



Tecnológico de Costa Rica

Escuela Ingeniería Electrónica

**“Diseño de un sistema electrónico inalámbrico de adquisición de datos para la toma de decisiones en un sistema hidropónico de lechuga en un invernadero del TEC sede San Carlos”**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Anthony Amador Álvarez

Carné: 2013026934

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer primeramente a Dios por llevarme por el camino en el cual me encuentro hoy, por iluminarme cuando más la necesitaba y por darme las aptitudes que se necesitan para ser un ingeniero.

Agradezco a mí madre Alina y a mi padre Ademar y a mis hermanas Geraldine y Vanessa por darme todo el apoyo emocional y financiero y creer en mí a lo largo de mi carrera, y a mi novia Estefany Cerdas por brindarme su amor y compañía a través de los momentos difíciles de la universidad y que sin ellos no sería la persona que soy hoy en día.

Gracias a mi asesor Ernesto Rivera y a mis lectores Saúl Guadamuz y Guillermo Castro por tomarse el tiempo en leer y corregir mi documento y guiarme en la dirección correcta para que el proyecto se presente de la mejor manera.

Gracias a la secretaria de electrónica, Cynthia Artavia por siempre haber creído en mí y en mis capacidades como ingeniero, gracias a todos mis amigos encontrados a través de la carrera por dar su mano en diversos proyectos a través de los cursos de carrera.

Por último, quiero darle las gracias a Cesar Naranjo por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto y abrirme los ojos hacia el emprendimiento.

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	i
INDICE GENERAL.....	ii
INDICE DE FIGURAS .....	iv
INDICE DE TABLAS .....	vii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Problema existente .....	2
1.2. Síntesis del problema.....	2
1.3. Enfoque de una solución hipotética .....	2
2. META Y OBJETIVOS .....	7
2.1. Meta .....	7
2.2. Objetivo general.....	7
2.3. Objetivos específicos .....	7
3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO .....	8
4. MARCO TEÓRICO.....	10
5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	26
5.1. Alternativas y síntesis de una solución final.....	26
6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE .....	32
6.1. Descripción del hardware.....	32
6.1.1 Esquemático de encapsulado 1 .....	32
6.1.2 Esquemático de encapsulado 2 .....	33
6.1.3 Esquemático de encapsulado 3 .....	34
6.1.4 Esquemático de encapsulado 4 .....	35
7. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA INALÁMBRICO.....	36
7.1. Implementación a nivel de hardware.....	36
7.2. Implementación a nivel de software .....	39
8. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE.....	44
8.1. Diagrama de flujo y codificación del encapsulado 1 .....	46
8.2. Diagrama de flujo y codificación del encapsulado 2.....	47
8.3. Diagrama de flujo del encapsulado 3 .....	48
8.4. Diagrama de flujo y decodificación del encapsulado 4.....	49
8.5. Manipulación de datos en la plataforma Ubidots.....	50
8.6. Diseño e información sobre la página web desarrollada en Wix.....	52
9. Pruebas realizadas.....	54

9.1. Pruebas de medición .....	54
9.2. Pruebas de transmisión .....	56
9.2.1. Generación de alertas.....	58
9.3. Pruebas de visualización .....	59
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
10.1. Conclusiones .....	62
10.2. Recomendaciones .....	63
11. BIBLIOGRAFÍA .....	65

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamiento general del sistema.....	3
Figura 2. Posicionamiento de los encapsulados. ....	4
Figura 3. Topología del sistema de comunicación. ....	5
Figura 4. Diagrama de flujo del control de riego.....	8
Figura 5. Escala de pH.....	12
Figura 6. Sensor de pH.....	13
Figura 7. Sensor de conductividad eléctrica.....	14
Figura 8. Sensor de humedad y temperatura ambiental (DHT22).....	15
Figura 9. Sensor de humedad relativa del sustrato. ....	16
Figura 10. Sensor de intensidad UV.....	17
Figura 11. Arduino UNO.....	18
Figura 12. Arduino Mega.....	19
Figura 13. Arduino Nano.....	19
Figura 14. Raspberry Pi 3.....	20
Figura 15. XBee.....	21
Figura 16. Diferentes topologías del XBee.....	21
Figura 17. XBee módulo para Arduino UNO.....	22
Figura 18. XBee explorer.....	23
Figura 19. Módulo de 2 relés.....	23
Figura 20. Electroválvula.....	24
Figura 21. Panel solar.....	24
Figura 22. Modulo regulador de corriente.....	25
Figura 23. Intensidad de señal Wi-fi de la institución desde el invernadero.....	27
Figura 24. Encapsulado 1.....	29
Figura 25. Encapsulado 2.....	29
Figura 26. Encapsulado 3.....	30
Figura 27. Encapsulado 4.....	31
Figura 28. Esquemático del encapsulado 1.....	32
Figura 29. Esquemático del encapsulado 2.....	33

Figura 30. Esquemático del encapsulado 3.....	34
Figura 31. Esquemático del encapsulado 4.....	35
Figura 32. XBee conectado al XBee explorer.....	36
Figura 33. Diagrama del GPIO de la Raspberry Pi 3.....	37
Figura 34. Diagrama de pines de un Arduino Mega.....	38
Figura 35. Diagrama de pines de un Arduino Nano.....	38
Figura 36. Módulo Digi para configurar XBee.....	39
Figura 37. Configuración de red de los enrutadores.....	40
Figura 38. Configuración de red del coordinador.....	41
Figura 39. Configuración de direccionamiento de los enrutadores.....	42
Figura 40. Configuración de direccionamiento del coordinador.....	42
Figura 41. Ilustración de la configuración de red inalámbrica.....	43
Figura 42. Diagrama de flujo del encapsulado 1.....	45
Figura 43. Codificación del mensaje del encapsulado 1.....	46
Figura 44. Diagrama de flujo del encapsulado 2.....	47
Figura 45. Codificación del mensaje del encapsulado 2.....	48
Figura 46. Diagrama de flujo del encapsulado 3.....	48
Figura 47. Diagrama de flujo del encapsulado 4.....	49
Figura 48. Decodificación del mensaje del encapsulado 4.....	50
Figura 49. Manipulación de los datos en la plataforma Ubidots.....	51
Figura 50. Obtención del código empotrado en HTML.....	52
Figura 51. Encabezado de la página web.....	53
Figura 52. Sección de publicación de gráficas en la página web.....	54
Figura 53. Mediciones realizadas en el encapsulado 1.....	55
Figura 54. Mediciones realizadas en el encapsulado 2.....	55
Figura 55. Transmisión completa a través de los encapsulados 1, 2 y 3.....	56
Figura 56. Recibimiento de información.....	57
Figura 57. Recibimiento de un mensaje irregular.....	57
Figura 58. Generación de alerta en caso de fallos en la lectura.....	58
Figura 59. Notificación de alerta.....	59

Figura 60. Visualización de los datos en Ubidots .....	60
Figura 61. Visualización de los datos en graficas de barras.....	60
Figura 62. Visualización final de los datos en Wix.....	61

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mercado general del cultivo hidropónico. ....	10
--	----



## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto se desarrolló en el Tecnológico de Costa Rica ubicado en Santa Clara de San Carlos. Este proyecto es el primero de su tipo, dado que se utiliza comunicación inalámbrica de radio frecuencia para el monitoreo y adquisición de datos dentro de la institución. Actualmente la Escuela de Agronomía imparte cursos como Fisiología Vegetal y Horticultura [1], donde se busca realizar trabajos prácticos, así como proyectos de investigación docente y proyectos de tesis. Ellos están encargados de las operaciones que se llevan a cabo dentro de los invernaderos en la Sede San Carlos. Un invernadero se va a utilizar para implementar un sistema hidropónico de lechuga y ningún invernadero de la institución cuenta actualmente con un sistema que muestree variables biométricas de manera automática.

Actualmente cuentan con un sistema de riego manual en uno de ellos y un sistema de riego controlado por un temporizador en los otros dos. El sistema hidropónico se instaló en uno de los invernaderos que utilizan un minuterero para realizar el riego, este sistema es muy deficiente debido a que el mismo no considera las variables biométricas de las plantas, es por esto que surge la necesidad de implementar un sistema de riego controlado basándose en variables biométricas que sea capaz de mostrar estos datos de manera gráfica y así comprender el comportamiento del cultivo. Las variables biométricas que se captaron fueron: temperatura y humedad relativa del ambiente, humedad relativa del suelo, niveles de pH y conductividad eléctrica, intensidad lumínica y oxígeno disuelto.

Medir las variables biométricas y conocer bien las condiciones óptimas del cultivo permite llegar a alcanzar un sistema de riego eficiente, el cual no depende de un tiempo si no de la humedad relativa del sustrato. Además, con un sistema que sea capaz de mostrar gráficamente los datos biométricos del cultivo en tiempo real y de manera histórica se puede comprender su comportamiento y facilitar la toma de decisiones, por ejemplo, si los niveles de temperatura son muy altos, se toma la decisión de cubrir el invernadero para proporcionar una sombra parcial al cultivo.

### **1.1. Problema existente**

La Escuela de Agronomía del Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos posee tres invernaderos localizados alrededor de la sede, de los cuales dos actualmente cuentan con un sistema de riego controlado por temporizadores, el cual no es óptimo sistema ya que independientemente de las condiciones climáticas del día, la cantidad de riego se mantiene, por lo que el estado del cultivo se ve afectado al no administrársele la cantidad de riego justa, esto produce falta de agua si el día es muy caliente y seco y exceso de agua si el día es frío y lluvioso.

El tercer invernadero no cuenta con este sistema, por lo que una persona tiene que trasladarse hacia el invernadero para abrir y cerrar la llave de paso de agua de manera manual sin considerar los niveles de humedad de la tierra. Además, ninguno de los tres invernaderos cuenta con mediciones de humedad relativa de la tierra, humedad relativa del ambiente, temperatura relativa del ambiente, pH y conductividad eléctrica de las plantas, por lo que se dificulta comprender la condición de las plantas imposibilitando la realización de análisis de estos datos para la proyección preventiva de anomalías.

### **1.2. Síntesis del problema**

Ausencia de un sistema de adquisición de datos y de riego automático en los invernaderos del Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos.

### **1.3. Enfoque de una solución hipotética**

En la actualidad, se busca implementar más procesos que sean controlados automáticamente y visualizar su comportamiento de una manera histórica y en tiempo real debido a las facilidades que provee, es por esto que la Escuela de Agronomía busca un proceso de riego más eficiente que pueda reemplazar los sistemas de riego actuales y contar con información que pueda contribuir a la toma de decisiones de los ingenieros en esta área.

El presente trabajo se centra en el diseño e implementación de un prototipo que posee un sistema capaz de realizar un monitoreo constante de variables biométricas de las plantas como lo son la humedad relativa de la tierra, humedad relativa del ambiente, temperatura relativa del ambiente, pH, conductividad eléctrica de las raíces y oxígeno disuelto, así como brindar un control automático de riego que sea capaz de publicar los datos de manera visual en tiempo real y de manera histórica, esto con el fin de brindarles a los estudiantes y docentes la información necesaria para la toma de decisiones sobre el cultivo. Por ejemplo, si la intensidad lumínica está muy alta, ellos deben de colocar una lona para brindarles sombra ó si el pH está muy alto, agregarle a la solución más nutrientes para disminuir este factor.

