la robustez del sistema en condiciones reales del acuario.

REFERENCIAS

- Arboledas, D. (2008). *Electricidad básica*. Madrid, España: RA-MA.
- Arteaga, F. (2018, 9 de marzo). *Importancia de las mediciones de alcalinidad y calcio en acuarios de arrecifes de coral*. Hanna Instruments. <https://hannainst.com.mx/blog/acuacultura/importancia-de-las-mediciones-de-alcalinidad-y-calcio-en-acuarios-de-arrecifes-de-coral/>
- Bastian, P. (2001). *Electrotecnia*. Madrid, España: Akal.
- Clay, C. (2008). *Manual del buceador*. Barcelona, España: Paidotribo.
- Condumex. (2009). *Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión*. México: Condumex.
- Croomer, A. (2006). *Física en la ciencia y la industria*. Madrid, España: Reverté.
- Culkin, J. (2021). *Aprende electrónica con Arduino*. Madrid, España: Marcombo.
- Giancoli, D. (2005). *Física: Principios con aplicaciones (6.ª ed.)*. Madrid, España: Pearson Educación.

Gutiérrez, A. (2012, 12 de enero). *Antozoos*. Todoservivo.

<https://www.todoservivo.com/cnidarios/antozoos/>

Hermosa, A. (2009). *Principios de electricidad y electrónica*. Barcelona, España: Marcombo.

Jaques, T. (2003). *Guía técnica de la acuarofilia*. Madrid, España: H. Blume.

López, V. (2021). *Electromagnetismo 2*. Madrid, España: UNED.

Magnason, A. (2021). *Sobre el tiempo y el agua*. Barcelona, España: Salamandra.

Ortiz, A. (2021, 19 de octubre). *Qué es un dimmer*. *Erenovable*. <https://erenovable.com/que-es-un-dimmer/>

Pérez, E. (2015, 18 de abril). *El mejor espectro de luz para el crecimiento de los corales*. AcuarioBarato.

<https://acuariobarato.net/mejor-espectro-luz-para-crecimiento-de-corales/>

Reyes, E. (2010, 19 de octubre). *Zoanthus*. PecesMarinos. <https://pecesmarinos.es/zoanthus/>

Reyes, J. (2016, 2 de noviembre). *Zoántidos para todos*. Newbiereef.

<https://newbiereef.tumblr.com/post/52307652425/zoantidos-para-todos>

Sánchez, A. (2019, 30 de junio). *DS18B20 con Arduino: Sensor de temperatura digital*. Geek Factory.

<https://www.geekfactory.mx/tutoriales-arduino/ds18b20-con-arduino-sensor-de-temperatura-digital/>

Santamaría, E. (1993). *Electrónica digital y microprocesadores*. Madrid, España: Biblios Industria Gráfica.

Serrano, N. (2015). *Neumática práctica*. Madrid, España: Paraninfo.

Silverthorn, D. (2008). *Fisiología humana: Un enfoque integrado (5.ª ed.)*. Estados Unidos: Editorial Médica Panamericana.

Triacs, T., & Lilen, H. (2006). *Electrónica práctica*. Barcelona, España: Marcombo.

TABLA TRABAJO COLABORATIVO

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Gerardo López Fierro
Metodología	Miriam Magdalena González Muñoz, Gerardo López Fierro
Software	Miriam Magdalena González Muñoz, Gerardo López Fierro
Validación	Nancy Esperanza Ríos Fernández, Gerardo López Fierro

Análisis Formal	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Nancy Esperanza Ríos Fernández
Investigación	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Gerardo López Fierro
Recursos	Gerardo López Fierro, José Mario Camarillo Delgadillo
Curación de datos	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Nancy Esperanza Ríos Fernández, Gerardo López Fierro
Escritura - Preparación del borrador original	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Gerardo López Fierro
Escritura - Revisión y edición	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, José Mario Camarillo Delgadillo
Visualización	Gerardo López Fierro
Supervisión	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, José Mario Delgadillo Camarillo
Administración de Proyectos	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Nancy Esperanza Ríos Fernández, Gerardo López Fierro
Adquisición de fondos	Gerardo López Fierro, José Mario Camarillo Delgadillo