

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

**FACULTA DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
Y COMUNICACIÓN TIC's**

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y MECÁNICA

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA CON ÉNFASIS EN
AUTOMATIZACIÓN**

**Trabajo Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura de
Ingeniería Electrónica con énfasis en Automatización**

**Sistema Electrónico para el Monitoreo de Valores de Temperatura y Humedad
en el Proceso de Anidación de Tortugas Marinas en Peligro de Extinción en
Playa Tambor**

Autor:

Luis Antonio Pérez Piedra

Heredia, Costa Rica

Fecha:07/12/2022



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Sistema Electrónico para el Monitoreo de Valores de Temperatura y Humedad en el Proceso de Anidación de Tortugas Marinas en Peligro de Extinción en Playa Tambor, por el estudiante: Luis Antonio Pérez Piedra, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Latina de Costa Rica, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica con énfasis en Automatización:

Ing. Luis Andrés Brenes Oses

Tutor

Ing. Andrés Chávez Zamora

Lector

Ing. Vittorio Andrés Vesco Ortega

Representante

Certificado de Revisión de la Filóloga

Heredia, 28 de diciembre del 2022

Universidad Latina de Costa Rica

Facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Información y Comunicación TIC's

Escuela en Ingeniería Eléctrica y Mecánica

Presente:

En mi condición de profesional colegiado en el Área de la Filología y Lingüística, doy fe de haber leído, revisado y corregido totalmente el Trabajo Final de Graduación titulado: *Sistema Electrónico para el Monitoreo de Valores de Temperatura y Humedad en el Proceso de Anidación de Tortugas Marinas en Peligro de Extinción en Playa Tambor*, elaborado por el sustentante, Luis Antonio Pérez Piedra, número cédula 1-1783-0830; Trabajo final de graduación para optar por el grado académico, de Licenciatura en Ingeniería Electrónica con Énfasis en Automatización.

He revisado y corregido errores gramaticales, de puntuación y ortografía, construcción de párrafos, vicios del lenguaje y otros aspectos relacionados en el campo filológico, que se manifestaron en el documento escrito. Desde ese punto de vista, considero que, con las correcciones realizadas en el documento, está listo para ser presentado como trabajo final de graduación; por cuanto cumple con los requisitos establecidos por el Tecnológico de Costa Rica (TEC).

Atentamente,



Lic. Yadira Murillo Guzmán
Filóloga Española
Cédula # 5 0204 0719
Carné # 0167
Asociación Costarricense de Filólogos (ACFIL)
Correo Electrónico: revisiontesis.cr@gmail.com



Declaración Jurada

Yo, Luis Antonio Pérez Piedra, estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy el Autor Intelectual del Trabajo Final de Graduación, titulado:

Sistema Electrónico para el Monitoreo de Valores de Temperatura y Humedad en el Proceso de Anidación de Tortugas Marinas en Peligro de Extinción en Playa Tambor

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en San José, Costa Rica, el 07 de Febrero del 2023 a las 10:15 de la mañana.



Luis Antonio Pérez Piedra

Cédula: 1-1783-0830

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)

Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	Luis Antonio Pérez Piedra
De la Carrera / Programa:	Ingeniería Electrónica con énfasis en Automatización
Modalidad de TFG:	Proyecto de Graduación
Titulado:	Sistema Electrónico para el Monitoreo de Valores de Temperatura y Humedad en el Proceso de Anidación de Tortugas Marinas en Peligro de Extinción en Playa Tambor.

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “AUTOR”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “OBRA”). **SEGUNDO:** El AUTOR autoriza y cede a favor de la UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L. con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “UNIVERSIDAD”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la OBRA necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la OBRA con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El AUTOR acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la UNIVERSIDAD no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El AUTOR garantiza la originalidad de la OBRA, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la OBRA, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del AUTOR y este garantiza mantener indemne a la UNIVERSIDAD ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El AUTOR se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la UNIVERSIDAD **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el AUTOR y la UNIVERSIDAD, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El AUTOR acepta que la UNIVERSIDAD, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la OBRA, y el AUTOR, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la UNIVERSIDAD, por lo que el AUTOR haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. OCTAVO: El AUTOR concede a UNIVERSIDAD., el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD. puede, sin cambiar el contenido, traducir la OBRA a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. NOVENO: El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD puede conservar más de una copia de este envío de la OBRA por fines de seguridad, respaldo y preservación. El AUTOR declara que el envío de la OBRA es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. DÉCIMO: El AUTOR manifiesta que la OBRA y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la OBRA contiene material del que no posee los derechos de autor, el AUTOR declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a UNIVERSIDAD los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el AUTOR autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la UNIVERSIDAD utiliza la OBRA sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO. La presente autorización se extiende el día 07 de Febrero de 2023 a las 10:15

Firma del estudiante(s):

Luis Antonio P.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, en especial a Jonathan Castro y a David Umaña por toda la asistencia brindada durante la realización del proyecto. También, agradezco a Juan Carlos Cruz, Javier Carazo, Ruth Rodríguez, Olger García y Rick Lemon por el interés y el recibimiento para realizar las pruebas de campo en Tortugas Bahía Tambor y a Elizabeth Landström el apoyo dado durante estas semanas. Finalmente, deseo agradecer a mi madre María Elena Piedra Acuña por siempre empujarme a seguir adelante y a mi padre José Benjamín Pérez Berríos por enseñarme a siempre dar lo mejor hasta el último segundo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	I
ÍNDICE DE FIGURAS	IIV
CAPÍTULO I	1
1. PROBLEMA Y PROPÓSITO.	2
1.1. Síntoma.	2
1.2. Causas	3
1.3. Pronóstico.	4
1.4. Control al pronóstico.	5
1.5. Formulación del problema.	6
1.6. Sistematización del problema.	6
1.7. Objetivo General.	6
1.8. Objetivos Específicos.	6
CAPÍTULO II	8
2. MARCO TEÓRICO.	9
2.1 Marco Situacional.	9
2.2. Antecedentes Históricos de la empresa.	10
2.3. Misión de la empresa.	10
2.4. Visión de la empresa.	10
2.5. Ubicación espacial.	11
2.6. Organigrama.	12
2.7. Marco Conceptual o Marco Teórico del Objeto de Estudio.	13
Especies de Tortugas Marinas en Costa Rica	13
Variables Ambientales y sus Sensores	15
Sistema Embebido	18
2.8. Hipótesis.	22
2.9. Limitaciones.	22
2.10. Alcances.	23
CAPÍTULO III	24
3. MARCO METODOLÓGICO.	25
3.1. Diseño de la Investigación	25

3.2. Enfoque de la Investigación	25
3.3. Población	25
3.4. Muestra	25
3.5. Instrumentos y Herramientas de Recolección de Datos	25
3.6. Procedimientos	26
3.7. Análisis de los Resultados	27
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Organigrama del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (1989)	12
<i>Figura 2:</i> Calendario y ubicaciones de anidación y eclosión de tortugas en Costa Rica	15
<i>Figura 3:</i> Sensor de Temperatura DS18B20	16
<i>Figura 4:</i> Curva de error típica del DS18B20	17
<i>Figura 5:</i> Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo y rango de calibración	18
<i>Figura 6:</i> Piezas 3D para la protección de la circuitería del Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo	18
<i>Figura 7:</i> Diferencia entre Baudaje y Bits por segundo	19
<i>Figura 8:</i> Relación entre el tamaño del cable y los bits por segundo transmitidos con el protocolo RS485	20
<i>Figura 9:</i> Diagrama del ESP-WROOM-32	21
<i>Figura 10:</i> Poste de Luz de 20W con Panel Solar	21
<i>Figura 11:</i> Regulador “Step-Down”	22
<i>Figura 12:</i> Prototipo con Arduino MKR1000	28
<i>Figura 13:</i> Prueba de prototipo en la caja con arena	28
<i>Figura 14:</i> Gráfica generada en Google Sheets	29
<i>Figura 15:</i> Datos enviados por la web API a Google Sheets	29
<i>Figura 16:</i> Diagrama Electrónico del Sistema	30
<i>Figura 17:</i> Sistema de Monitoreo de Temperatura y Humedad para Nidos de Tortugas	31
<i>Figura 18:</i> ESP32 encapsulado	32
<i>Figura 19:</i> Vivero de Tortugas Bahía Tambor	32
<i>Figura 20:</i> (De izquierda a derecha) Huevos de Etapa 1 a Etapa 4	33
<i>Figura 21:</i> Patrullaje nocturno realizado en el Día 1	33
<i>Figura 22:</i> Sistema de Monitoreo de Temperatura y Humedad para Nidos de Tortugas tomando datos de los nidos A1, D3 y F1	34
<i>Figura 23:</i> Gráficos de datos recolectados el día 1	35
<i>Figura 24:</i> Olger García devolviendo los restos de los huevos a la playa	36
<i>Figura 25:</i> Sensores dentro del nido J7	37
<i>Figura 26:</i> Gráficos de datos recolectados el Día 2	37
<i>Figura 27:</i> Sistema y Panel Solar con Sensor de Temperatura S1	38

<i>Figura 28:</i> Tortuga con caparazón deformado	39
<i>Figura 29:</i> Rick Lemon muestra el huevo fusionado a visitantes del vivero	39

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA Y PROPÓSITO.

1.1. Síntoma.

En este momento, se calcula un aumento en las temperaturas globales de 1.8 a 4 °C para el último siglo. Esto es un tema alarmante para las tortugas marinas, ya que, al igual que muchos reptiles, estas son altamente sensibles a cambios de temperatura. Una de las principales etapas en las que estas especies se pueden ver afectadas a causa del aumento de temperaturas es durante el desarrollo embrionario. El sexo de las tortugas marinas, al igual que muchas otras especies, es determinado por medio de la temperatura y esto sucede durante el segundo tercio del periodo de incubación.

Indica Mrosovsky (2009) que, en las especies con determinación sexual dependiente de la temperatura, dicha determinación es extremadamente sensible a la temperatura. El rango de temperatura de transición dentro del cual el complemento del sexo de la descendencia cambia de 100 % machos a 100 % hembras (o viceversa) es generalmente, inferior a 2 °C o inclusive inferior a 1 °C (Ewert et al., 1994).

A temperaturas más elevadas se producen más hembras, mientras que, para temperaturas más bajas se producen más machos. Por lo que para una incubación exitosa los nidos deben encontrarse en una temperatura que vaya desde los 25 °C hasta los 31 °C pues esto produce una proporción de sexos 1:1. Además, se ha visto que las altas temperaturas pueden llegar a acelerar la duración de la incubación y esto da como resultado neonatos más pequeños y débiles. (Baker et al., 2009).