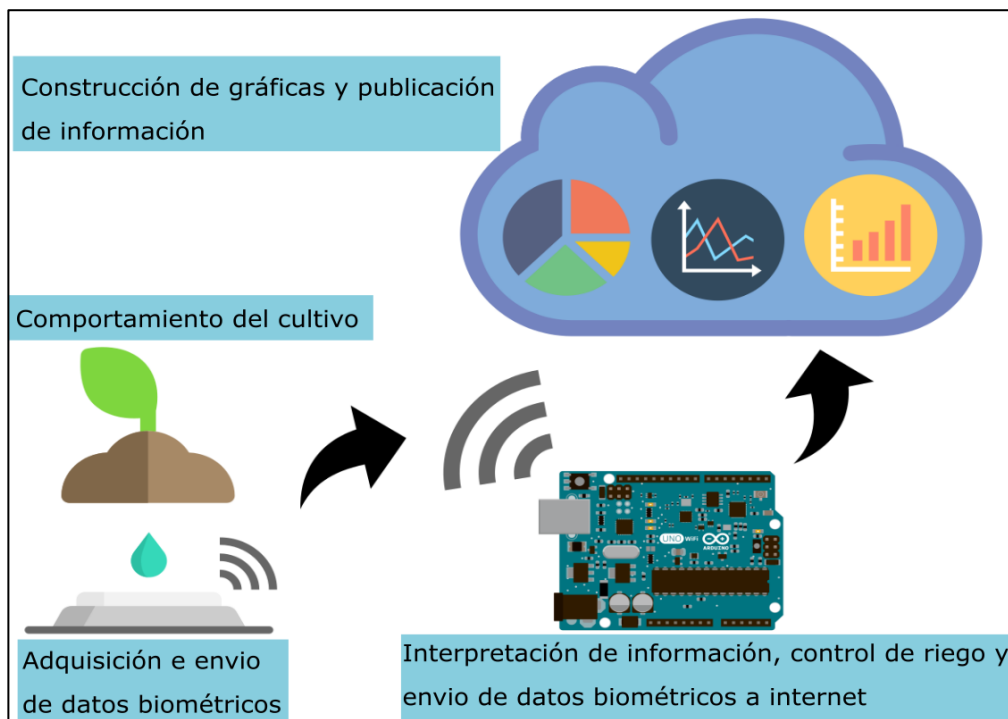
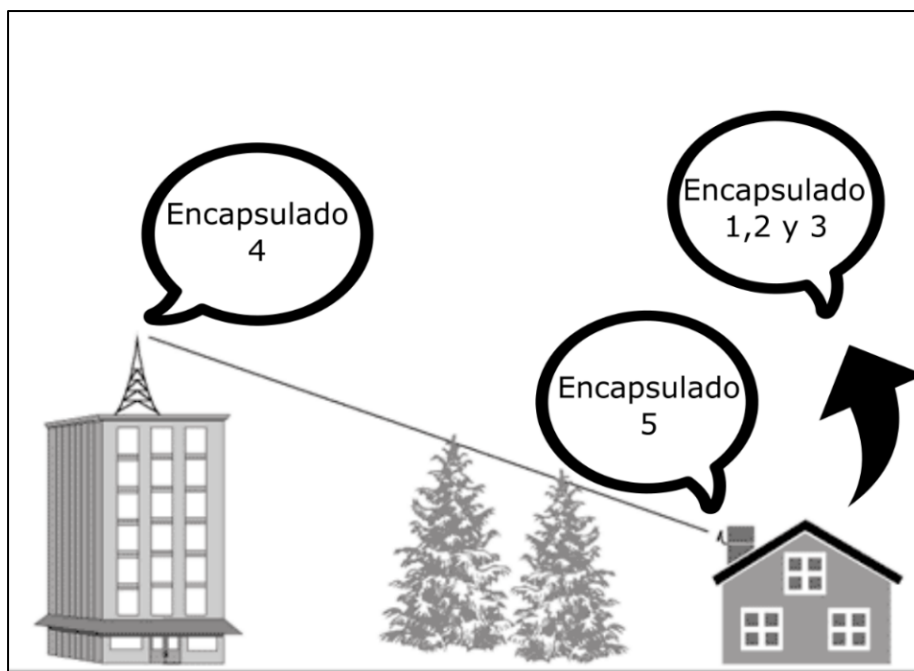


Figura 1. Funcionamiento general del sistema

Fuente. Elaboración Propia

Esta solución hipotética está planteada como la comunicación de cinco encapsulados, el primero de ellos medirá algunas variables biométricas relativas al sistema hidropónico de lechuga (pH, conductividad eléctrica, humedad relativa de sustrato y oxígeno disuelto), este encapsulado se encuentra muy cercano al suelo

debido a las mediciones que le realizará al cultivo, el segundo encapsulado medirá otras variables biométricas relativas al ambiente (temperatura, humedad y niveles de luminosidad) y debe de encontrarse a una altura media dentro del invernadero para que los datos no sean alterados.

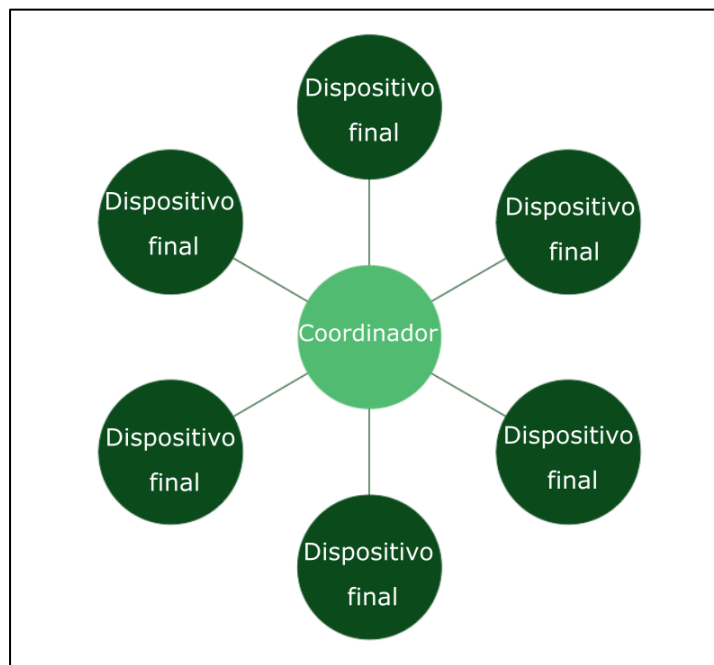


*Figura 2. Posicionamiento de los encapsulados.*

**Fuente.** Elaboración Propia

Estos dos encapsulados no se integrarán juntos debido al posicionamiento que se requiere para ambos. El tercer encapsulado controlará el sistema de riego mediante un relé y una señal indicadora de riego proveniente del cuarto encapsulado el cual se mencionará a continuación, el cuarto encapsulado tendrá conexión a internet y además recibe información de manera inalámbrica de los primeros dos encapsulados, este se encarga de subir los datos a internet y además indica al tercer encapsulado cuando debe regar. El quinto encapsulado es un intermediario entre los primeros tres y el cuarto, esto requiere que los dispositivos se encuentren en línea vista ya que existe una distancia considerable entre el cuarto encapsulado y los primeros tres, en la Figura 2 se muestra el posicionamiento de estos encapsulados.

Cada uno de estos encapsulados contará con una batería de ion litio como fuente de alimentación, por lo que necesitarán un sistema de recarga eficiente. Es por esto que se va a aprovechar la energía solar para alimentar estos encapsulados, estas baterías estarán conectadas a un módulo cargador de baterías el cual es un dispositivo que se encarga de regular la corriente proveniente de un panel solar y cargar la batería de litio cuando sea necesario. Además, este módulo tiene una salida mini USB la cual se utilizará para finalmente brindarle alimentación al microcontrolador.



*Figura 3. Topología del sistema de comunicación.*

**Fuente:** Elaboración Propia

En el sistema de comunicación inalámbrico se hará uso de módulos transmisores inalámbricos (XBee Pro) en una configuración estrella, como se ve en la Figura 3, donde el encapsulado principal (el cual tendrá acceso a internet) actuará como el coordinador, mientras que los otros 3 encapsulados trabajarán como enrutadores o dispositivos finales. La ventaja de utilizar esta configuración es que la unidad de control tiene la versatilidad de comunicarse con los otros tres encapsulados y viceversa y no de manera dispositivo-final a dispositivo-final (uno a uno).

Los sensores que medirán las variables biométricas utilizan en su mayoría una comunicación serie para enviar los datos necesarios y como se debe de recibir mucha información en un solo encapsulado, se hará uso de un microcontrolador que permita varias lecturas seriees, por ejemplo, un Arduino Mega.

Para subir la información a internet, se pretende utilizar la plataforma Ubidots y crear gráficas en su tablero mediante la herramienta de “*widgets*”, es aquí donde la información es visualizada de manera gráfica y puede ser extraída como un link para luego ser empotrada en una página diseñada en HTML.

## 2. META Y OBJETIVOS

### 2.1. Meta

Brindarle a los estudiantes y profesores de los cursos de Fisiología Vegetal y Horticultura del Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos un sistema que facilite la toma de decisiones dentro del invernadero donde se realizará el cultivo hidropónico de lechuga.

### 2.2. Objetivo general

Diseñar el prototipo de un sistema electrónico inalámbrico para un sistema hidropónico de lechuga que sea capaz de medir y transmitir variables biométricas para la automatización del riego y la visualización de esta información para la toma de decisiones sobre el cultivo.

### 2.3. Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un circuito encapsulado capaz de realizar mediciones de temperatura, humedad, luminosidad, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto mediante la utilización de sensores y un microcontrolador.

**Indicador:** Adquisición de datos de manera confiable<sup>1</sup>.

- Implementar la transmisión y adquisición inalámbrica de datos para la definición de un umbral en el control de riego y la visualización gráfica de la información mediante la utilización de transmisores inalámbricos.

**Indicador:** Transmitir y recibir datos de manera confiable<sup>1</sup>.

- Implementar un modelo de control de riego automatizado a partir del análisis de las variables sensadas con el fin de mejorar el sistema de riego actual.

**Indicador:** El sistema inicia riego basado en el umbral<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Se define basado en los requerimientos del proyecto, en este caso particular consiste en la capacidad del sistema de retransmitir un dato en caso en fallo de la comunicación y de generar una alerta en caso de fallos en la retransmisión

### 3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto inicia con la investigación acerca de los sensores que se planean utilizar en el sistema para así conocer cuáles se adecuan a las condiciones presentes en el invernadero ya que los sensores deben de resistir tierra, insectos y niveles de humedad muy altos.

Una vez que se hayan elegido los sensores adecuados se implementan los diferentes encapsulados mediante la integración de un microcontrolador y un módulo transmisor en cada uno, de esta manera obtener las mediciones adecuadas y la transmisión de datos de manera inalámbrica.

Una vez que los encapsulados miden y transmiten correctamente, se procede a programar el microcontrolador principal, el cual se encarga de adecuar la recepción de datos y controlar el riego dependiendo de los datos recibidos. El control de riego está definido mediante el diagrama de flujo de la Figura 4.

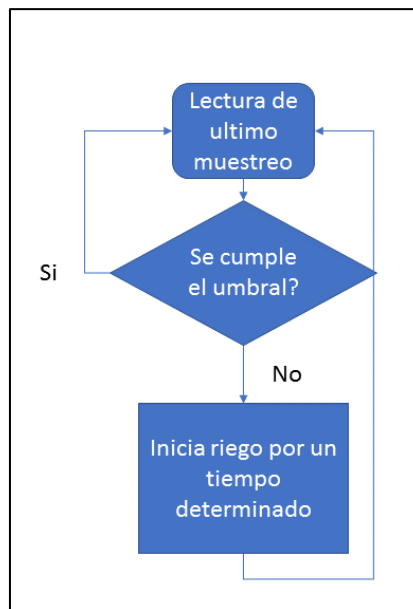


Figura 4. Diagrama de flujo del control de riego.

Fuente. Elaboración Propia



El umbral se encuentra definido de acuerdo con el cultivo que se sembrará, para el caso de la lechuga, el umbral debe de permanecer en un rango de humedad relativa entre 60% y 80% [2].

Además, el microcontrolador principal se encarga de enviar los datos a una plataforma en internet, en esta plataforma se envía una notificación a una dirección email o por SMS para que el usuario sepa a qué hora se hace el riego y además los datos se pueden visualizar en diferentes tipos de gráficos, los cuales por último son extraídos hacia una página web, donde los datos son visualizados de manera pública. Esto permite que los estudiantes y docentes pueden acceder a los datos cuando se desea.

#### 4. MARCO TEÓRICO

En este apartado se darán a conocer los diversos componentes utilizados en este proyecto, además de algunos temas referentes a la agricultura considerados en el diseño de la solución. Primeramente, se conocerá el perfil agronómico del proyecto para luego establecer los diferentes elementos electrónicos involucrados, sus funciones y la justificación del por qué estos fueron utilizados.

Como se ha mencionado con anterioridad, la Escuela de Agronomía del Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos requiere de la implementación de un sistema hidropónico de lechuga, la hidroponía es el cultivo de plantas utilizando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola. La implementación de este método de cultivo es atractiva principalmente debido a su rentabilidad y adaptación a espacios, ambientes y recursos. [3]

La tabla 1 muestra los beneficios en cuanto a rentabilidad, facilidad y productividad en una escala de 1 a 10. [3]

Cultivo	Fácil de cultivar	Fácil mercado	Productividad
Lechugas	10	8	9
Tomates	8	8	8
Pepinos	9	7	8

*Tabla 1. Mercado general del cultivo hidropónico.*

**Fuente:** Elaboración propia con base a [3]

En resumen, el cultivo hidropónico es un método que ayuda a los estudiantes a comprender mejor este tipo de siembra, cómo sembrar en ellos y a su vez la oportunidad de lucrar de ello. Es importante resaltar que los profesores de esta área también se vean involucrados para proyectos de investigación, ya sea estudiar el comportamiento del cultivo, o realizar experimentos para mejorar su crecimiento y productividad.

Los sensores biométricos que la Escuela de Agronomía desea implementar son pH (potencial de hidrógeno), CE (conductividad eléctrica), humedad relativa de sustrato, humedad relativa del ambiente, temperatura ambiental, oxígeno disuelto (OD) e intensidad UV (ultravioleta). A continuación, se mencionará qué son estas variables biométricas y porqué es importante realizar mediciones sobre ellas.

Cuando se hace referencia a pH, esto significa potencial de hidrógeno, la cual es una escala que mide el nivel de acidez o alcalinidad de una solución nutritiva como la que se implementara en el sistema hidropónico. La escala de pH tiene un rango entre 1 a 14 siendo 7 una solución neutral, como se puede observar en la Figura 5. El rango ideal para los cultivos hidropónicos es menor a 7, idealmente entre 6.5 a 5.5 [3], esto quiere decir que la solución que se implementará en el sistema hidropónico debe ser ligeramente acida, si el valor de pH se encuentra mayor a 7 entonces la solución se vuelve alcalina, alterando los nutrientes y afectando las plantas de manera negativa [3].

A continuación, se menciona algunos elementos importantes que debe contener la solución tales como, nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, boro, zinc, cobre, carbono, hidrógeno, oxígeno, molibdeno, cloro, cobalto níquel, sodio. Si la solución carece de alguno de estos elementos se pueden crear deficiencias tales como, germinación deficiente, tallos quebradizos, hojas marchitas, debilitación general, limitación en crecimiento, hojas deformes y arrugadas [4]. En la siguiente figura se muestra la escala de pH.

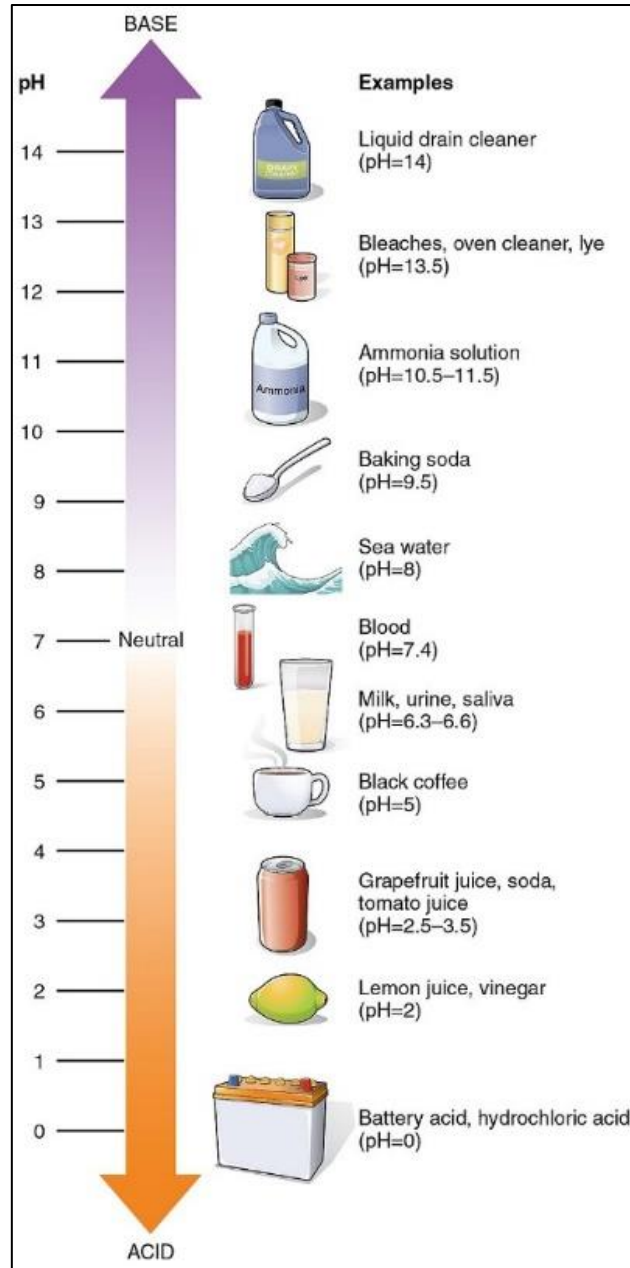


Figura 5. Escala de pH

Fuente: [5]

El sensor de pH cuenta con un conector coaxial que luego es adaptado a un circuito integrado que convierte la información analógica a digital y la adecua para una transmisión serie, en la Figura 6 se puede observar este dispositivo.



*Figura 6. Sensor de pH*

**Fuente:** [6]

El factor de conductividad eléctrica (CE) también es un variable biométrica importante, ya que es la unidad de medida que señala la cantidad de sales que tiene una solución e indica si todas las sales están disueltas para ser absorbidas por las raíces de las plantas. Idealmente el rango de conductividad eléctrica se encuentra entre 1.5 y 2.5 dS/m (decisiemens por metro). [3]

El dispositivo que se encarga de medir la conductividad cuenta con las mismas capacidades que el sensor de pH, el cual es un conector coaxial adaptado a un circuito integrado que adecua la señal y la prepara para ser enviada de manera serie, en la Figura 7 se puede observar este dispositivo.



*Figura 7. Sensor de conductividad eléctrica*

**Fuente:** [6]

Otra variable biométrica mencionada anteriormente es la humedad relativa del ambiente, este factor es la relación entre la cantidad de vapor que contiene el aire y se mide en porcentaje. Es importante estar al tanto de este valor ya que si existe un exceso de humedad, esto provocará el desarrollo de enfermedades en las plantas. Por consiguiente, la humedad ambiental afecta el metabolismo de la planta, si el nivel de humedad es muy alto, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes es muy baja y también se reduce la tasa de fotosíntesis, esto se puede visualizar como un efecto en cadena por lo cual es importante mantener los niveles de humedad en su rango adecuado para un crecimiento ideal [7].

Cabe destacar que la humedad relativa del ambiente y la temperatura ambiental van de la mano, son dos factores biométricos que deben ser monitoreados, en cuanto a la temperatura. Este puede afectar directamente las funciones de la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, transpiración, actividad enzimática y la absorción de agua y nutrientes [8]. Es por esto que la humedad y temperatura ambiental son vitales para un sistema hidropónico. Se especifica un rango de

temperatura entre los 10 a 25 grados centígrados [8], mientras que en otros textos se establece un rango de 18 a 24 grados centígrado [3, 4]. Un dispositivo capaz de determinar estos dos factores biométricos es un DHT22, el cual es un sensor digital que se observa en la Figura 8.

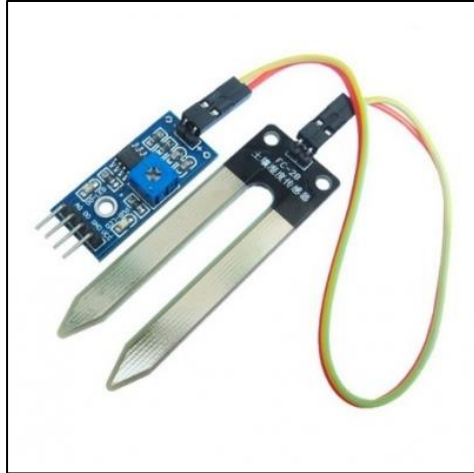


*Figura 8. Sensor de humedad y temperatura ambiental (DHT22)*

**Fuente:** [9]

Para un sistema hidropónico la humedad del sustrato también es indispensable, dado que el sustrato tiene muchas funciones como retener y dar la colusión nutritiva la raíz, brindarle oxígeno y oscuridad a la raíz, proporcionar la temperatura adecuada a la raíz y darle un soporte y anclaje a la planta [10].

Es por esto que la humedad del sustrato es una variable biométrica que no se puede dejar de lado, para medir el nivel de humedad que tiene el sustrato existe un dispositivo capaz de medir esta variable y convertirla en un valor digital. En la Figura 9 se puede observar este sensor.



*Figura 9. Sensor de humedad relativa del sustrato.*

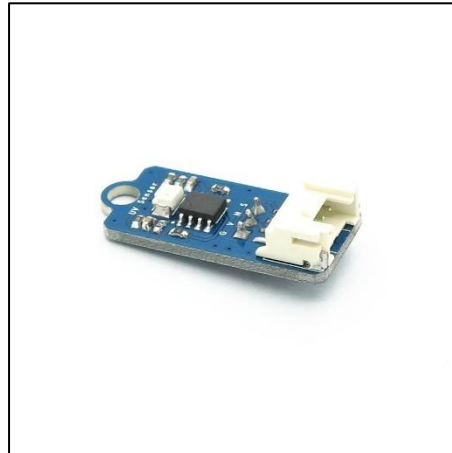
**Fuente:** [9]

Otro criterio importante por considerar es el oxígeno disuelto, a veces esta variable es olvidada dentro de la solución nutritiva del sistema hidropónico. Aunque la lechuga no presente alto consumo de oxígeno siempre es importante tener un control moderado de esta variable, tanto así, que si existe una deficiencia de oxígeno el cultivo llegará a reducir la absorción de nutrientes y agua, causando un crecimiento deficiente. Generalmente el oxígeno disuelto se mide en mg/L (miligramo por litro) o más conocido como ppm (partes por millón), en la práctica se utiliza un sensor similar al de conductividad eléctrico y pH, utilizando una la comunicación serie para transmitir información [11].

Por último, la luz es el factor biométrico más influyente sobre el crecimiento de las plantas ya que de ella depende la mayoría de los procesos biológicas como la fotosíntesis y el proceso de conversión de lo inorgánico a lo orgánico. Si hay ausencia de energía solar, la planta tiende a alargarse y crecen con tallos y ramas débiles, de lo contrario si hay un exceso de energía solar las plantas tienden a crecer lentamente y tener tallos duros [10].



Es por esto que es importante conocer la intensidad lumínica o UV (ultravioleta) a la que está expuesta el cultivo ya que se debe mantener una iluminación o sombra adecuada para que las plantas no presenten estos síntomas. En la Figura 10 se observa el dispositivo que capta información sobre esta variable biométrica de manera digital.

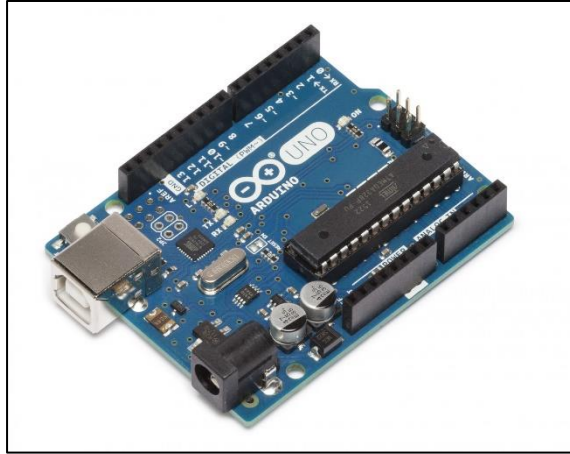


*Figura 10. Sensor de intensidad UV*

**Fuente:** [9]

Teniendo ya una idea clara de cómo se va captar cada variable biométrica, cabe mencionar los dispositivos que son capaces de manipular esta información. En la Figura 11 se puede observar un Arduino UNO, el cual es una tarjeta electrónica con un microcontrolador ATmega328P integrado, esta tarjeta posee 14 Pines digitales para entradas y salidas, 6 Pines analógicos de entrada, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB y un puerto de alimentación. Este dispositivo cuenta con un IDE (entorno de desarrollo integrado) y lenguaje de programación similar al de C (pseudoC) [12].

Además, el Arduino UNO tiene varias extensiones o módulos que se pueden adaptar a ella, por ejemplo, módulo de ethernet, módulo de wifi, módulo de USB y módulo de XBee, etc. Algunos módulos como el de XBee facilita la transmisión y adquisición de información, por lo que crea un acceso sencillo a los canales de comunicación serie (Tx y Rx).



*Figura 11. Arduino UNO*

**Fuente:** [12]

De los productos Arduino, también existe el Arduino Mega y el Arduino Nano, estos dispositivos también son de utilidad para captar y procesar información. El Arduino Mega cuenta con 54 Pines digitales de entradas y salidas, 16 Pines analógicos de entrada y 4 puertos UART (puestos de comunicación serie) [12], comparado con el Arduino UNO este tiene mucha más capacidad, la característica de poseer 4 puertos de comunicación serie es bastante atractiva debido a que algunos sensores como el de pH y conductividad eléctrica utilizan estos puertos para transmitir y recibir información.

En cuanto al Arduino Nano, este posee 13 pines digitales de entrada y salida, 6 pines analógicos de entrada y solo un puerto de comunicación serie [12], la conveniencia de utilizar este dispositivo está en su tamaño, el bajo consumo energético y la gran capacidad requerida para poner en marcha varios sensores digitales, en la Figuras 12 y 13 se pueden observar el Arduino Mega y el Arduino Nano respectivamente.