De esta forma establece Casale (2006) que, por conveniencia, la vida de las tortugas marinas es dividida en tres etapas: crías, juveniles y adultas. Distintos métodos se han empleado con el fin de investigar la relación de sexo en cada una de estas etapas. En el caso de los adultos, es más sencillo identificar su sexo ya que presentan un claro dimorfismo sexual externo y además los machos presentan una

característica cola de mayor longitud y musculatura (Casale et al., 2005). La etapa más complicada a determinar es la juvenil, ya que, estas tortugas deben ser medidas en el océano y aún no presentan un dimorfismo sexual. Otros métodos empleados para determinar el sexo de tortugas en esta etapa son: la observación de gónadas por laparoscopia y por medio del análisis de los niveles hormonales en la sangre (Jribi et al., 2013). En el caso de las crías, el sexo se puede determinar de forma directa por medio de una examinación microscópica de sus gónadas (Jribi et al., 2013) o empleando variables adicionales asociadas con la temperatura como lo es la duración de la incubación (e.g. Mrosovsky et al., 1999).

1.2. Causas

Según Santidrián (2011) la estabilidad de las playas, la productividad del océano y la temperatura de la playa y de los mares son factores que pueden potencialmente afectar a todas las especies de tortugas marinas. Ya que, gracias al aumento de las temperaturas, los ecosistemas se están viendo afectados y dichos factores son los que se encargan de determinar una serie de características involucradas en su desarrollo.

Al mismo tiempo, menciona Pike (2015) que en Australia el aumento del nivel del mar, las tormentas y la bajamar están inundando los nidos a pesar de encontrarse en lugares altos y secos para garantizar su eclosión. También afirma que los embriones que se encuentran expuestos a agua salada entre una y tres horas no muestran una tasa significativa de mortalidad. Sin embargo, los expuestos por más de seis horas presentan una tasa de mortalidad del 40 %.

Entre otros factores se encuentra la cacería por su carne, huevos, piel y caparazón. Se conoce que, en Bali, Indonesia, aproximadamente 20,000 tortugas son capturadas cada año entre 1969 y 1994 para el consumo humano. También, se estima que aproximadamente 13,000 tortugas verdes continúan siendo vendidas cada año en la Costa Miskito en Nicaragua, mientras que, alrededor de 30,000 tortugas son consumidas ilegalmente cada año en la costa Pacífica de México

(WWF, 2006). Además, se ha encontrado que muchas tortugas quedan atrapadas en redes de arrastre y en anzuelos de palangre. Esto es conocido como captura incidental y es una de las mayores amenazas para algunas poblaciones de tortugas marinas ubicadas en el Este del Océano Pacífico en los últimos años (WWF, 2006).

1.3. Pronóstico.

Todas las especies de tortugas marinas se hallan lentamente creciendo y tardan muchos años en llegar a la madurez. La alta mortalidad natural de crías y juveniles significa que los adultos deben reproducirse por muchos años para preservar la especie. A pesar de esto, se ve un crecimiento en la mortalidad de esta especie gracias a la actividad humana, lo que impide a las tortugas jóvenes llegar a su edad reproductora (WWF, 2006).

Afirma el autor, Tortolero (2016) que la extinción de las tortugas marinas genera cambios en la cadena alimenticia. En países como Australia ya se han visto repercusiones gracias a la desaparición de las tortugas marinas. En este momento, las medusas se han convertido en un peligro inminente para su población y los científicos han notado un aumento en los números de esta especie, porque, su principal depredador son las tortugas marinas.

Además, la desaparición de las tortugas marinas puede generar una sobrepoblación o una extinción de otras especies que están directamente relacionadas con ellas. Tortolero (2016) asimismo, expresa el impacto que esta especie tiene en los ecosistemas. Afirma Blanco (2018) que en el fondo del océano se forman pastizales subacuáticos que se adhieren a los sedimentos marinos, los cuales, se conocen como pastos marinos y en Costa Rica se han identificado siete especies en 31 sitios. Estos sirven de alimento para especies de tortugas, por lo tanto, permite mantener las algas marinas sanas y en buen estado para las especies de peces, manatíes, erizos y crustáceos que dependen de estas plantas para su supervivencia.

1.4. Control al pronóstico.

Baker, Fish y Drews (2009) establecen que las series de características que influyen en las temperaturas deben ser analizadas en viveros, así como en nidos no reubicados. Entre los factores que es necesario considerar se encuentran las características de la arena como el color, el tamaño de las partículas y el contenido de humedad los cuales influyen en la transferencia de calor que recibe el nido. Al mismo tiempo, se debe tener en cuenta la radiación reflejada o emitida por un objeto (ya que, en playas más oscuras las temperaturas son más elevadas) y que un mayor tamaño de partículas de arena y un considerable contenido de agua generan una mayor conductividad térmica. Otra característica que define la temperatura de la arena sería el sombreado, en términos de cantidad de horas, en áreas específicas de las playas que se encuentren expuestas o no al sol. (Baker et al., 2009)

Además, asegura Limpus et al. (2020) que estudios realizados en relación con la humedad de los nidos han descubierto que concentraciones de humedad arriba de un 8 % v/v (volumen de agua/volumen de arena) pueden limitar el suministro de oxígeno de embriones en desarrollo y que en embriones en etapas iniciales este factor puede interferir con el intercambio de agua. A pesar de que los huevos son resistentes a las condiciones secas del nido, se ha observado que concentraciones de humedad debajo de un 2 % v/v generalmente, proporciona como resultado un éxito de eclosión reducido en comparación a concentraciones intermedias de humedad entre 4 % y 8 % v/v.

Entidades como la WWF (2006) también, se han sumado a la lucha aplicando diferentes técnicas para reducir las amenazas a las que se encuentran las tortugas marinas. Entre estas se encuentran la protección contra la recolección y el comercio de estas especies en zonas Asiáticas, Africanas y Caribeñas, así como la creación de comunidades educadas y enfocadas en preservar los nidos hechos por las tortugas a desovar. Esto ha sido acompañado por la creación de nuevos anzuelos para así evitar su captura incidental y por el apoyo brindado a nuevos estudios de investigación enfocados en la preservación de esta y otras especies.

1.5. Formulación del problema.

Falta de un sistema electrónico especializado en el monitoreo de valores de temperatura y humedad *in situ* capaz de enviar datos en tiempo real al usuario.

1.6. Sistematización del problema.

Para la solución de la problemática presentada se crea un sistema el cual cuenta con un mínimo de tres sensores de temperatura y uno de humedad. Por medio de los sensores de temperatura se pueden ya sea abarcar varios niveles de un solo nido para así estudiar lentamente el comportamiento de cada uno o también monitorear al menos tres nidos a la vez para así tener una mayor cantidad de nidos estudiados en un periodo de tiempo.

Además, se analiza la posibilidad de implementar el Sistema de Monitoreo con un Sistema Automatizado de Riego. Esto es logrado gracias a una estructura que, tomando en cuenta las dimensiones específicas de la distribución de los nidos establecida para cada especie, se encarga de refrescar el nido para así controlar su temperatura.

1.7. Objetivo General.

- Diseñar un sistema capaz de monitorear variables atmosféricas como la temperatura y la humedad, por un periodo de al menos 160 días, para ayudar en el proceso de anidación de las tortugas marinas en Playa Tambor por medio de la implementación de un sistema capaz de enviar datos en tiempo real al usuario.

1.8. Objetivos Específicos.

- Identificar las diferentes necesidades que requieren las especies nacionales de tortugas marinas en cuanto a las especificaciones para los viveros.

- Analizar los diferentes sensores que pueden ser implementados en el sistema, así como el Sistema Embebido que mejor se adapte a las necesidades del problema.
- Emplear el sistema final con sus respectivos componentes en pruebas de campo.
- Generar una base de datos que pueda ser analizada en tiempo real por el usuario y que permita que este interactúe con ellos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Marco Situacional.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) es el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano que apoya los esfuerzos de los Estados Miembros para lograr el desarrollo agrícola y el bienestar rural.

Brindan cooperación mediante el trabajo cercano y permanente con sus 34 Estados Miembros, cuyas necesidades son atendidas oportunamente. Sin duda alguna, su activo más valioso es la estrecha relación que mantiene con los beneficiarios de su trabajo. Cuentan con vasta experiencia en temas como tecnología e innovación para la agricultura, sanidad agropecuaria, calidad e inocuidad de los alimentos, comercio agropecuario internacional, agricultura familiar, desarrollo rural, gestión de los recursos naturales y bioeconomía.

Ya que entre sus principales prioridades se encuentra la gestión del sector ambiental, el IICA toma la decisión de involucrarse en el estudio de las tortugas marinas. En Costa Rica se cuenta con seis diferentes especies de tortugas marinas, las cuales son: la Tortuga Verde, Tortuga Baula o Laúd, Tortuga Lora, Tortuga Carey, Tortuga Cabezona y la Tortuga Verde del Pacífico. En estas especies se observa cada vez con mayor frecuencia que son más afectadas a causa del aumento de las temperaturas originado por el calentamiento global. Esto ha ocasionado una disminución en el nacimiento de neonatos e inclusive puede llegar a acelerarlo, por lo que nacen neonatos más débiles y pequeños incapaces de sobrevivir a la adversidad que se puede llegar a encontrar en los océanos.

Por estas razones se idea un sistema el cual es capaz de monitorear tanto la temperatura como la humedad de los nidos hechos en las playas por las tortugas para así tener un mejor control de estas variables a la hora del desarrollo de los neonatos. Dicho sistema es complementado por una estructura que puede

proporcionar sombra al nido y cuenta con un sistema de tuberías que se encarga de humedecer el nido para así alterar tanto la humedad de este como su temperatura para llevar esta última variable a un rango óptimo entre los 25 hasta los 31 °C.

Es de suma importancia la preservación de las tortugas marinas, ya que, son cruciales para el ecosistema y muchas especies que dependen de ellas. Además, se encuentran en peligro de extinción por lo que son una especie protegida en Costa Rica.