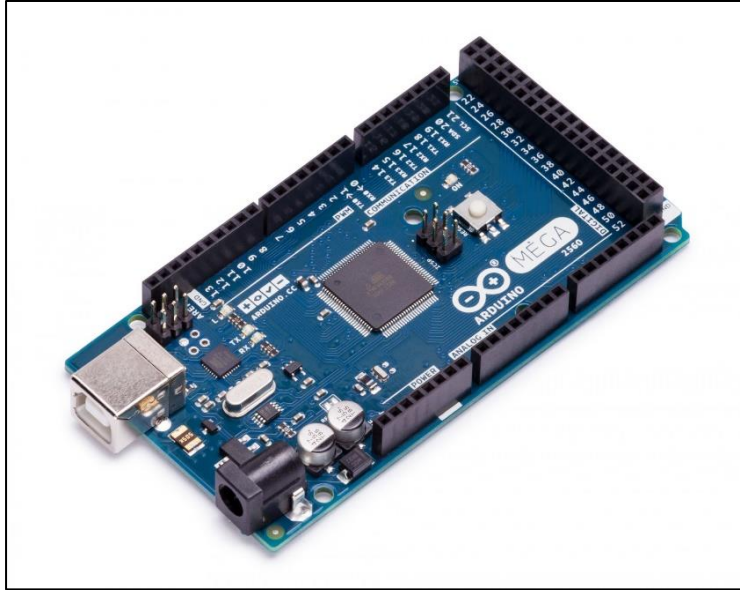


Figura 12. Arduino Mega

Fuente: [12]

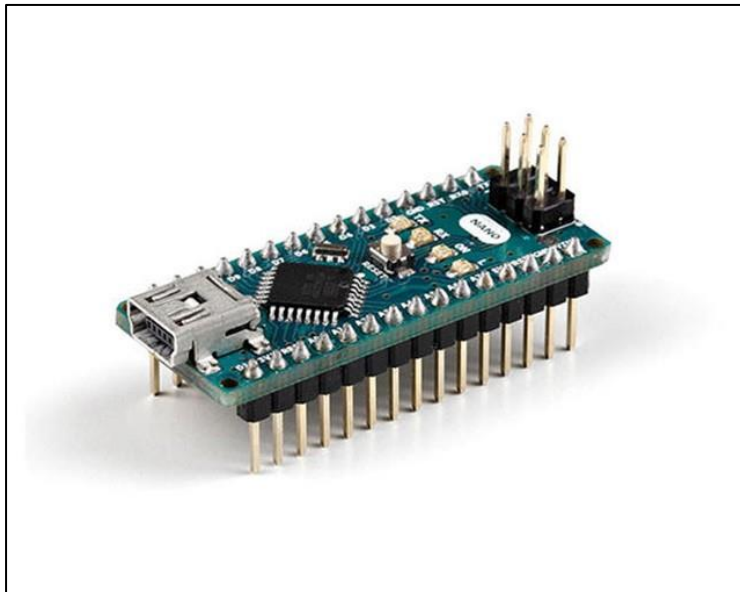
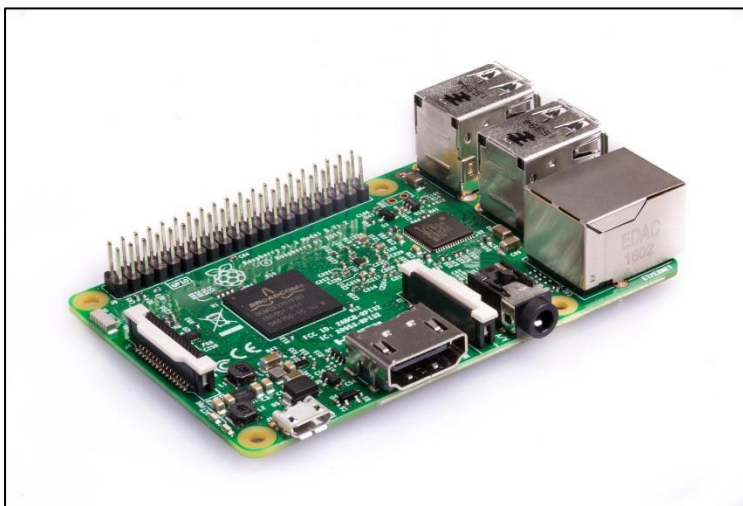


Figura 13. Arduino Nano

Fuente: [12]

Los Arduinos mencionados anteriormente no son los únicos dispositivos involucrados en este proyecto sino también está la Raspberry Pi 3, el cual es un SBC (computador de placa simple). Este cuenta con cuatro núcleos 1.2 GHz 64bit CPU, 1 GB de RAM, conexión inalámbrica de LAN, bluetooth, 40 pines GPIO (propósito general

entrada/salida), 4 puertos USB, un puerto ethernet, entre otros atributos [13]. Cabe mencionar que algunos de los Pines de GPIO pueden utilizarse como puertos UART (transmisión y recepción de datos Tx, Rx) y además puede conectarse a internet vía ethernet o por Wi-fi, también cuenta con un sistema operativo Linux llamado Raspbian donde se pueden crear programas en varios lenguajes de programación incluyendo Python, C, entre otros. En la Figura 14 se puede observar la Raspberry Pi 3.



*Figura 14. Raspberry Pi 3*

**Fuente:** [13]

La utilidad que trae los Pines del GPIO de la raspberry y los Pines de comunicaciones serie de los Arduinos son esencialmente para la transmisión y recepción de datos mediante UART. Los dispositivos que se encargan de utilizar estos puertos UART son los XBees que se muestran en la Figura 15. Estos dispositivos cumplen la funcionalidad de un módulo transmisor inalámbrico, el cual se utiliza para enviar y recibir información de manera inalámbrica mediante radio frecuencia.



Figura 15. XBee

Fuente: [14]

La ventaja de utilizar estos dispositivos yace en las diversas configuraciones de red en la que se puede utilizar, en la Figura 16 que muestran las diferentes topologías a la cual se puede adaptar los XBee.

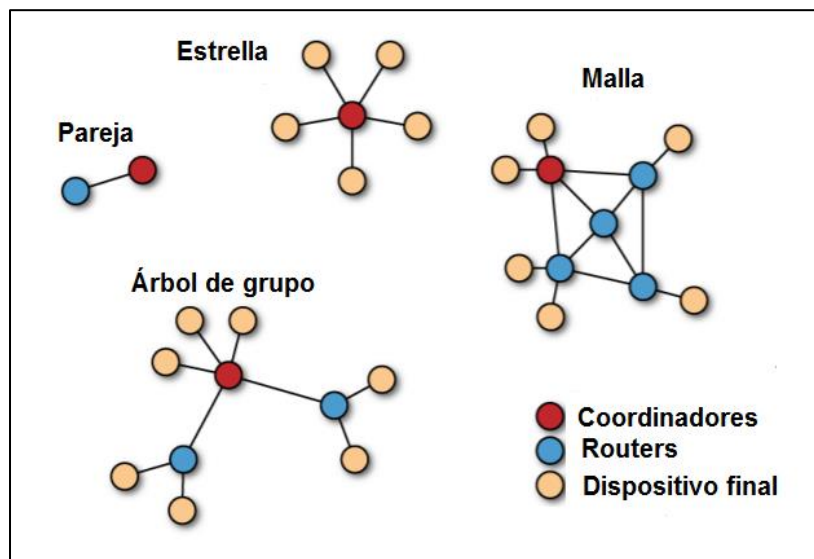
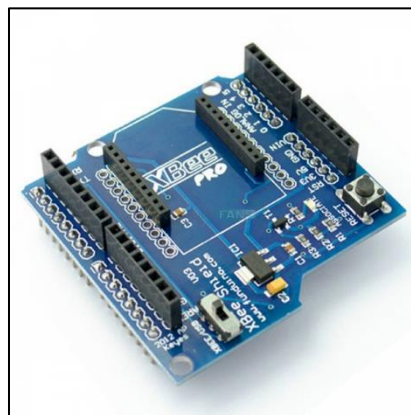


Figura 16. Diferentes topologías del XBee

Fuente: [14]

Para este proyecto la topología estrella se adapta a la situación. Esta topología permite que varios dispositivos finales se comuniquen con un coordinador y este coordinador puede comunicarse con todos los dispositivos finales. Por ejemplo, si se observa la Figura 3, los encapsulados 1,2,3 y 4 actúan como dispositivos finales mientras que el encapsulado 5 actúa como coordinador [14]. Para que los XBees presenten esta configuración, es necesario tener instalado un programa llamado XCTU, el cual permite modificar la red, el ID (identificación), y la función de cada XBee.

En instancias anteriores se hizo mención a una extensión en particular que tiene los Arduino UNO que incluía el XBee. En la Figura 17 se muestra la extensión de XBee que se adapta para el Arduino UNO, de tal manera que el XBee pueda estar conectando al Arduino sin tener ningún tipo de cableo.



*Figura 17. XBee módulo para Arduino UNO*

**Fuente:** [14]

Lo contrario sucede con el Arduino Mega, Arduino Nano y la Raspberry Pi 3 ya que estos dispositivos no cuentan con las mismas extensiones que tiene el Arduino UNO, es por esto que se utiliza una placa pequeña donde se puede incorporar el XBee de manera alternativa. Esta pequeña placa se le conoce como XBee Explorer y se puede observar en la Figura 18, la cual tiene 4 Pines, uno para alimentación de 5V (Voltios), tierra, Pin de transmisión Tx y Pin de recepción Rx.

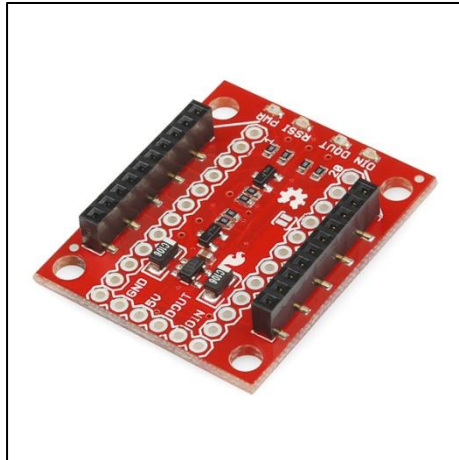


Figura 18. XBee explorer

Fuente: [6]

Finalmente se mencionarán los elementos que se utilizaron para realizar el riego automático y la alimentación por panel solar. El riego automático se llevará a cabo mediante la utilización de un relé y una electroválvula, los se muestran en las Figura 19 y 20 respectivamente. El relé es un dispositivo que cumple la función de un interruptor, este permite al Arduino Mega (encapsulado donde se encuentra el relé) controlar fuentes de alto voltaje, con la finalidad de activar o desactivar el paso de líquido a través de la electroválvula, ya que este otro dispositivo requiere de 220VAC (corriente alterna) para funcionar.

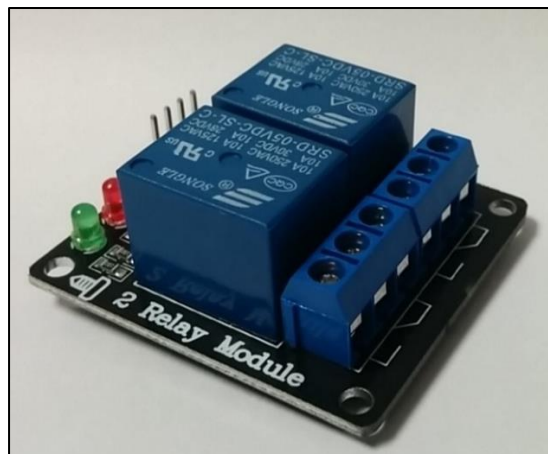


Figura 19. Módulo de 2 relés

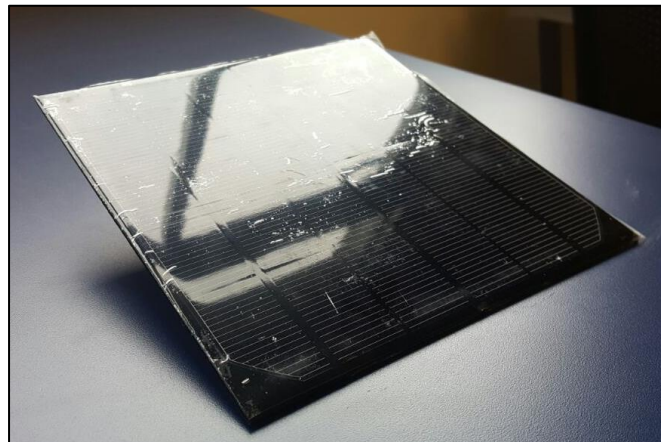
Fuente: [9]



*Figura 20. Electroválvula*

**Fuente:** [9]

En cuanto a la alimentación de algunos encapsulados se utilizará paneles solares de 6V, 4,5W y 520mAh tales como se pueden observar en la Figura 21. Estos están conectados a un circuito integrado que cumple la función de un módulo regulador de corriente donde a su vez está conectado a una batería de litio. A través de este módulo el panel carga la batería y a su vez tiene un puerto USB para alimentar los Arduinos. En la Figura 22 se muestra el dispositivo que regulará la corriente y mantendrá la batería cargando.



*Figura 21. Panel solar*

**Fuente:** Elaboración Propia





*Figura 22. Modulo regulador de corriente*

**Fuente:** [9]

Conociendo de antemano los dispositivos que se utilizaron para captar las diferentes variables, los que se encargan de procesar la información y los que se encargan de transmitir y recibir la información, cabe mencionar los medios que se utilizarán para visualizar todos los datos capturados de manera gráfica. Para lograr visualizar la información deseada se necesita una plataforma donde se pueda almacenar esta información.

Ubidots es una plataforma de internet que brinda diversas herramientas incluyendo elaboración de gráficos, notificaciones por medio de correos electrónicos y SMS, control de variables en dispositivos, entre otros. Esta plataforma también proporciona la facilidad de obtener código HTML de las gráficas generadas [15].

La manera en la que se desarrollará la página web es mediante la utilización de otra plataforma llamada Wix. Esta plataforma se especializa en desarrollo web basada en la nube, la cual permite a los usuarios crear sitios web en HTML5 [16]. También les permite a los usuarios tener varias herramientas de arrastrar y soltar, además brinda la implementación de código HTML por lo que crea una buena sincronía entre Ubidots y Wix.

## **5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

En este apartado se dará a conocer la evolución de la solución hipotética que se mencionó con anterioridad, esto con el fin de describir las etapas del procedimiento de diseño seleccionadas para llegar a una solución final.

### **5.1. Alternativas y síntesis de una solución final**

La primera iteración de la solución se basaba en la primicia de utilizar la menor cantidad de encapsulados posibles para reducir los costos de inversión ya que la Escuela de Agronomía de momento no cuenta con ayuda financiera, por lo que al simplificar el medio de comunicación inalámbrica y aprovechar al máximo los microcontroladores era lo más viable para llevar a cabo el proyecto.

Aquí se encontraron varios obstáculos por los cuales no se pudo implementar desde un inicio de esta manera, la primera yace en la posición estratégica de cada sensor biométrico, ya que algunos deben permanecer cerca del suelo donde se encuentra el cultivo, como los de pH, CE y OD, mientras que otros sensores como los de intensidad lumínica, temperatura y humedad ambiental deben estar situados en un punto céntrico dentro del invernadero. Es por esto que se debió separar los sensores en diferentes encapsulados.

El segundo obstáculo se basa en la limitación para alcanzar la red de la institución, ya que según la Figura 23 es muy débil y el tipo de encriptación que tiene la red de la institución (WPA Enterprise) no son compatibles con los módulos de Wi-fi para Arduino y la Raspberry Pi 3 ya que utilizan WPA Personal. Gracias a las razones mencionadas anteriormente, surge la solución hipotética propuesta mencionada al inicio de este proyecto, pero esta a su vez presenta varios defectos que se mencionarán a continuación junto a la síntesis de la solución final.

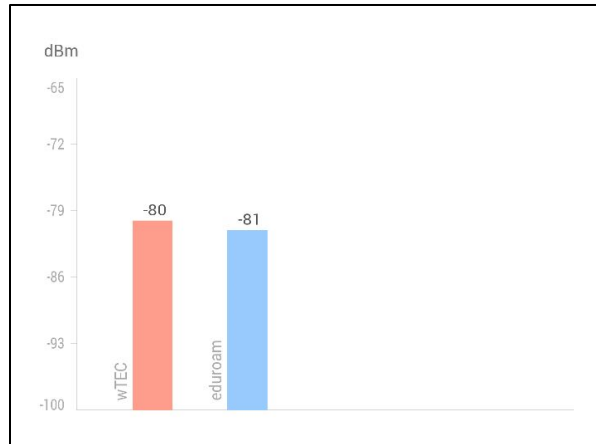


Figura 23. Intensidad de señal Wi-fi de la institución desde el invernadero

Fuente: [17]

Retomando la solución hipotética, ésta mencionaba la implementación de 5 encapsulados, el primero midiendo pH, CE, OD y humedad relativa del sustrato, el segundo intensidad UV, temperatura y humedad relativa del ambiente, el tercero controla el riego, el cuarto sube los datos a internet y el quinto es un intermediario para lograr línea vista entre encapsulados.

La manera en la que se planteó esta solución hipotética es similar a la solución final que se implementó en este proyecto, con excepción de algunos detalles, por ejemplo, tener el encapsulado del control de riego automático a unos metros del encapsulado que mediara pH, CE, OD y humedad de sustrato es redundante. Es por esto que se integra el encapsulado de riego automático junto al que mide pH, CE, OD y la humedad del sustrato para así ahorrar la utilización de un microcontrolador y un XBee. Esto permite tener la ventaja de manipular el sistema de riego de manera inmediata después de medir la humedad, en vez de tener que enviar la información al encapsulado coordinador y luego al encapsulado de riego.

Otro detalle fundamental que se alteró después de la solución hipotética es la utilización de Arduinos, se tenía pensado utilizar un Arduino Mega, Nano o UNO en cada módulo, pero durante el desarrollo del proyecto empezaron a surgir problemas en

cuando a la decodificación de los datos antes de subirlos a internet, ya que utilizando un Arduino para hacer esta tarea implicaba un algoritmo complejo para decodificar los datos y además contar con un módulo de ethernet para subirlos. Se buscó una alternativa y se decidió utilizar una Raspberry Pi 3, la cual cuenta con una función sencilla programada en Python para decodificar los datos. Además como se mencionó en otras instancias, la Raspberry Pi 3 cuenta con un puerto de ethernet y no necesita ninguna extensión para subir los datos a internet.

En síntesis, la solución final que se implementó para este proyecto consta de 4 encapsulados, encapsulado 1, cuenta con un XBee explorer y un Arduino Mega que mide pH, CE, OD y humedad de sustrato y que además controla el riego el automático. Encapsulado 2, cuenta con un XBee explorer y un Arduino Nano que mide intensidad UV, temperatura y humedad relativa del ambiente. El encapsulado 3, cuenta con un Arduino UNO y un módulo de XBee que recibe información de los encapsulados 1 y 2 y se encarga de enviarlos al encapsulado 4. El encapsulado 4 cuenta con un XBee explorer y una Raspberry Pi 3 que está conectada a internet mediante un cable de red de la institución.

De acuerdo con la información descrita anteriormente se obtienen las Figuras 24, 25, 26 y 27 las cuales presentan información de los componentes que contienen los encapsulado 1,2,3,4 respectivamente.

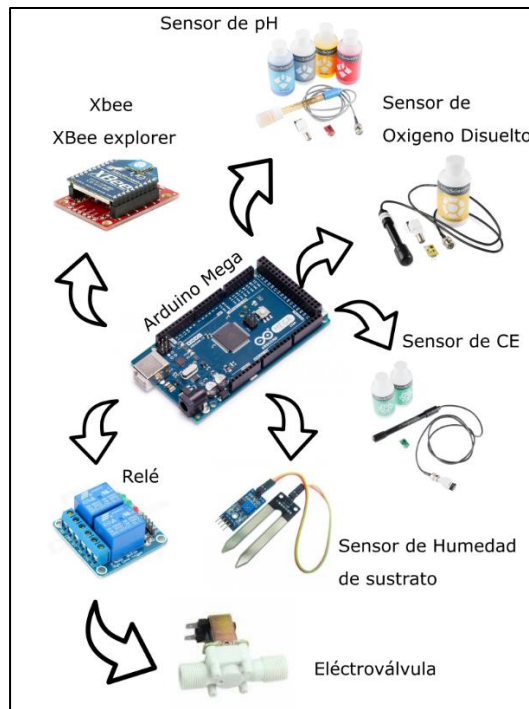


Figura 24. Encapsulado 1

Fuente: Elaboración Propia

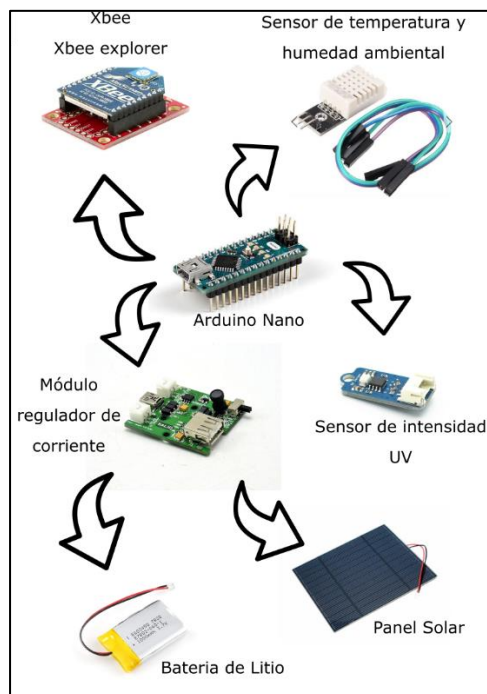


Figura 25. Encapsulado 2

Fuente: Elaboración Propia

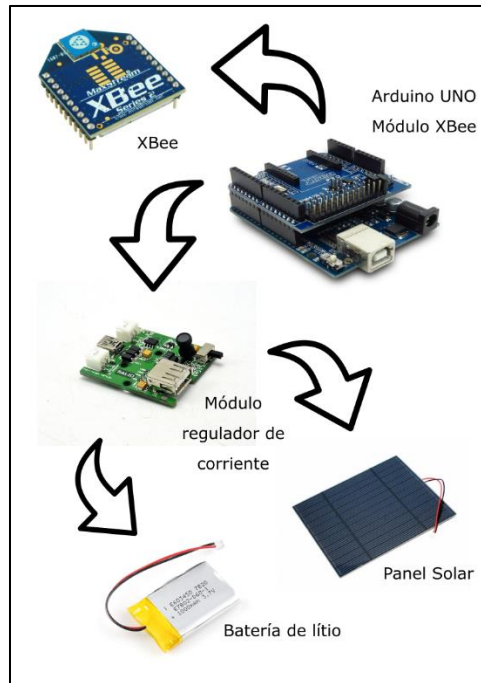


Figura 26. Encapsulado 3

Fuente: Elaboración Propia

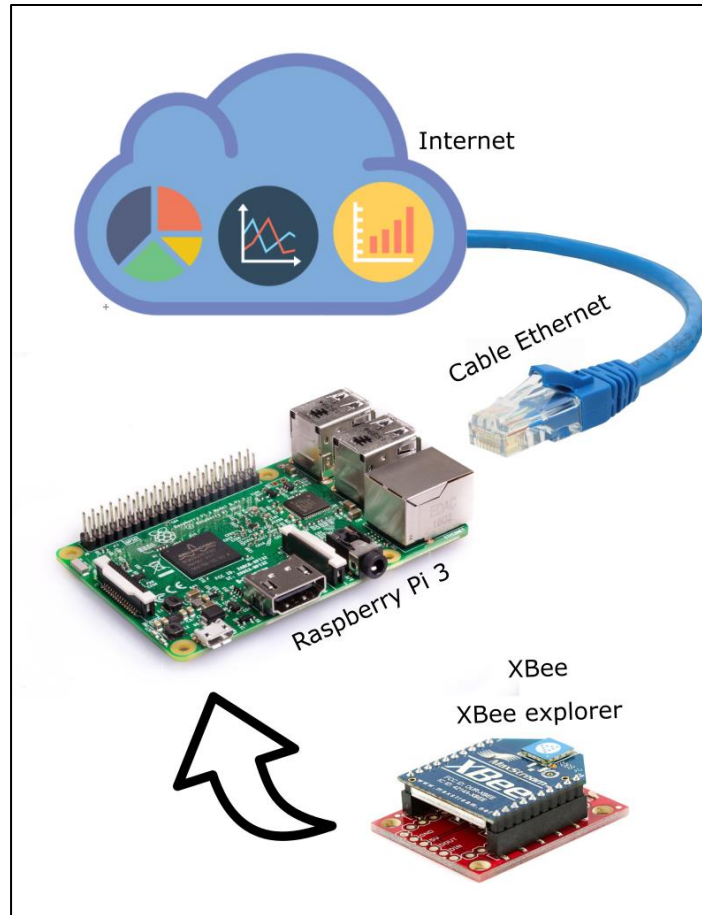


Figura 27. Encapsulado 4

Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar los encapsulados 2 y 3 son los únicos que cuentan con un sistema alimentado por panel solar, debido a que estos 2 encapsulados se van a encontrar a una altura no muy cercana al suelo, por lo que no es práctico desplazar una extensión de electricidad hasta la posición donde se encuentran. En cuanto al encapsulado 1, este debe de alimentar la electroválvula que por redundancia ya se encuentra cerca de alimentación y es por esta razón que el Arduino Mega será alimentado también de esta fuente.

En cuanto al encapsulado 4, este se encuentra dentro del gimnasio de la institución que por defecto cuenta con varias tomas de corrientes alrededor de las instalaciones y es por esto que este encapsulado tampoco recibirá alimentación mediante panel solar.

## 6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

### 6.1. Descripción del hardware

En esta sección se dará a conocer la circuitería física de cada encapsulado mencionado en la sección anterior, con la finalidad de conocer a detalle todas las configuraciones de hardware realizadas para cumplir con la funcionalidad de cada encapsulado.

#### 6.1.1 Esquemático de encapsulado 1

En la Figura 28 se puede visualizar el esquemático del primer encapsulado el cual contiene un Arduino Mega, un XBee, un XBee explorer, un sensor de humedad de sustrato, un sensor de pH, un sensor de CE, un sensor de OD, un módulo de relé y una electroválvula.