2.2. Antecedentes Históricos de la empresa.

En 1942 se funda el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), cuya sede es establecida en Turrialba, Costa Rica. Posteriormente en 1948 con la creación de la OEA el IICA se convierte en el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano. En 1976 se inaugura el edificio de la Sede Central en San Isidro de Coronado. Luego en 1979 es creada la Junta Interamericana de Agricultura (JIA) como máximo órgano de gobierno y se cambia de nombre a Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y para entonces la membresía se había ampliado a 29 países. Finalmente, en el 2018 comienza la administración del argentino Manuel Otero (2018-2022) y entra en operación el Plan de Mediano Plazo (PMP) 2018-2022.

2.3. Misión de la empresa.

Estimular, promover y apoyar los esfuerzos de los Estados Miembros para lograr su desarrollo agrícola y el bienestar rural por medio de la cooperación técnica internacional de excelencia.

2.4. Visión de la empresa.

Ser una institución moderna y eficiente apoyada en una plataforma de recursos humanos y procesos capaces de movilizar los conocimientos disponibles de la región y el mundo para lograr una agricultura competitiva, inclusiva y sostenible,

que aproveche las oportunidades para contribuir el crecimiento económico y el desarrollo y que promueva un mayor bienestar rural y un manejo sostenible de su capital neutral.

2.5. Ubicación espacial.

La Sede Central de la institución se encuentra localizada a 600 metros noreste del Cruce Ipís-Coronado, en Vásquez de Coronado, San Isidro, San José, Costa Rica.

2.6. Organigrama.

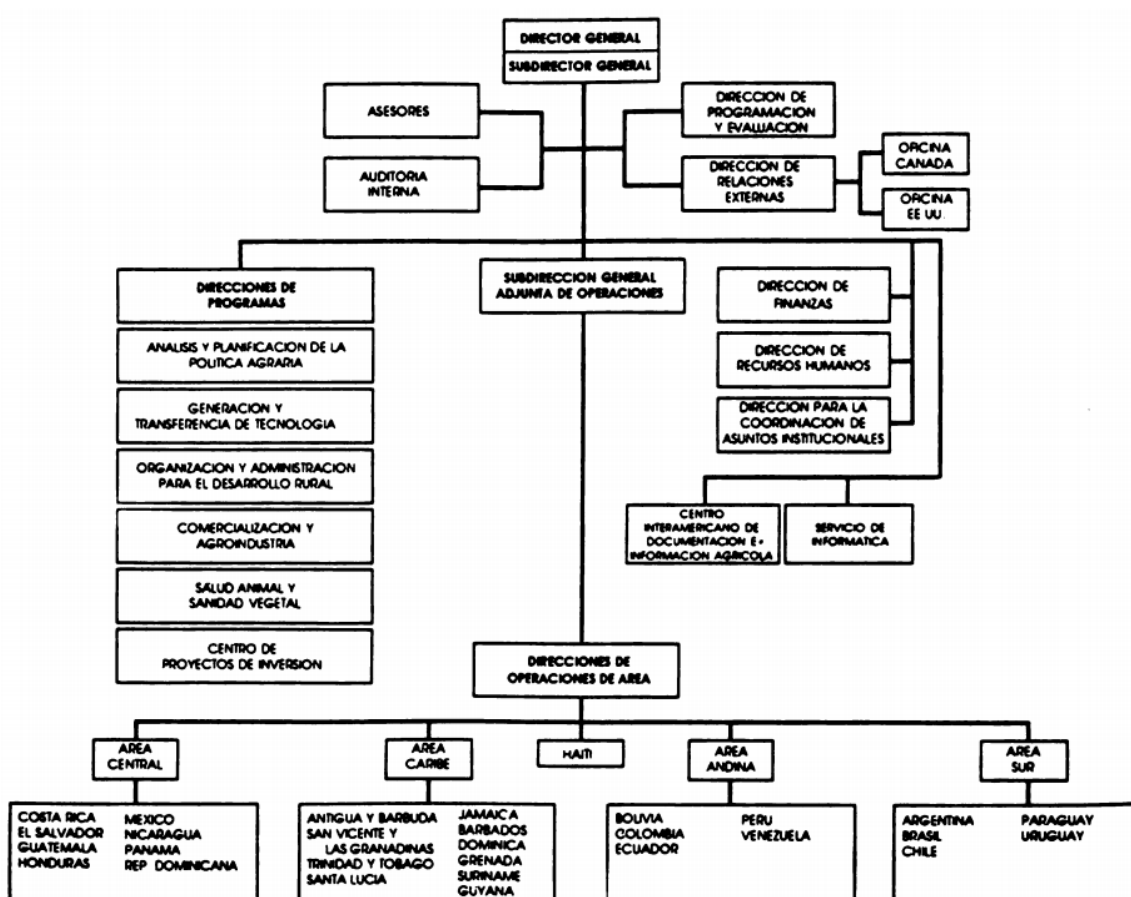


Figura 1: Organigrama del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (1989)

Fuente: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

2.7. Marco Conceptual o Marco Teórico del Objeto de Estudio.

Especies de Tortugas Marinas en Costa Rica

Las tortugas marinas son reptiles pertenecientes al orden llamado Testudines los cuales son reconocidos por poseer un caparazón que se encarga de proteger sus órganos internos. Esta especie reside en los océanos y luego de la temporada de apareamiento las hembras vuelven a la superficie para poner sus huevos. Durante esta temporada una hembra puede aproximadamente hacer entre tres a ocho nidos, un equivalente máximo de 1000 huevos, cada dos a cuatro años. Entre las especies nacionales se encuentran la tortuga Baula, Lora, Verde, Carey y Cabezona.

La Tortuga Baula se caracteriza por ser de color negro y ser la única que no cuenta con un caparazón duro además de que pueden vivir hasta 100 años. Es la más grande de su especie pues, puede llegar a medir dos metros de largo y pesar más de una tonelada. En el Caribe son conocidas por poner sus nidos en las playas Gandoca, Tortuguero, Parismina y Cahuita, mientras que en Pacífico las principales playas son Caletas, Ostional y Playa Grande, así como en la Península de Osa.

También está la Tortuga Cabezona, llamada así por la proporción que tiene su cabeza con su cuerpo. Es la tercera tortuga más grande de las marinas y su dieta está basada en almejas, cangrejos y caracoles. Estas pueden ser encontradas en los arrecifes de Cahuita y Gandoca Manzanillo en el Caribe mientras que en el Pacífico no hay tortugas de esta especie.

La Tortuga Verde es la segunda tortuga marina más grande de las especies conocidas porque puede llegar a medir más de un metro y pesar entre 150 y 200 kg. Esta es conocida por tener un refugio bajo el agua al cual regresa todas las noches y obtiene su nombre gracias al color de su grasa a consecuencia de su dieta la cual consiste en pastos marinos. En Costa Rica habita una subespecie conocida como tortuga negra la cual es más pequeña y tiene una coloración oscura y la parte trasera

del caparazón es más angosta. Esta subespecie anida en lugares como Corcovado, Pejeperro, Pejeperrito, Ostional, Jesús María, Carate, Llorona, Sirena y en Río Oro en la Península de Osa.

La Tortuga Carey es de las que más es perseguida por cazadores gracias a su caparazón con el cual se elaboran artesanías como aretes, collares y anillos. Puede llegar a medir alrededor de 90 cm de largo y pesar 60 kg en su adultez. Su dieta se basa en esponjas marinas espinosas, las cuales, son tóxicas y anidan en lugares aislados con muchas raíces y vegetación lo cual origina una dificultad para los depredadores en alcanzar su nidada.

Finalmente, la Tortuga Lora se caracteriza por ser la más pequeña de las de su especie. Los neonatos recién nacidos miden alrededor de cinco centímetros y son de un color oscuro, mientras que en la adultez alcanzan los 70 cm y su color cambia a una verde oliva. Su dieta consiste en crustáceos pequeños basada principalmente en camarones y es la única especie que anida en grupos y dichas arribadas se dan en Nancite y Ostional. Esta especie es de la que más se usan sus huevos legales e ilegalmente, no obstante, a pesar de esto sus poblaciones no son pequeñas y no se encuentran tan afectadas como las otras especies de tortugas marinas.

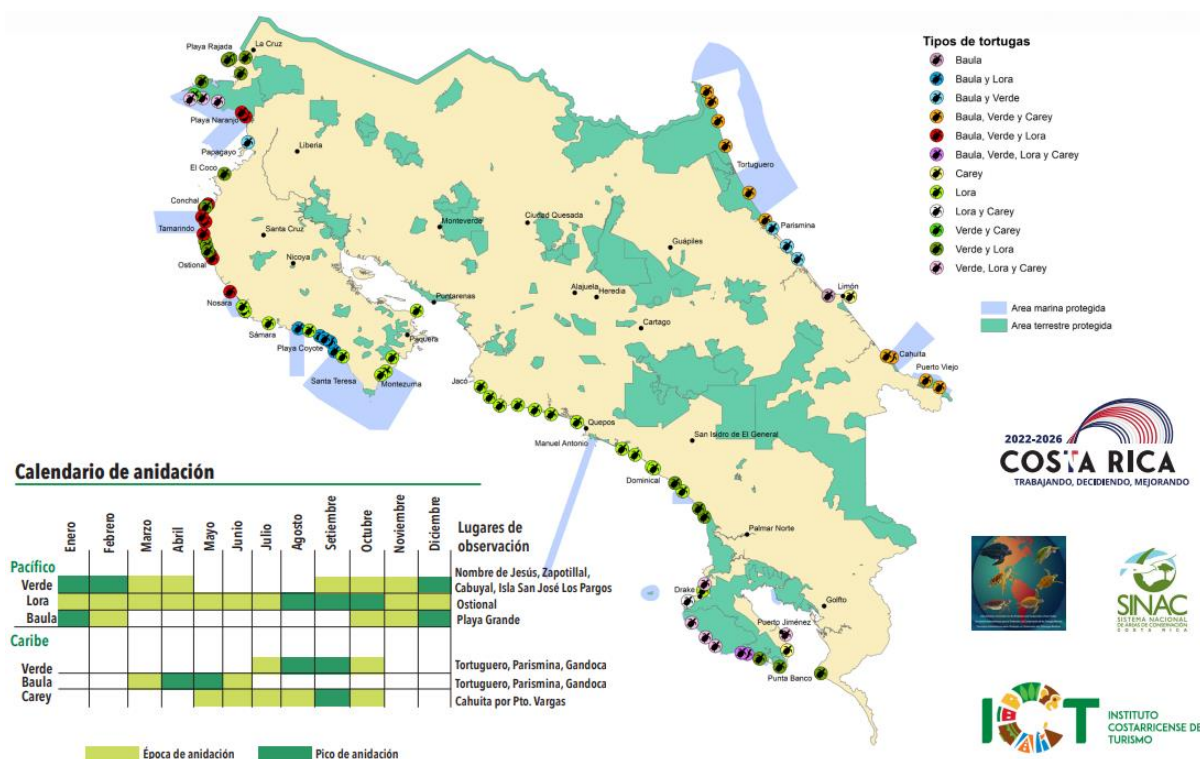


Figura 2: Calendario y ubicaciones de anidación y eclosión de tortugas en Costa Rica

Fuente: Instituto Costarricense de Turismo

VARIABLES AMBIENTALES Y SUS SENSORES

En la actualidad, se sabe que ciertos factores ambientales influyen en el desarrollo embrionario de las crías de tortugas marinas. Entre estos se encuentran la granulometría del sustrato, el PH, la temperatura, la humedad y la salinidad. Los dos factores que se han estudiado con mayor profundidad son la humedad y la temperatura.