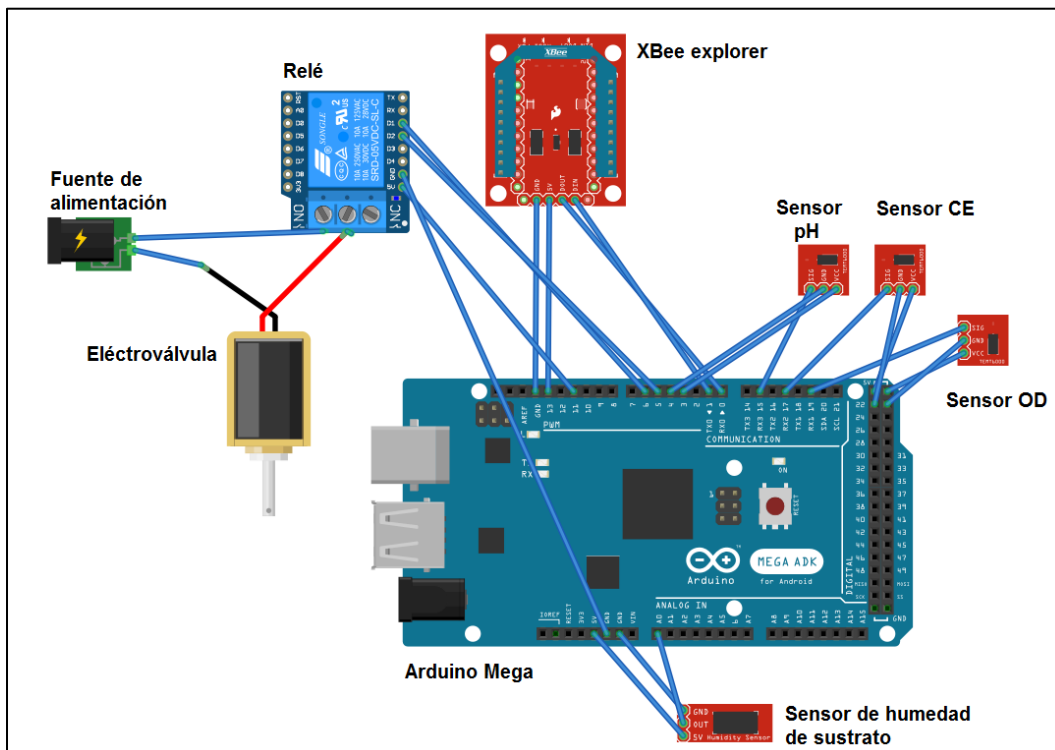


Figura 28. Esquemático del encapsulado 1

Fuente: Elaboración Propia utilizando Fritzing



## 6.1.2 Esquemático de encapsulado 2

En la Figura 29 se encuentra el esquemático del segundo encapsulado que contiene un Arduino Nano, un XBee y XBee explorer, sensor de temperatura y humedad ambiental y sensor de intensidad lumínica, así como el módulo de alimentación por panel solar.

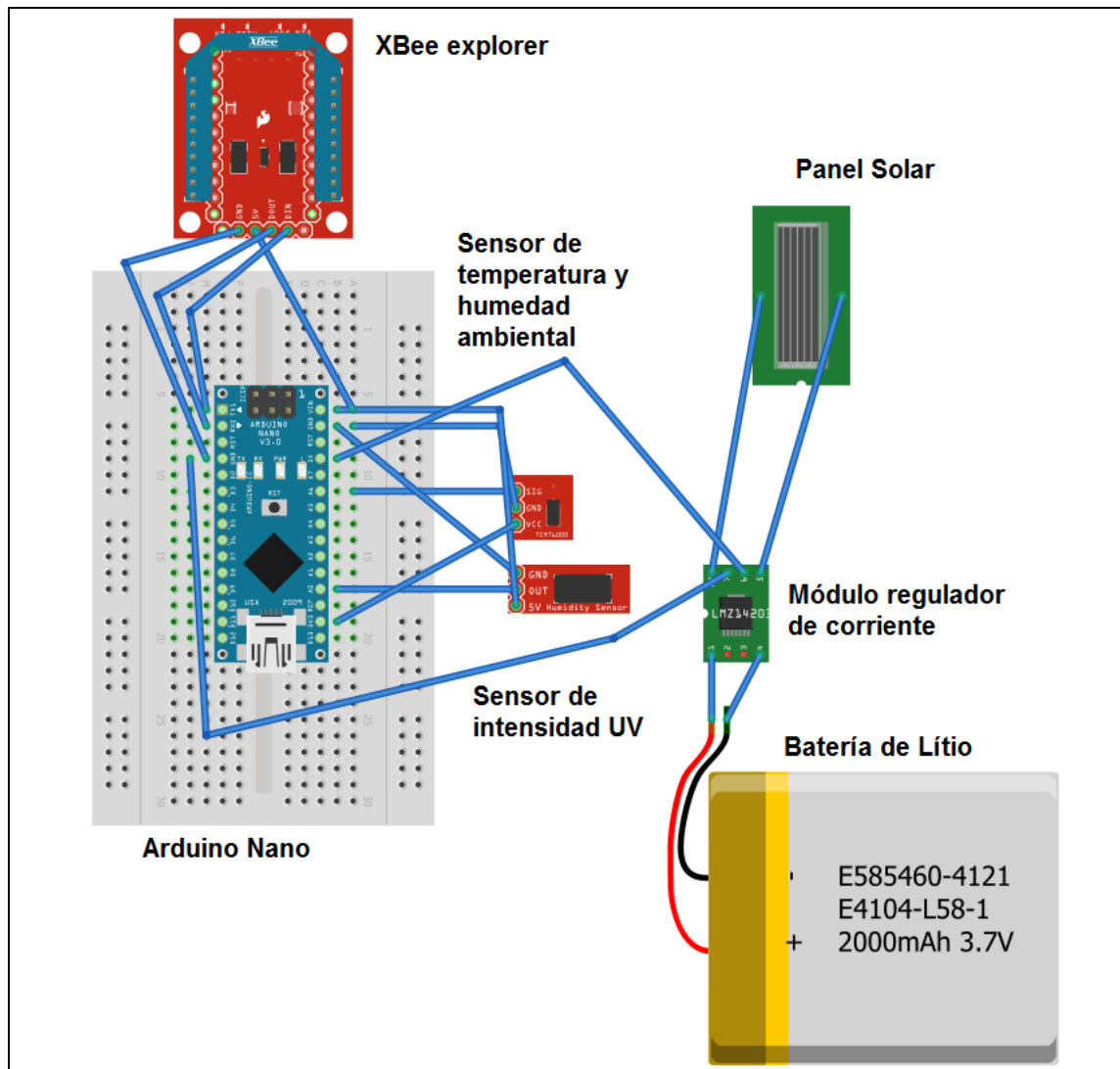


Figura 29. Esquemático del encapsulado 2

Fuente: Elaboración propia utilizando Fritzing

### 6.1.3 Esquemático de encapsulado 3

En la Figura 30 se puede observar el esquemático del encapsulado 3, presentando el mismo sistema de alimentación por panel solar, un Arduino UNO y un módulo de XBee semejante a la que contiene la Figura 17 para fines representativos.

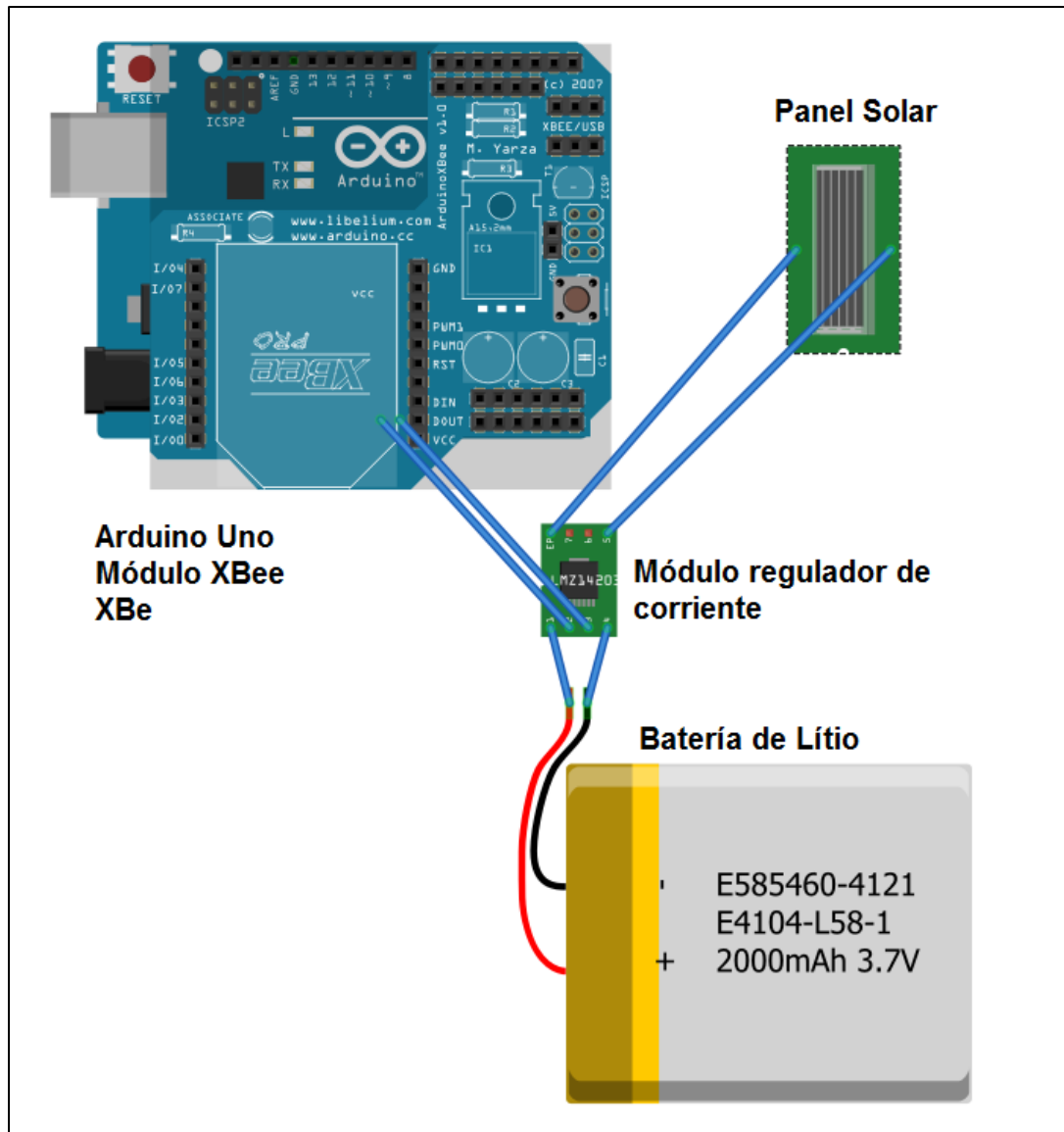


Figura 30. Esquemático del encapsulado 3

Fuente: Elaboración propia utilizando Fritzing

#### 6.1.4 Esquemático de encapsulado 4

En la Figura 31 se puede observar que la Raspberry Pi 3 solo cuenta con un XBee y un XBee explorer para recibir todos los datos de otros encapsulados, además este encapsulado está conectado a un cable ethernet que le permite acceso al internet para así lograr subir los datos necesarios.

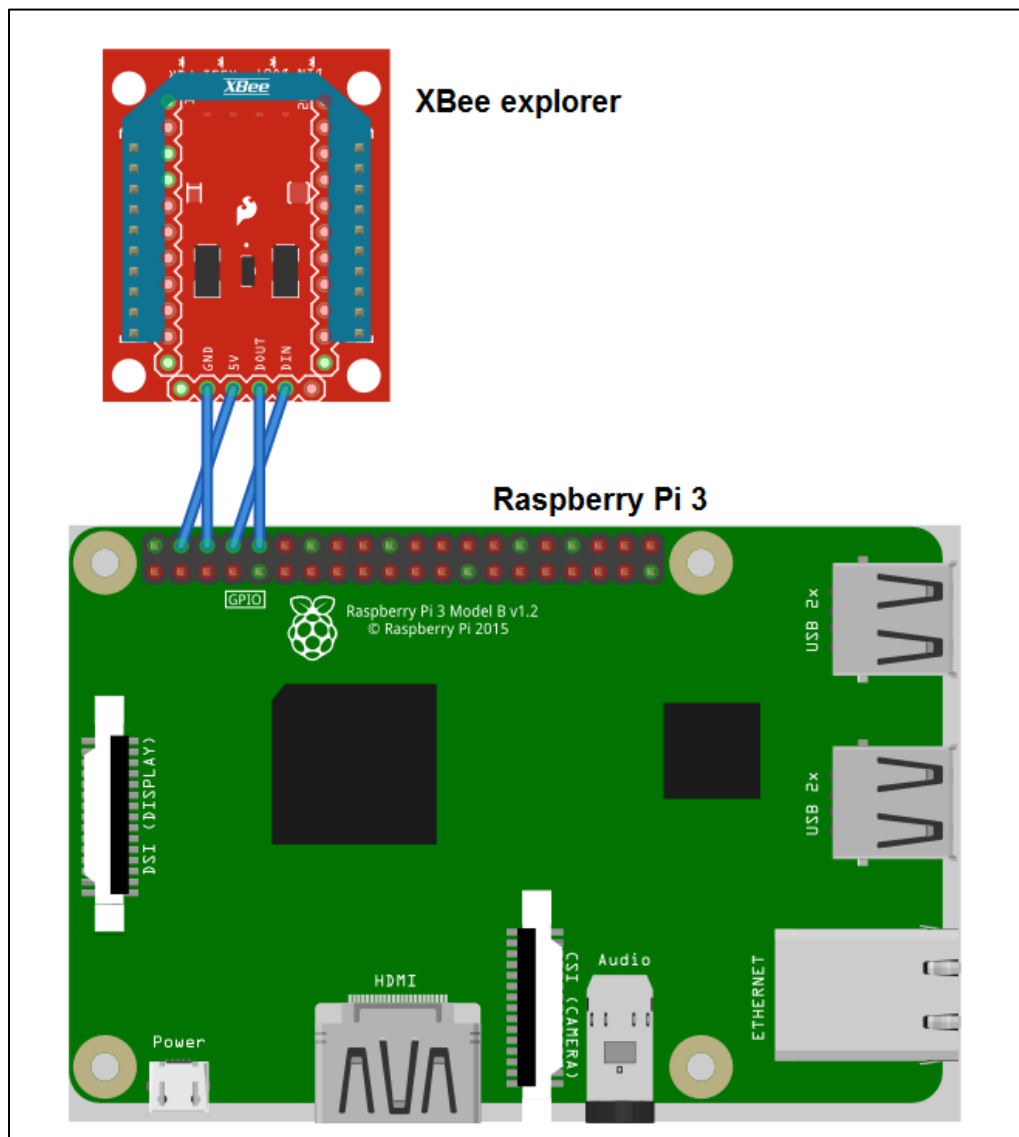


Figura 31. Esquemático del encapsulado 4

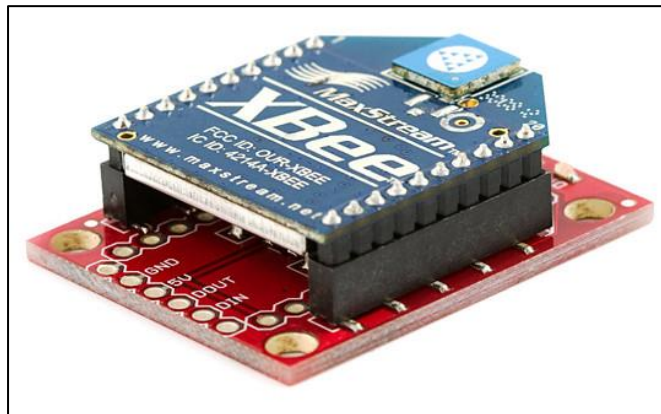
Fuente: Elaboración propia utilizando Fritzing

## 7. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA INALÁMBRICO

Retomando la Figura 16, los XBee tiene una gran versatilidad cuando se trata de topologías de transmisión, para este proyecto se seleccionó la topología estrella por la manera en la que se adapta a la localización del invernadero. Además, es importante mencionar la manera en la se realizó tal configuración y además conocer cómo funciona los puertos UART para transmisión y recepción de datos.

### 7.1. Implementación a nivel de hardware

En el apartado anterior se dio a conocer los esquemáticos de cada encapsulado, así como cada XBee explorer y sus conexiones respectivas, En la Figura 32, se puede ver la manera como se conecta un XBee sobre el XBee explorer, donde la cabeza con figura de trapecio se encuentra al lado opuesto de los pines de salida para tierra, alimentación, transmisión y recepción.



*Figura 32. XBee conectado al XBee explorer*

**Fuente:** [6]

Colocar el XBee sobre el XBee explorer es solo parte del trabajo para realizar las conexiones necesarias para que funcione de manera adecuada. Viendo detenidamente la Figura 32 se puede observar 4 pines, los cuales corresponden a tierra, alimentación, transmisión y recepción, el pin de tierra debe compartir la tierra del dispositivo al que se va conectar, el pin de alimentación debe estar conectado a un pin de 5V del dispositivo ya sea Arduino o Raspberry Pi, mientras que el pin de transmisión o DOUT, debe de

estar conectado al pin de recepción del dispositivo, finalmente el pin de recepción o DIN debe de estar conectado al pin de transmisión del dispositivo. Un claro ejemplo de esta conexión se encuentra en la Figura 31, que muestra la conexión de un XBee explorer a una Raspberry Pi 3, de acuerdo con la Figura 33 muestra como los pines GPIO de la Raspberry Pi 3 coinciden con la descripción mencionada anteriormente.

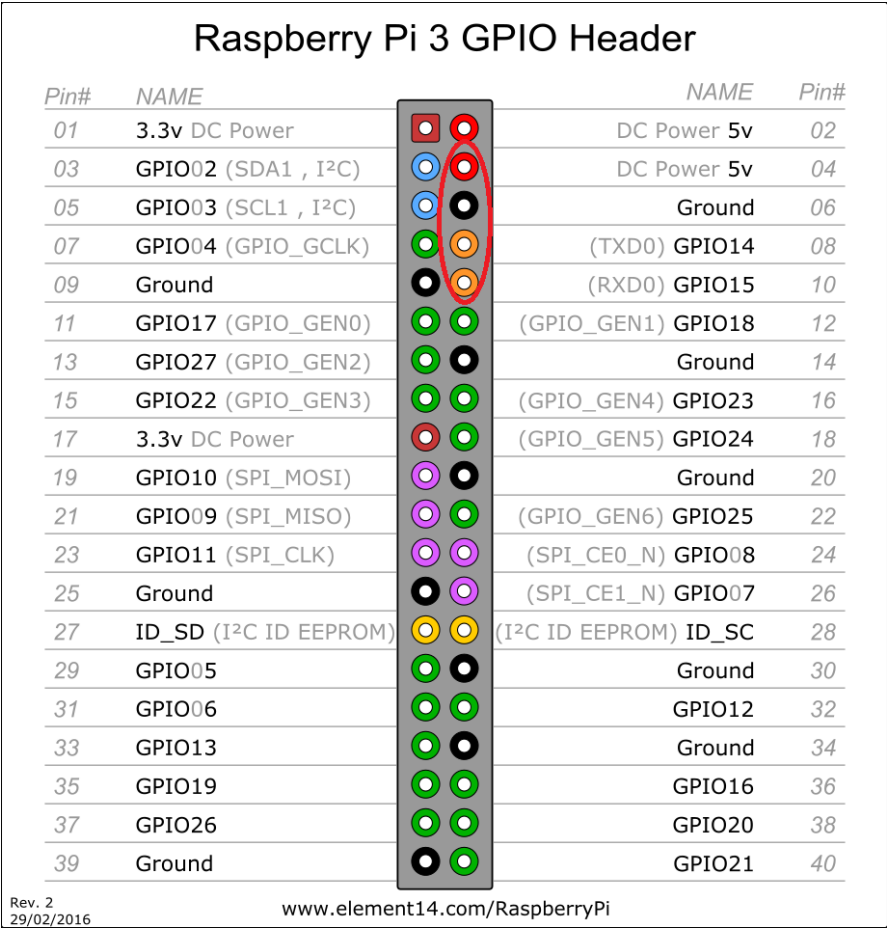


Figura 33. Diagrama del GPIO de la Raspberry Pi 3

Fuente: [13]

Observando las Figuras 33, 34 y 35 se puede notar que los pines que se encuentran dentro del círculo rojo representan la conexión para los puertos UART, alimentación y tierra para la Raspberry Pi 3, Arduino Mega y Arduino Nano respectivamente.

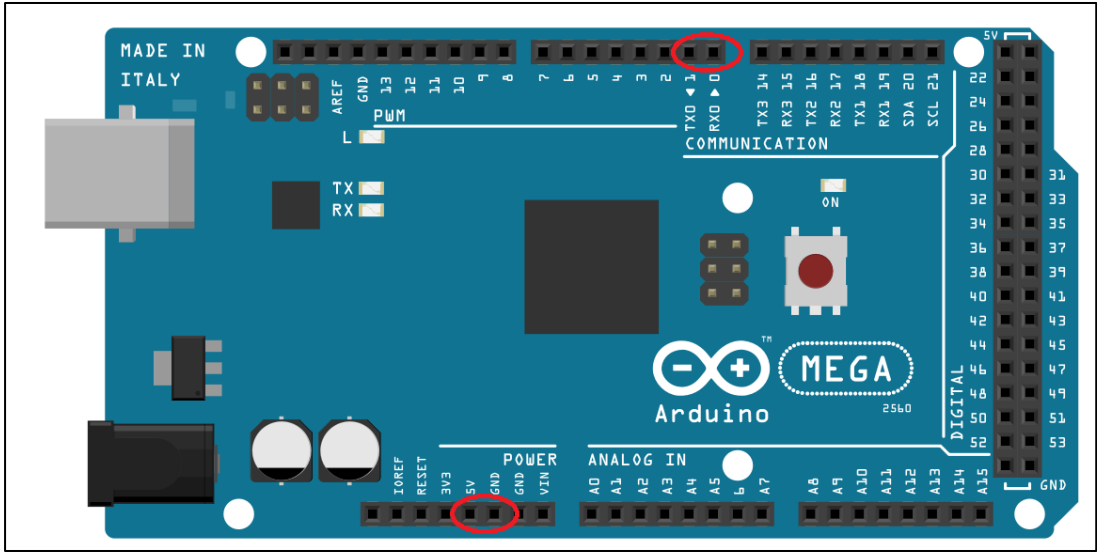


Figura 34. Diagrama de pines de un Arduino Mega

Fuente: [18]

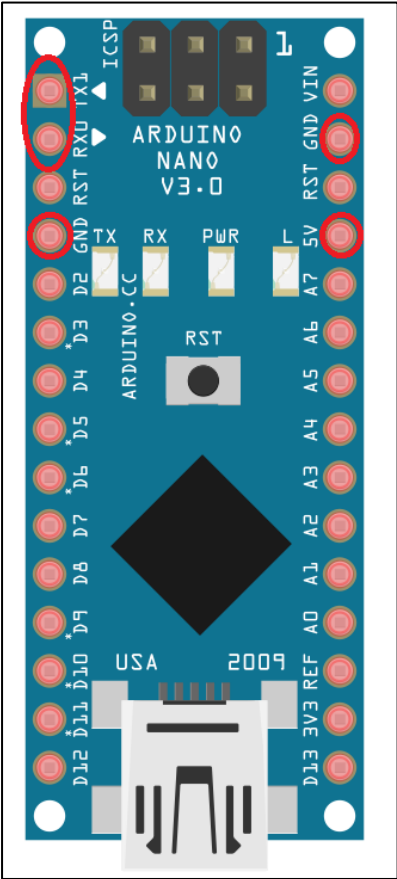


Figura 35. Diagrama de pines de un Arduino Nano

Fuente: [18]

## 7.2. Implementación a nivel de software

A continuación, se hará mención de la configuración e implementación de software de los XBee, es aquí donde obtienen su función ya sea como de coordinador, enrutador o dispositivo final. En ocasiones anteriores se dio a conocer la topología seleccionada para este proyecto que es la topología estrella. Si se observa la Figura 16, entonces el encapsulado 1, 2 y 4 serán configurados como enrutadores mientras que el encapsulado 3 será el coordinador. Éste tiene el poder de comunicarse con todos los enrutadores y a su vez proveerle a los encapsulados 1 y 2 un puente de comunicación con el encapsulado 4.

A continuación, se muestra la configuración de cada enrutador y los requisitos que debe cumplir cada configuración para encontrarse dentro de la misma red para establecer un canal de comunicación. Para empezar la configuración se necesita un kit de conectividad que muestra en la Figura 36, el cual es similar a un módulo de XBee. Este dispositivo posee un puerto mini USB y un cable de mini USB a USB para conectar este módulo a la computadora.



Figura 36. Módulo Digi para configurar XBee

Fuente: [14]

La Figura 37 muestra como el programa XCTU reconoce los XBee, junto a su función y dirección MAC. Es importante resaltar que conocer la función del XBee y MAC es vital, ya que utilizando el firmware de ZigBee permite establecer la topología estrella para lograr comunicar los módulos. Además, la dirección MAC distingue todos los XBee, de esta manera evitar la confusión entre coordinadores y enrutadores. La Figura 37 muestra la configuración de red para todos los enrutadores mientras que la Figura 38 muestra la configuración de red para el coordinador. Es importante notar que el PAN ID debe de coincidir entre los enrutadores y coordinadores y que además el parámetro JV (verificación de canal) debe estar habilitado mientras que el parámetro CE (habilitación de coordinador) debe de estar deshabilitado, esto es para darle a conocer al XBee que debe de cumplir la funcionalidad de enrutador dentro del PAN ID o la red 1234 como lo muestra la Figura 37.