La temperatura se sabe que afecta el resultado del sexo de las tortugas marinas por lo que este factor es de suma importancia durante su proceso de incubación. A pesar de esto, ha sido comprobado que la temperatura a la cual son incubados los huevos afecta tanto el tamaño como el peso de las crías al nacer por lo que al nacer resultan en neonatos más débiles. Además, según estudios

realizados en Australia se encuentra que la temperatura inclusive puede llegar a afectar la eficacia natatoria de las crías de tortuga verde. En dicho estudio se localiza que, al exponer los huevos en proceso de incubación a una temperatura entre los 25.5 y los 26 °C, las crías resultantes eran más lentas a la hora de nadar lo cual llega a generar una mayor ventana de vulnerabilidad para las tortugas por parte de sus depredadores.

En el caso de los sensores de temperatura se hallan una gran cantidad, pero lo más importante es encontrar uno preciso y resistente a estar expuesto por muchas horas a altas temperaturas y a la humedad que se encuentra en las playas. El sensor que mejor cumple con dichas características es el DS18B20.



Figura 3: Sensor de Temperatura DS18B20

Fuente: RS Components

Este sensor (figura 3) opera con un voltaje de entrada de 3 a 5.5 V, es a prueba de agua, cuenta con un rango de temperatura que va de los -55 °C hasta los +125 °C y una certeza de ± 0.5 °C entre los -10 y los +85 °C. Dicho componente tiene una increíble ventaja, la cual, es que más de un sensor puede ser conectado a la misma terminal del sistema embebido que sea empleado, por lo que se podría tener todo un vivero monitoreado por un solo sistema con un mínimo de, por ejemplo, 14 sensores para un Arduino Mini o un mínimo de 54 para un Arduino Mega.

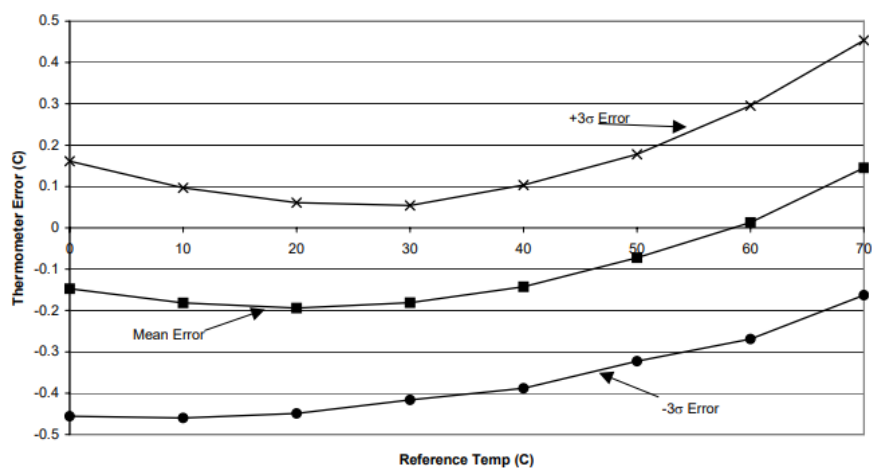


Figura 4: Curva de error típica del DS18B20

Fuente: Dallas Semiconductor

En el caso de la humedad, los estudios realizados son más recientes por lo que realmente no se conoce con certeza la relación que hay entre el desarrollo de las crías y el éxito de eclosión.

En estudios realizados en ambientes húmedos de incubación se encuentran que las capacidades locomotoras de las crías de las Tortugas Lagarto (*Chelydra serpentina*) en realidad mejoran mientras que en otros estudios efectuados en Tortugas Pintadas (*Chrysemys picta*) se halla que el administrar agua de forma diaria en los huevos durante el proceso de incubación generaba un cambio en la relación de sexos de los huevos creando una mayor tendencia a crías macho pero estos hechos no han sido comprobados en tortugas marinas.

Se ha encontrado que, según las características biológicas de cada especie y el área geográfica de reproducción, así se van a ver afectados los requerimientos de humedad para la incubación de los huevos de cada una. Adicionalmente, se sabe que las inundaciones de nidos producidas por el aumento de las mareas es una de las principales causas de mortalidad en los huevos, siendo una de las principales razones por las cuales, los nidos son reubicados. Por esto es por lo que se necesita

un sensor de humedad que sea capaz de aguantar grandes cantidades de agua sin verse afectado. La mejor opción es un Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo este cuenta con resistencia a la corrosión.



Figura 5: Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo y rango de calibración

Fuente: UNIT Electronics

Para brindar una mejor resistencia a la humedad, su circuitería puede ser encapsulada con una pieza diseñada e impresa en 3D. Para esto se va a imprimir el diseño realizado por *jumahe* (2019) el cual está publicado en Thingiverse.

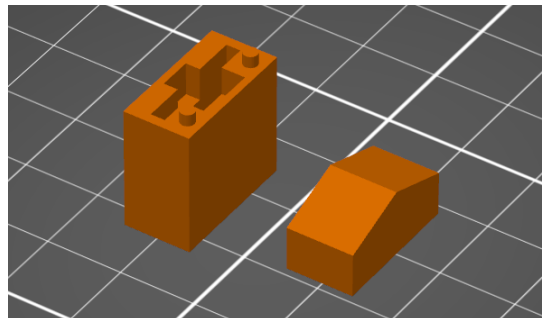


Figura 6: Piezas 3D para la protección de la circuitería del Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo

Fuente: Thingiverse

Sistema Embebido

En los sistemas embebidos es de suma importancia que se cuente con una velocidad de reloj igual a los 8 MHz o superior. Esto es directamente proporcional con la tasa de baudios. Dicha tasa, también conocida como baudaje, consiste en el

número de cambios de señales o símbolos que ocurren cada segundo. Es importante no confundir este término con el de los bits por segundo, el cual consiste en la velocidad a la cual son transmitidos los bits en una red digital.

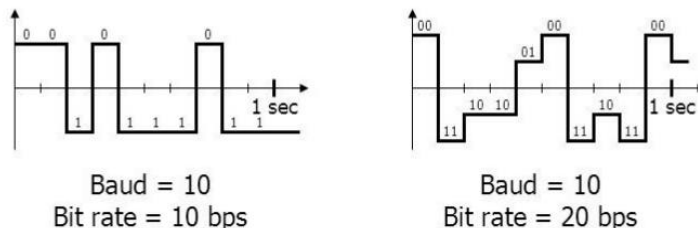


Figura 7: Diferencia entre Baudaje y Bits por segundo

Fuente: Naoimh Larkin

El baudaje es comúnmente usado cuando se trata de sistemas electrónicos que usan comunicación serial. Para ponerlo en contexto, cuando se expone sobre un baudaje de 9600, significa que el puerto serial es capaz de transferir un máximo de 9600 bits por segundo. Una vez que se superen baudajes arriba de 76800, las conexiones se van a volver cada vez más sensibles dependiendo de la calidad de su instalación por lo que siempre se recomienda emplear cables con una longitud más reducida al trabajar con valores tan altos.

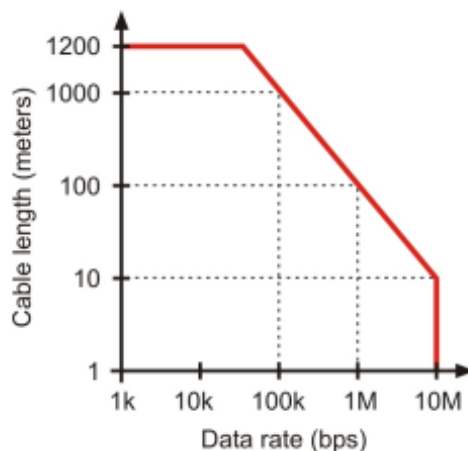


Figura 8: Relación entre el tamaño del cable y los bits por segundo transmitidos con el protocolo RS485

Fuente: StackExchange, Electrical Engineering

También, como se menciona al inicio, una velocidad de reloj alta permite una transferencia de datos mayor esto es de suma importancia para el desarrollo del proyecto. Esto posibilita la simplificación del sistema por completo, ya que, reduce la necesidad de emplear más de un sistema embebido. Entre las mejores opciones se encuentran los Sistemas Embebidos capaces de conectarse al internet pues el sistema se encarga de enviar los datos recolectados gracias a esta conexión.

El ESP-WROOM-32 IoT (figura 9) permite tanto la conectividad WiFi como Bluetooth y cuenta con un procesador Tensilica Xtensa LX6 (32-bit) con una velocidad de reloj ajustable entre los 80 y 240 MHz. Trabaja con un voltaje de operación de 3.3 V y puede ser alimentado con un máximo de 5 V. Su memoria flash es de 4 MB mientras que su SRAM es de 520 KB y dispone de 34 pines digitales de entrada/salida, 16 canales independientes para PWM, dos pines para UART, cuatro pines para SPI y dos, pines para I2C. Además, cuenta con 16 pines de entrada y dos de salida analógica.

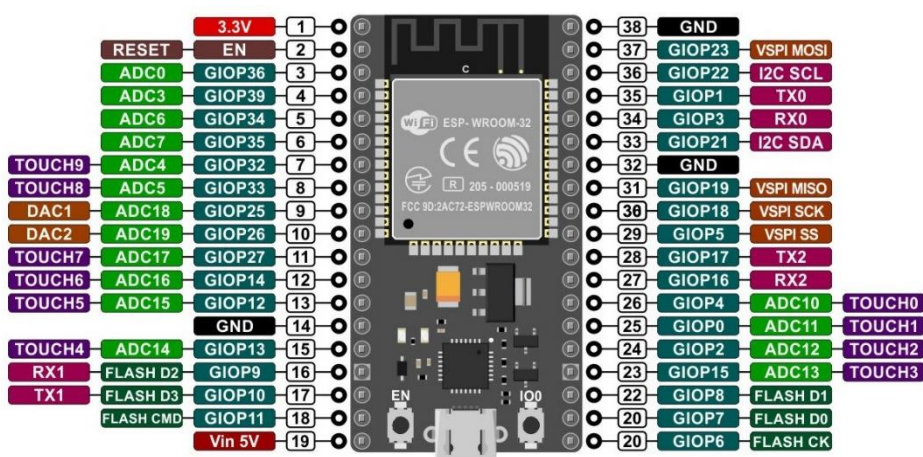


Figura 9: Diagrama del ESP-WROOM-32

Fuente: UNIT Electronics

Este es de los más ideales para el proyecto, ya que, es muy potente y compacto midiendo tan solo 5.5 cm de largo y 2.7 mm de ancho.

En el proceso de diseño se decide que el sistema debía ser autosostenible ya que, en el país se encuentran viveros en los cuales no se cuenta con electricidad, por lo que se escoge un panel solar como fuente de energía. Para esto se utiliza una Atlas Street Light de 18 W (modelo SSL-32) del fabricante Hangchi con el fin de ser desmantelada para así aprovechar su batería de 148 WH y la alimentación que provee el panel. Dicha batería tiene un tiempo de carga de 10 horas y puede administrar alimentación al sistema por al menos 7-10 días.



Figura 10: Poste de Luz de 20W con Panel Solar

Fuente: Hangchi

Dicha batería entrega un voltaje de 15.79 V por lo que es necesario emplear un regulador de voltaje. Una vez desmantelado el Poste de Luz, se procede a conectar la batería a un LM2596 el que se encarga de suministrar 5 V al ESP32, logrando de esta forma un sistema independiente.



Figura 11: Regulador “Step-Down”

Fuente: UNIT Electronics

De manera que, finalmente, el sistema se encarga de enviar los datos a una plataforma de internet en donde pueden ser graficados. El proveedor de este servicio es Blynk, una aplicación la cual permite prototipar, administrar y controlar dispositivos electrónicos por medio de internet. Esta cuenta con planes mensuales que permiten desbloquear diferentes funciones, así como un plan gratuito con funciones limitadas.

2.8. Hipótesis.

Por medio del diseño de un sistema de monitoreo de variables atmosféricas de temperatura y humedad, se ayuda en el proceso de anidación de tortugas marinas en playa Tambor con la futura implementación de un sistema de riego este se encarga de regular la temperatura en los nidos creados por los voluntarios en sus viveros.

2.9. Limitaciones.

Entre las diferentes limitaciones se encuentra el tema del transporte a playa Tambor debido al tiempo y esto lleva consigo también limitaciones económicas porque se debe pagar por la gasolina consumida en dichos viajes para la realización de pruebas en diferentes condiciones atmosféricas.

Otra de las limitaciones más importantes es el saqueo de nidos de tortugas, ya que, esto conlleva una disminución de la población necesaria para llevar a cabo el estudio. Gracias a los esfuerzos hechos en Tortugas Bahía Tambor con la protección

y monitoreo que brindan en su vivero esto es realmente reducido, pero siempre existen casos en los que no se pueden reubicar nidos a tiempo para evitar que se roben los huevos.

La última limitante presente es el tiempo de realización del proyecto por parte de la Universidad Latina de Costa Rica, ya que, por la naturaleza del proyecto, idealmente como mínimo se necesitan seis meses para primero tener un monitoreo constante de los nidos presentes en el vivero, seguido por lentas pruebas con el sistema de riego una vez que las tortugas vuelvan a desovar en playa Delfines y playa Tambor en Julio 2023.

2.10. Alcances.

Como alcances del proyecto se pretende aumentar exponencialmente el número de nacimientos de machos y hembras con una relación de 1:1 para así combatir la extinción de estas especies en el mundo.

Eventualmente el sistema debe ser implementado en otros viveros nacionales para así tener un mayor impacto en el ecosistema de Costa Rica. Esto además permite ver cómo el sistema está realmente ayudando a esta especie ya que se tiene un análisis y monitoreo mucho más grande de los cambios generados en su población.

En conclusión, existe la posibilidad de implementar y comercializar dicho sistema de forma internacional para que así más países se sumen a la lucha contra la extinción de estas especies e inclusive de otras similares cuyos huevos se están viendo afectadas por variables ambientales.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.

3.1. Diseño de la Investigación

Ya que en los objetivos del proyecto se cuenta con un análisis de variables ambientales y de especies de tortugas marinas, se opta por un diseño experimental-descriptivo.

3.2. Enfoque de la Investigación

El actual documento está diseñado con base al planteamiento metodológico del tipo cuantitativo porque es el que mejor se acopla a las características de la investigación.

Se emplean dos técnicas, la primera consiste en el análisis de datos recopilados en el campo, mientras que la segunda es una entrevista que ofrece una mejor comprensión del comportamiento y las características de las especies estudiadas con el proyecto.

3.3. Población

La población de estudio consiste en playa Tambor, el lugar en el que se va a analizar las variables ambientales y en donde se encuentra el vivero.

3.4. Muestra

La muestra está compuesta por los nidos reubicados que se localizan en el vivero *Tortugas Bahía Tambor*.

3.5. Instrumentos y Herramientas de Recolección de Datos

Entre las herramientas necesarias para la recolección de datos de humedad se cuenta con un Sensor Capacitivo de Humedad de Suelos y para los datos de temperatura se cuenta con tres Sensores de Temperatura DS18B20. En el caso de la última variable mencionada, se utilizan tres sensores para así monitorear más de un

nido a la vez. Asimismo, se debe contar con un Sistema Embebido para el procesamiento, recopilación y transmisión de dichos datos mencionados.

En los instrumentos se cuenta con un cuestionario con el fin de ser usado en la entrevista realizada para al coordinador del proyecto de *Tortugas Bahía Tambor*.

3.6. Procedimientos

Para el monitoreo de variables ambientales, se coloca un sistema que cuenta con tres sensores de temperatura y uno de humedad por tres días en playa Tambor para así contar con un análisis previo de los factores ambientales de interés para el proyecto. Estos datos son recogidos y enviados cada cinco segundos a través de Blynk para así analizar de forma más eficaz los valores obtenidos por medio de la generación de gráficas.

Para la entrevista, se elabora el siguiente cuestionario:

Universidad Latina de Costa Rica

Cuestionario de Aplicación para Entrevista al Coordinador del Proyecto *Tortugas Bahía Tambor*

- ¿Cuál es la especie que más se encuentra en playa Tambor?

- ¿Cuáles son las temporadas de desove y nacimientos?

- ¿Cuánto es el promedio de huevos que se pueden encontrar en cada nido?

-
-
- ¿Cada cuánto migran las hembras a sus playas?
-
-

- ¿Cuántos nidos puede llegar a poner una hembra durante la época de desove?
-
-

3.7. Análisis de los Resultados

El sistema inicialmente fue prototipado empleando un Arduino MKR1000. Este se encargaba de almacenar los datos obtenidos en una tarjeta MicroSD. La idea inicial era exportar los datos de dicha MicroSD a Excel para así analizarlos y graficarlos, pero luego se decide explorar la posibilidad de enviar los datos a un documento de Google Sheets para así eliminar la necesidad de un módulo de almacenamiento.

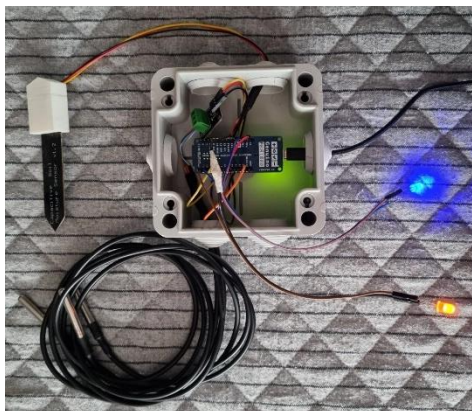


Figura 12: Prototipo con Arduino MKR1000

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se aprecia en la gráfica generada (figura 14), el Arduino enviaba los datos de forma exitosa al documento generado. Para el envío de los datos se emplea una web API con Pushingbox.com, no obstante, lastimosamente dicha API solo permite enviar una cantidad específica de datos de forma gratuita, por lo que el sistema se encargaba de enviar datos cada 15 minutos.



Figura 13: Prueba de prototipo en la caja con arena

Fuente: Elaboración propia, 2022.

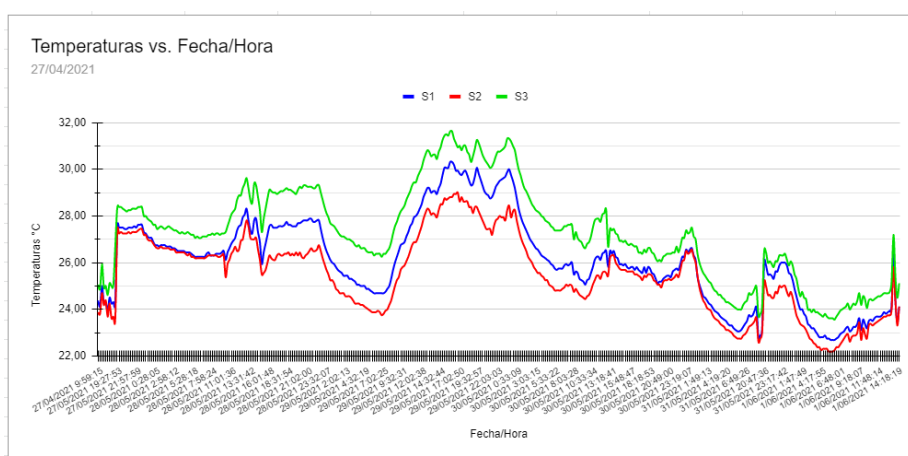


Figura 14: Gráfica generada en Google Sheets

Fuente: Elaboración propia, 2022.

	A	B	C	D	E
1	Fecha/Hora	Temperaturas (°C)			% Humedad
2		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	
3	27/04/2021 9:59:15	24,38	23,88	25,06	0,20
4	27/04/2021 10:14:15	24,12	23,81	24,88	0,61
5	27/04/2021 10:29:17	25,00	24,69	25,94	0,61
6	27/04/2021 10:44:15	24,25	24,19	24,94	1,02
7	27/04/2021 10:59:13	24,31	24,38	25,00	3,46
8	27/04/2021 11:14:10	23,94	23,69	24,62	3,25
9	27/04/2021 11:29:09	24,50	24,25	25,12	6,71
10	27/04/2021 13:58:59	24,25	23,62	25,00	0,61
11	27/04/2021 14:13:58	24,31	23,69	25,06	2,24
12	27/04/2021 14:28:58	24,31	23,62	26,69	0,20
13	27/05/2021 19:27:53	27,44	27,25	28,31	0,44
14	27/05/2021 19:42:54	27,50	27,25	28,38	0,75
15	27/05/2021 19:57:54	27,50	27,31	28,38	0,44
16	27/05/2021 20:12:55	27,50	27,25	28,31	0,12
17	27/05/2021 20:27:55	27,44	27,25	28,25	0,75
18	27/05/2021 20:42:56	27,44	27,25	28,19	0,44
19	27/05/2021 20:57:57	27,50	27,31	28,25	0,75
20	27/05/2021 21:12:57	27,50	27,25	28,25	0,75
21	27/05/2021 21:27:58	27,50	27,31	28,31	0,44
22	27/05/2021 21:42:59	27,56	27,31	28,31	0,44
23	27/05/2021 21:57:59	27,50	27,31	28,31	0,44
24	27/05/2021 22:13:00	27,62	27,38	28,38	0,75

Figura 15: Datos enviados por la web API a Google Sheets

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Después de varias pruebas, se encuentra que luego de un tiempo el análisis de la gráfica generada en Google Sheets era muy complicado, ya que, en el eje x se acumulan todas las fechas y horas a las cuales se envían datos, es decir, se encuentra que la gráfica generada no es realmente manipulable. Es por esto por lo que se toma la decisión de realizar el proyecto con un ESP32 y con Blynk pues, este provee una interfaz más amigable con el usuario.

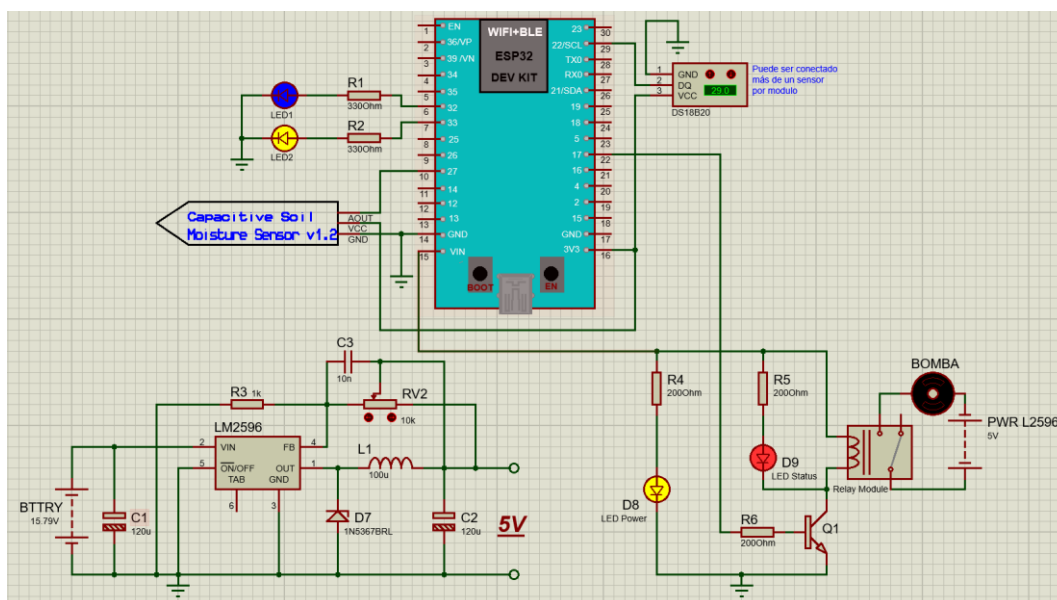


Figura 16: Diagrama Electrónico del Sistema

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Nota: A la izquierda se encuentra el diagrama del LM2596 el cual es calibrado para entregar 5 V y alimentar el sistema por medio del puerto Micro USB del ESP32. A la derecha se encuentra el diagrama del Módulo de Relé y este se encarga tanto de activar como desactivar una bomba de 5 V para suministrar agua a los nidos. Finalmente, en la parte de arriba se localiza el ESP32 con sus respectivos sensores, LEDs y módulos.

Por cuestiones de tiempo, disponibilidad de materiales y seguridad de los neonatos se decide que no era oportuno realizar una construcción física del Sistema de Riego, ya que, como indica, Olger García, durante la coordinación del proyecto, los neonatos pueden fallecer al ser expuestos al agua. Por esto se decide solamente realizar mediciones para así lentamente ir explorando la posibilidad de implementar el Sistema de Riego diseñado.



Figura 17: Sistema de Monitoreo de Temperatura y Humedad para Nidos de Tortugas

Fuente: Elaboración propia, 2022.



Figura 18: ESP32 encapsulado

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Nota: Se escogen cajas estancas lisas para el encapsulado de los componentes, ya que, estas son de bajo costo y proveen protección contra el agua y la sal presente en la playa.



Figura 19: Vivero de Tortugas Bahía Tambor

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Al llegar a Tortugas Bahía Tambor, el día de la instalación del sistema, se contaba con un total de 16 nidos reubicados. Cada uno cuenta con una cantidad distinta de huevos, pero en total en el Día uno se contaba con 1,464 neonatos, cada uno en etapas diferentes de desarrollo. Rick Lemon y Olger García, encargados de la administración de voluntarios y el vivero, explican las etapas de desarrollo de las tortugas. Etapa uno es en la cual el contenido dentro del huevo es completamente líquido, etapa dos es cuando se empiezan a formar ciertos órganos u otras partes del neonato, etapa tres es cuando ya se puede ver de forma clara que lo que hay dentro del huevo es una tortuga y etapa cuatro es la etapa final en la que eclosionan del huevo.



Figura 20: (De izquierda a derecha) Huevos de Etapa 1 a Etapa 4

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En el día uno, se decide instalar el sistema lejos de los neonatos para así no interferir en su camino a la hora de que estos salieran del nido. En el vivero se cuenta con un total de 90 nidos reubicados, los cuales van llenando en orden del A1 al Ñ7 conforme se encuentran nuevos nidos en playa Delfines y playa Tambor. Estas playas están divididas en sectores los cuales son patrullados todas las noches desde el primer día de julio hasta aproximadamente finales de diciembre (figura 21).



Figura 21: Patrullaje nocturno realizado en el Día 1

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Inicialmente se escogen los nidos A1, D3 y F1 para enterrar los diferentes sensores del sistema. Estos son elegidos, ya que, se encontraban vacíos desde Agosto, además de que se vio que estos nidos reciben más sol durante el día en comparación a los demás gracias a la sombra natural que proveen los árboles y las palmeras presentes. En el Nido A1 se instala el Sensor de Humedad y el Sensor de Temperatura S2, en el nido D3 se coloca el Sensor de Temperatura S3 y en el nido F1 se instala el Sensor de Temperatura S1. El nido F1 es particularmente, elegido, ya que, en este aún se podía ver parte del nido cavado por los voluntarios, por lo que la lectura de este sensor se encuentra más cercana a la de un nido reubicado con neonatos en comparación a los nidos D3 y A1 (figura 22).



Figura 22: Sistema de Monitoreo de Temperatura y Humedad para Nidos de Tortugas tomando datos de los nidos A1, D3 y F1

Fuente: Elaboración propia, 2022.

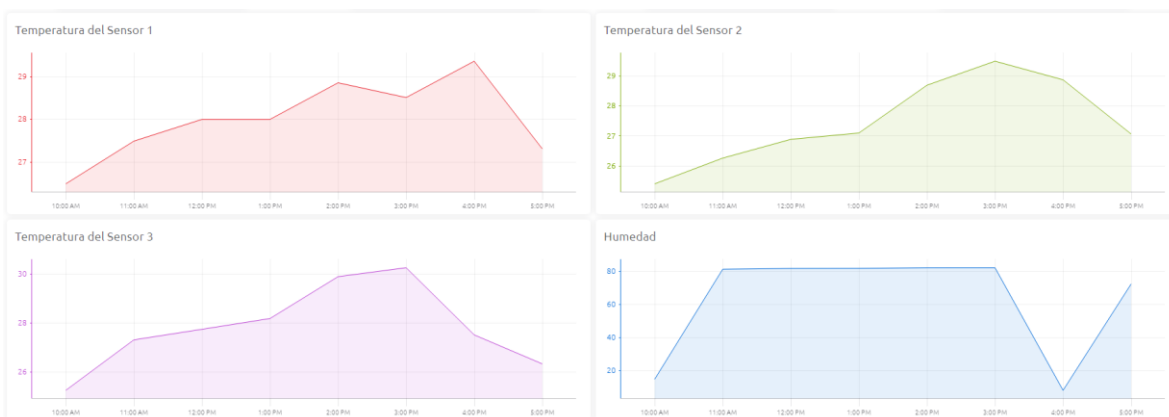


Figura 23: Gráficos de datos recolectados el día 1

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para el día uno, gracias al monitoreo de variables ambientales realizado, se comprueba que la temperatura promedio encontrada en la playa está en un rango óptimo para mantener un posible control del nacimiento de los neonatos con relación 1:1, es decir, un macho por cada hembra. Como se menciona inicialmente, la temperatura debe estar en un rango desde los 25 hasta los 31 °C. Los sensores se encuentran midiendo la temperatura del suelo de tres nidos distintos y la temperatura máxima medida es de 30 °C por el Sensor tres, ya que, este es el que más se encontraba expuesto al sol, mientras que la temperatura más baja es de 25 °C por el mismo sensor a horas de la mañana. Además, al ver las Gráficas de Temperatura (figura 23) se puede apreciar una clara relación en el comportamiento de la temperatura en el vivero a pesar de realizar mediciones en distintos nidos.

También, en el caso de la humedad, se ve un comportamiento muy estable. Cerca de las 3:00 pm, el sistema tuvo que ser movido porque varias hormigas estaban ascendiendo el sistema y se evita siempre que estas lleguen a los nidos porque son de los principales problemas que enfrentan las tortugas del vivero. Estas suelen buscar los restos dejados en el nido por lo que a veces entran a nidos habitados y esto llega a ser un problema para las tortugas en desarrollo y en proceso de salida del nido. Es por esto por lo que, al hacer exhumaciones, algunos restos de

los huevos son llevados al hormiguero cercano al vivero. Además, entre los requerimientos establecidos para los viveros de tortugas, se establece que una vez hayan eclosionado todas las tortugas vivas, los restos deben ser enterrados de nuevo en la playa para así devolver esos nutrientes al mar (figura 24).



Figura 24: Olger García devolviendo los restos de los huevos a la playa

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Durante la noche del día 1 y la mañana del día 2, se liberaron un total de 190 tortugas, por lo que varios nidos quedaron disponibles para realizar mejores mediciones. Es por esto que se decidió mover los sensores de Temperatura y Humedad a nidos que acababan de ser dejados para tener una medición más fresca. Los nidos que quedaron libres fueron el J5, J6 y J7. En el nido J7 se decidió enterrar el Sensor de Humedad y el Sensor de Temperatura S2 a una profundidad de aproximadamente 25 cm.



Figura 25: Sensores dentro del nido J7

Fuente: Elaboración propia, 2022.

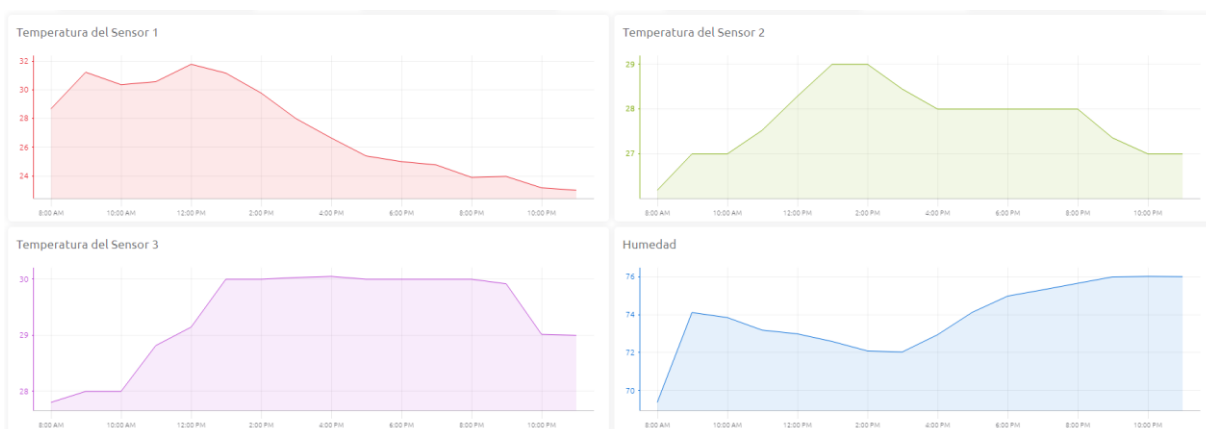


Figura 26: Gráficos de datos recolectados el Día 2

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En este segundo día, se decide colocar uno de los sensores fuera de los nidos para así monitorear la temperatura percibida en el vivero, es por esto por lo que, la gráfica del sensor uno muestra un comportamiento distinto a las de los demás sensores. En la mañana se puede distinguir cómo al aumentar la temperatura, la humedad presente en el nido va disminuyendo. Sin embargo, alrededor de las 4:00 pm llovió en la zona, razón por la cual la humedad aumenta y la temperatura

disminuye considerablemente. A pesar de esto, los nidos no suceden una gran alteración, ya que, estos se encuentran en zonas sombreadas por lo que ya se están refrescando.



Figura 27: Sistema y Panel Solar con Sensor de Temperatura S1

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En el día tres, se halla que varios neonatos están listos para ser liberados en la playa. Entre estas crías destacan cuatro en especial. Una de estas contaba con un caparazón más corto y redondo en comparación a las demás, mientras que, la otra contaba con perturbaciones en la forma de su caparazón (figura 28).

Se especula que ambas tortugas son hembras porque sus alteraciones se presentan por el peso de los huevos encima de ellas el cual es de aproximadamente 2.5 kilos (más el peso de la arena), lo que implica que estas posiblemente se encuentran al fondo del nido, es decir, en la una de las partes más calientes del nido. Además, se encuentran dos huevos fusionados y es la primera vez que se presenta un caso de estos en el vivero. Las tortugas que eclosionan de estos huevos fusionados nacen completamente separadas, pero lastimosamente no logran sobrevivir (figura 29).



Figura 28: Tortuga con caparazón deformado

Fuente: Elaboración propia, 2022.



Figura 29: Rick Lemon muestra el huevo fusionado a visitantes del vivero

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para la entrevista realizada al coordinador del proyecto de *Tortugas Bahía Tambor*, Juan Carlos Cruz, se obtienen las siguientes respuestas:

Universidad Latina de Costa Rica

Cuestionario de Aplicación para Entrevista al Coordinador del Proyecto *Tortugas Bahía Tambor*

- ¿Cuál es la especie que más se encuentra en Playa Tambor?

Se han visto avistamientos de Tortugas Verde y Carey, pero la que más puede ser vista en temporadas de desove en playa Tambor es la Tortuga Lora (*Lepidochelys olivacea*), por lo que es la más estudiada en el vivero.

- ¿Cuáles son las temporadas de desove y nacimientos?

Las temporadas de desove se encuentran entre julio y diciembre, mientras que, los nacimientos suceden entre mediados de agosto y finales de enero.

- ¿Cuánto es el promedio de huevos que se pueden encontrar en cada nido?

Depende, ya que la Tortuga Lora puede anidar tres veces en una temporada. El primer nido va desde los 98 hasta los 130 huevos, el segundo va desde los 70 hasta los 95 y el tercero, que es el más pequeño, va desde los 45 hasta los 70 huevos.

- ¿Cada cuánto migran las hembras a sus playas?

Ellas vuelven a la misma playa (o sectores cercanos) a la que nacieron gracias a la magnetita cuando alcanzan la madurez sexual aproximadamente a partir de los 12 años. Estas vuelven al menos dos años después de su último desove.

- ¿Cuántos nidos puede llegar a poner una hembra durante la época de desove?

Las tortugas pueden llegar a poner entre dos a tres nidos en un periodo de 14 a 28 días.

Por medio de la entrevista realizada se logra tener una mejor idea de las especies a socorrer y de las fechas óptimas para realizar pruebas en la localización del vivero para así obtener los mejores resultados.

Finalmente, abajo se encuentra el código almacenado dentro del ESP32:

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"// Proporcionado por Blynk
#define BLYNK_DEVICE_NAME "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"// Proporcionado por Blynk
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX" // Proporcionado por Blynk
#define BLYNK_PRINT Serial

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SPI.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

OneWire ourWire(4);
DallasTemperature sensors(&ourWire);
DeviceAddress address1 = {0x28, 0x8C, 0xE, 0x79, 0xA2, 0x0, 0x3, 0x4B};
DeviceAddress address2 = {0x28, 0xF3, 0x55, 0x79, 0xA2, 0x0, 0x3, 0x12};
DeviceAddress address3 = {0x28, 0xF, 0x87, 0x79, 0xA2, 0x0, 0x3, 0xC0};

float EA = 35.
float humedad;
float calculo;
float porcentaje;

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
char ssid[] = "XXXXXXXXXXXX"; //
char pass[] = "XXXXXXXXXXXX";

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.print("(SSID: ");
  sensors.begin();
  pinMode(32, OUTPUT);
  pinMode(33, OUTPUT);
  //pinMode(17, OUTPUT);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
}

void checkWIFI(){
  while (!Blynk.connected()) {
    Serial.println("Se perdió la conexión con el Servidor de Blynk");
    Blynk.connect();
  }
}
```

```

    digitalWrite(32, HIGH);
    Serial.println("Conectado a Blynk");
}

void loop () {
  // Establecer la conexión a internet:
  checkWIFI();
  Blynk.run();
  delay(5000);
  digitalWrite(33, HIGH);
  Serial.println("\n");
  humedad = analogRead (EA);
  calculo = -0.0423728814*humedad+170.2542373;
  porcentaje = calculo;
  sensors.requestTemperatures();
  float temp1 = sensors.getTempC(address1);
  float temp2 = sensors.getTempC(address2);
  float temp3 = sensors.getTempC(address3);
  Serial.print("Temperatura Sensor 1: ");
  Serial.print(temp1);
  Serial.println(" °C");
  Serial.print("Temperatura Sensor 2: ");
  Serial.print(temp2);
  Serial.println(" °C");
  Serial.print("Temperatura Sensor 3: ");
  Serial.print(temp3);
  Serial.println(" °C");
  Serial.print("Humedad: ");
  if (porcentaje > 100) {
    Serial.println("100%");
  } else if (porcentaje < 0) {
    Serial.println("0%");
  } else if (porcentaje > 0 && porcentaje < 100) {
    Serial.print(porcentaje);
    //if (porcentaje < 50) {
    //digitalWrite(17, HIGH);
    //} else if (porcentaje > 50){
    //digitalWrite(17, LOW);
    //}
    Serial.println("%");
  }

  Blynk.virtualWrite(V0, temp1);
  Blynk.virtualWrite(V1, temp2);
  Blynk.virtualWrite(V2, temp3);
  Blynk.virtualWrite(V3, porcentaje);
}

```

Algunas secciones se dejan en forma de texto, ya que, esas líneas de código no están siendo usadas en este momento por el sistema porque están relacionadas al Sistema de Riego.

CONCLUSIONES

En virtud del estudio, se concluye que en Costa Rica habitan cinco especies características de tortugas marinas de las cuales la que representa una mayor presencia en playa Tambor es la Tortuga Lora. Esta se encuentra durante las fechas de desove y nacimientos entre los meses de julio y enero. Asimismo, por medio de la creación del sistema ideado para la realización de pruebas y la toma de datos de variables atmosféricas, se permite realizar un análisis gráfico de dichas variables en el área de interés de estudio. Los datos son exitosamente enviados y graficados por medio de la plataforma Blynk y el ESP32, con el fin de ser almacenados para su análisis por parte de voluntarios y encargados de los viveros de tortugas marinas en tiempo real.

Por medio del sistema e investigaciones realizadas se indica con toda certeza que el sistema desarrollado para el proyecto definitivamente puede tener un gran impacto contra la lucha de la extinción de estas especies no solo en Costa Rica, sino también en el mundo en caso de ser implementado por otros países que se sumen a la causa de la lucha contra la extinción de especies animales. A pesar de esto, se llega a la conclusión que los impactos realizados por el proyecto es posible que no se vean sino hasta dentro de 12 años cuando las hembras vuelvan a las playas cercanas para desovar.

Finalmente, se concluye que en Tortugas Bahía Tambor se cuentan con condiciones óptimas para la continuación de este proyecto en el 2023, ya que, las temperaturas presentes en los nidos se encuentran en el rango necesario para obtener los nacimientos 1:1 deseado y en el vivero se cuenta con un éxito de eclosión mayor al 80%.

RECOMENDACIONES

Entre las posibles recomendaciones para el proyecto se encuentran la incorporación de más tipos de sensores para así obtener datos más precisos de las variables que se desean medir. Al mismo tiempo, se aconseja usar cables de tamaño extenso para así tener un mejor monitoreo de los nidos y del vivero al generar un mayor alcance por parte del sistema.

Igualmente, como recomendación principal se encuentra la materialización y aplicación del Sistema de Riego mencionado durante el proyecto. A pesar de esto, es muy importante que estas pruebas se realicen de forma lenta y cuidadosa pero progresiva para así no llegar a dañar a todo un nido de tortugas en proceso de desarrollo.

Asimismo, como recomendación técnica se aconseja evitar el uso de computadoras Apple para la programación del ESP32, ya que se presentan problemas con los drivers del dispositivo. Además, se aconseja que siempre sea revisado el cable Micro-USB usado para conectar el ESP32 a la computadora para comprobar que este permita la transmisión de datos y no solo la de potencia.

Finalmente, se propone la posibilidad de realizar más sistemas para así tener un mayor monitoreo de viveros nacionales y de esta forma generar un mayor impacto en el estudio de estas especies. Como se menciona, la edad reproductiva de las tortugas empieza a partir de los 12 años por los que los efectos generados en Playa Tambor no sean tan notados hasta ese entonces. Es por esto por lo que es conveniente el monitoreo de más nidos reubicados en diferentes zonas del país porque se podría analizar diferentes especies bajo diferentes condiciones atmosféricas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abella, E. (2010). *Factores Ambientales y de Manejo que Afectan al Desarrollo Embrionario de la Tortuga Marina Caretta Caretta. Implicaciones en Programas de Incubación Controlada*. Seaturtle.org. Recuperado de http://www.seaturtle.org/PDF/ElenaAbellaPrez_2010_PhD.pdf
- Ajuria, C. (2017). Efectos del cambio climático en las tortugas marinas. ProDunas.org. https://produnas.org/wp-content/uploads/2020/08/TFG_CristinaAjuria.pdf
- Anónimo. (2006). *Species fact sheet: Marine Turtles. Ancient mariners threatened with extinction*. WWF. Recuperado de https://wwfasia.awsassets.panda.org/downloads/marine_turtles_factsheet2006.pdf
- Blanco, P. (2018). *Los pastos marinos: un mundo bajo el agua por conocer*. Universidad de Costa Rica. Recuperado de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2018/10/12/los-pastos-marinos-un-mundo-bajo-el-agua-por-conocer.html>
- Baker, J., Fish, M. R., y Drews, C. (2009). *Manual de monitoreo de temperatura: guía para monitorear temperaturas de arena e incubación en playas de anidación de tortugas marinas*. WWF. Recuperado de https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/manual_temperatura_resumen.pdf
- Casale, P., Freggi, D., Basso, R., y Árgano, R. (2005). *Size at male maturity, sexing methods and adult sex ratio in loggerhead turtles (Caretta caretta) from Italian waters investigated through tail measurements*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jribi-Imed/publication/258997193_Sex_ratio_estimations_of_loggerhead_marine_tu

[rle hatchlings by incubation duration and nest temperature at Sirte beaches Libya/links/0deec52bd6420796a8000000/Sex-ratio-estimations-of-loggerhead-marine-turtle-hatchlings-by-incubation-duration-and-nest-temperature-at-Sirte-beaches-Libya.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Tomas/publication/228067809_Sex_ratios_of_juvenile_loggerhead_sea_turtles_Caretta_caretta_in_the_Mediterranean_Sea/links/0deec52bd6420796a8000000/Sex-ratio-estimations-of-loggerhead-marine-turtle-hatchlings-by-incubation-duration-and-nest-temperature-at-Sirte-beaches-Libya.pdf)

Casale, P., Lazar, B., Pont, S., Tomas, J., Zizzo, N., Alegre, F. Tvrtkovic, N. (2006). *Sex ratios of juvenile loggerhead sea turtles *Caretta caretta* in the Mediterranean Sea*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Tomas/publication/228067809_Sex_ratios_of_juvenile_loggerhead_sea_turtles_Caretta_caretta_in_the_Mediterranean_Sea/links/0fcfd4feae7edce364000000/Sex-ratios-of-juvenile-loggerhead-sea-turtles-Caretta-caretta-in-the-Mediterranean-Sea.pdf

Chacón, D., Quesada, C., y Zubiria, W. (2010). *Conozcamos las tortugas marinas de Costa Rica*. Latin American Sea Turtles. Recuperado de http://www.latinamericaseaturtles.com/archivos/documentos/EE_booklet.pdf

Ewert, M. A., Jackson, D. R., y Nelson, C. E. (1994). *Patterns of temperature-dependent sex determination in turtles*. Recuperado de http://aerg.canberra.edu.au/library/sex_reptile/1994_Ewert_et_al_TSD_patterns_turtles_review.pdf

Instituto Costarricense de Turismo. (s.f.). *Observación de Tortugas Marinas en Costa Rica*. visitcostarica.com. Recuperado de <https://www.visitcostarica.com/sites/default/files/pdf/Infograma%20Tortugas.pdf>

Jribi, I., Hamza, A., Saied, A., y Ouergui, A. (2013). *Sex ratio estimations of loggerhead marine turtle hatchlings by incubation duration and nest temperature at Sirte beaches (Libya)*. WWF. Recuperado de <https://www.researchgate.net/profile/Jribi->

[Imed/publication/258997193 Sex ratio estimations of loggerhead marine turtle hatchlings by incubation duration and nest temperature at Sirte beaches Libya/links/0deec52bd6420796a8000000/Sex-ratio-estimations-of-loggerhead-marine-turtle-hatchlings-by-incubation-duration-and-nest-temperature-at-Sirte-beaches-Libya.pdf](https://www.researchgate.net/publication/258997193_Sex_ratio_estimations_of_loggerhead_marine_turtle_hatchlings_by_incubation_duration_and_nest_temperature_at_Sirte_beaches_Libya/links/0deec52bd6420796a8000000/Sex-ratio-estimations-of-loggerhead-marine-turtle-hatchlings-by-incubation-duration-and-nest-temperature-at-Sirte-beaches-Libya.pdf)

Limpus, C. J., Miller, J. D., y Pfaller, J. B. (2020) *Flooding-induced mortality of loggerhead sea turtle eggs*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Joseph-Pfaller/publication/346125034_Flooding-induced_mortality_of_loggerhead_sea_turtle_eggs/links/5feb0a09a6fdccdc8136344/Flooding-induced-mortality-of-loggerhead-sea-turtle-eggs.pdf

Matthews, B. L., Gatto, C. R., y Reina, R. D. (2021) *Effects of moisture during incubation on green sea turtle (Chelonia mydas) development, morphology, and performance*. Recuperado de <https://www.int-res.com/articles/esr2021/46/n046p253.pdf>

Mecano, J. (s.f.). *Reproducción de tortugas marinas*. Educación Ambiental en la República Dominicana. Recuperado de <https://jmarcano.com/biodiversidad/tortugas-marinas/reproduccion-tortugas/>

McGehee, M. A. (1990) *Effects of moisture on eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (Caretta caretta)*. *Herpetological* 46: 251–258

Ministerio de Ambiente y Energía. (2018). *Estrategia Nacional para la Conservación y Protección de las Tortugas Marinas*. 1 edición. San José, Costa Rica. Pág 56. Recuperado de <https://www.sinac.go.cr/ES/docu/Vida%20Silvestre/ESTRATEGIA%20NACIONAL%20TORTUGAS%20MARINAS-CR%20baja-resolucio%CC%81n.pdf>

Mrosovsky, N., Baptistotte, C., y Godfrey, M. H. (1999). *Validation of incubation duration as an index of the sex ratio of hatchling sea turtles*. Recuperado de

https://www.researchgate.net/profile/Matthew-Godfrey-3/publication/248293373_Validation_of_incubation_durations_as_an_index_of_sex_ratio_of_sea_turtle_hatchlings/links/54d21cb00cf28959aa7c1731/Validation-of-incubation-durations-as-an-index-of-sex-ratio-of-sea-turtle-hatchlings.pdf

Mrosovsky, N., Kamel, S. J., Diez, C. E., y Van Dam, R. P. (2009). *Methods of estimating natural sex ratios of sea turtles from incubation temperatures and laboratory data*. Recuperado de <https://www.int-res.com/articles/esr2009/8/n008p147.pdf>

Pike, David. (2015). *¿Puede sobrevivir un embrión de tortuga al contacto con el agua salada?* abc.es. Recuperado de <https://www.abc.es/natural-cambioclimatico/20150723/abci-tortugas-nidos-huevos-201507231216.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>

Rivas, L. (s.f). *Características de la tortuga marina*. Scribid. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/424353317/Tortugas-Marinas>

Santidrián, P. (2011). *Cambio Climático y Tortugas Marinas*. Revistas de Ciencias Ambientales. Recuperado de <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/7688>

Secretaría CIT. (2004). *Una Introducción a las Especies de Tortugas Marinas del Mundo*. Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Recuperado de <http://www.iacseaturtle.org/docs/publicaciones/5-EspeciesTortugasMarinasMundoesp.pdf>

SWOT. (2022). *Printed Maps of Sea Turtle Biogeography*. seaturtlestatus.org. Recuperado de <https://www.seaturtlestatus.org/printed-maps>

Tortolero, M. (2016). *Qué pasaría si el mundo se quedará sin tortugas marinas*. Blog Xcaret. Recuperado de <https://blog.xcaret.com/es/que-pasaria-si-el-mundo-se-queda-sin-tortugas-marinas/>