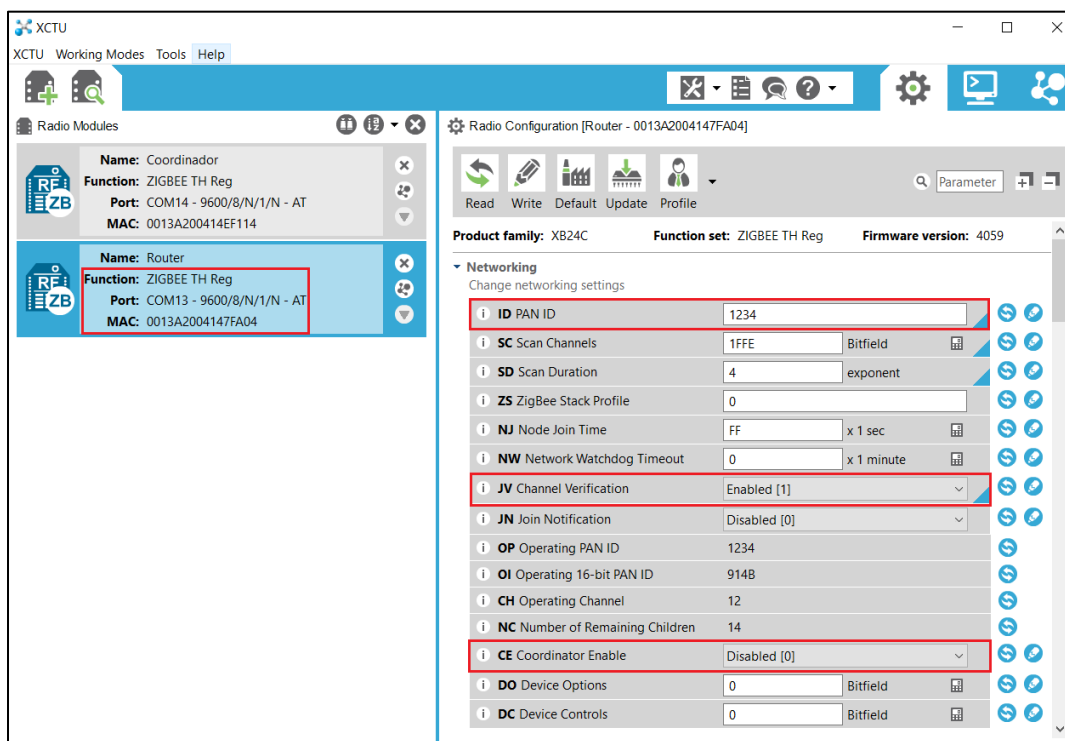


Figura 37. Configuración de red de los enrutadores

Fuente: Elaboración Propia utilizando XCTU

En la Figura 38 es visible que el PAN ID coincide con la Figura 37, esto significa que están configurados para trabajar en la misma red y que además el parámetro JV



esta deshabilitado y el parámetro CE (habilitación de coordinador) está habilitado, esto hace que el XBee cumpla la función de coordinador dentro de la red 1234.

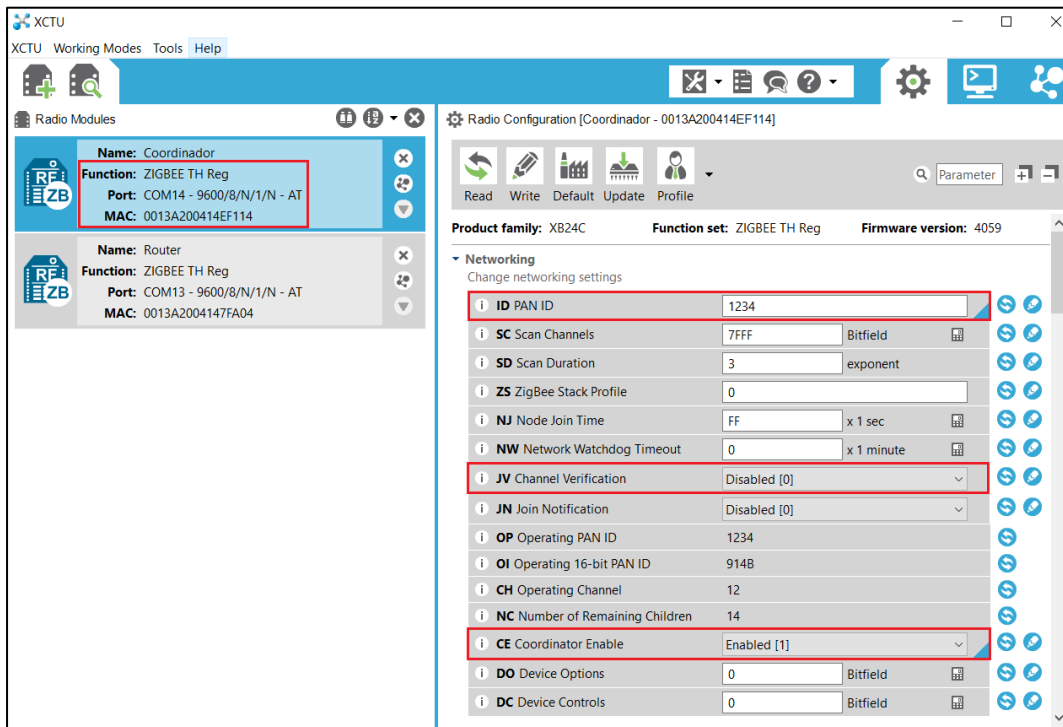


Figura 38. Configuración de red del coordinador

Fuente: Elaboración Propia utilizando XCTU

Las Figuras 39 y 40 muestran las configuraciones de direccionamiento para los enrutadores y el coordinador respectivamente.

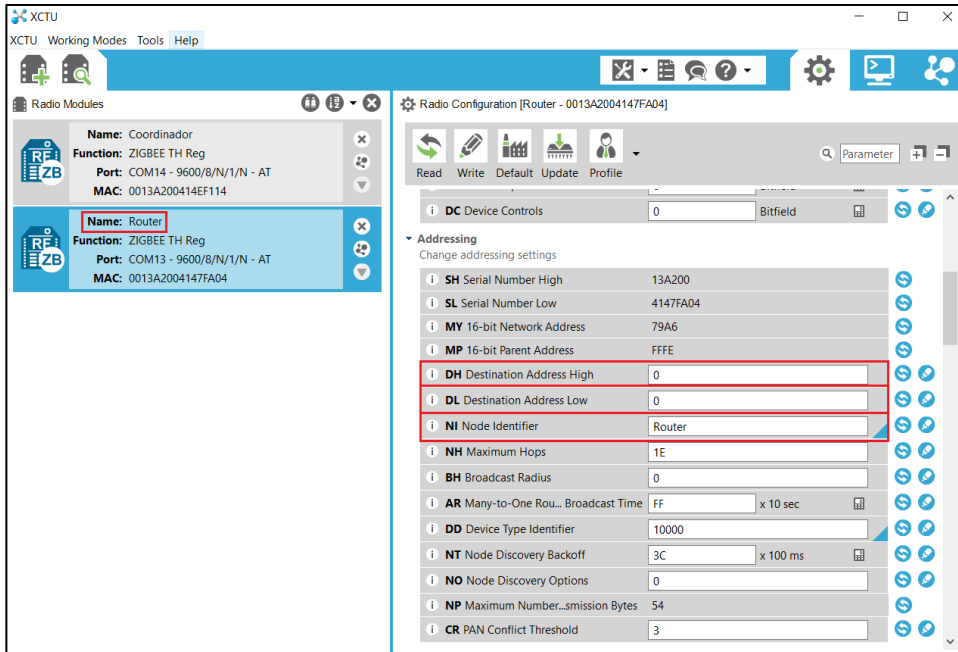


Figura 39. Configuración de direccionamiento de los enrutadores

Fuente: Elaboración Propia utilizando XCTU

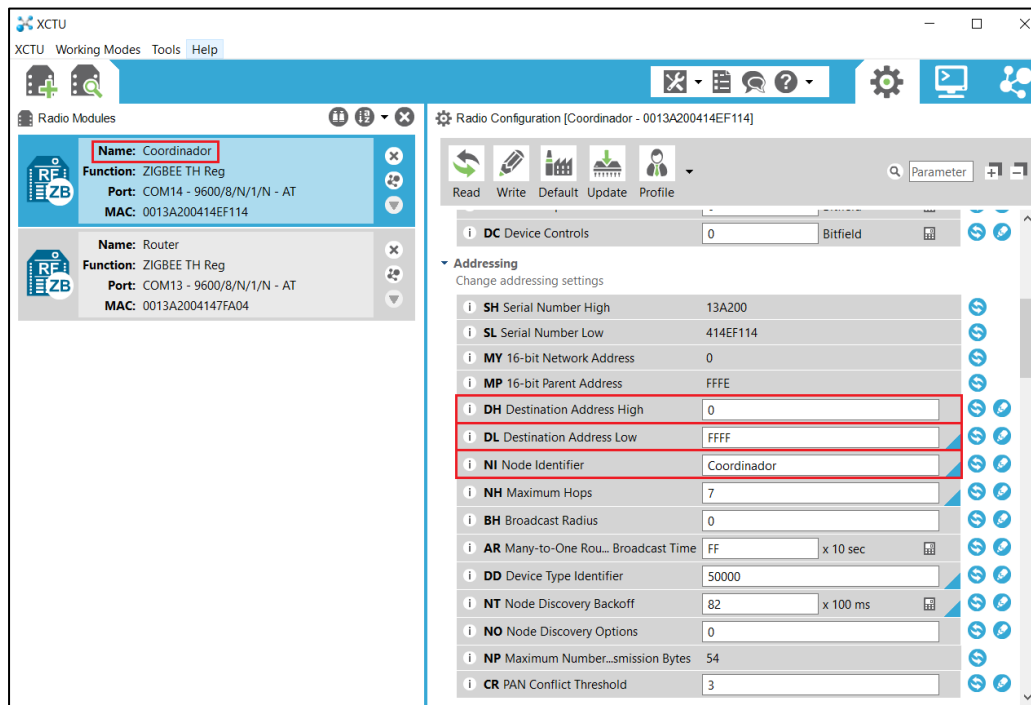


Figura 40. Configuración de direccionamiento del coordinador

Fuente: Elaboración Propia utilizando XCTU

Se nota que en la Figura 39 el parámetro DH (dirección de destino alto) y el parámetro DL (dirección de destino bajo) se encuentran bajos. Estos valores simbolizan que la dirección de destino está predeterminada a cualquier coordinador dentro de la red, como nuestra red solo involucra un coordinador entonces la topología estrella está en implementación, si existiera más de un coordinador dentro de la red o PAN ID la topología se convertiría en malla. El último parámetro resaltado en la figura muestra NI (identificador de nodo), este espacio se encuentra la palabra Enrutador, esto con la finalidad de proveerle una etiqueta al XBee de manera que la identificación ya no se haría con la dirección MAC sino con la etiqueta.

Lo mismo sucede con la configuración de direccionamiento del coordinador como se muestra en la Figura 40, la única diferencia perteneciente a este, es el parámetro DL (dirección de destino bajo), asignándole el valor FFFF que al igual que la configuración de direccionamiento de red común y corriente, este valor representa una difusión a todos los dispositivos que se encuentren dentro de la red. En la Figura 41 se muestra una ilustración de la configuración de red inalámbrica.

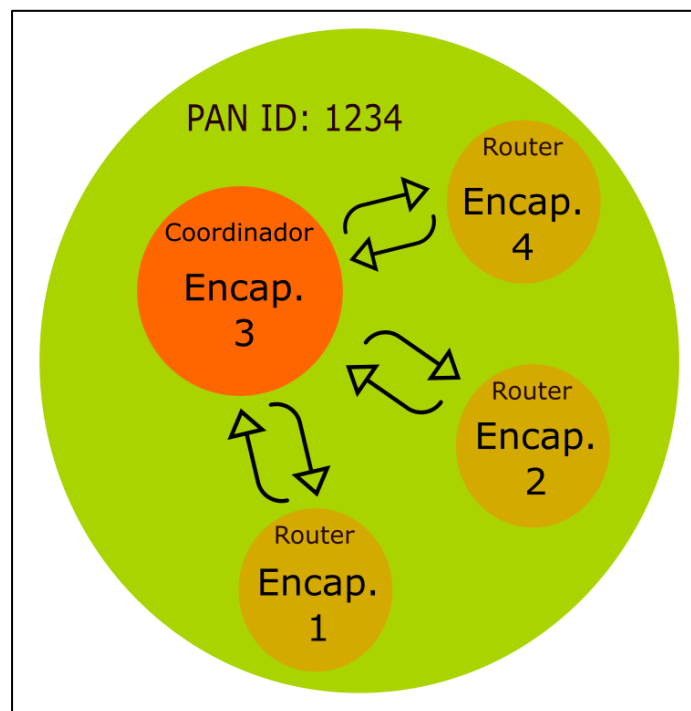


Figura 41. Ilustración de la configuración de red inalámbrica

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que todos los enrutadores se comunican solamente con el coordinador y el coordinador tiene la flexibilidad de comunicarse individualmente con cada módulo o puede realizar una difusión de algún mensaje a todos los enrutadores al mismo tiempo. Para este proyecto en particular, el coordinador estará difundiendo la información que recibe de los encapsulados 1 y 2, mientras que el único enrutador que estará leyendo esta información es el encapsulado 4, el cual se encarga de decodificar la información y subirla a internet. Además, es notable que el círculo exterior representa la red en la que se encuentran los enrutadores y el coordinador como se ha mencionado con anterioridad.

## **8. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE**

En esta sección se dará a conocer los distintos diagramas de flujo de cada encapsulado que hacen que el sistema funcione correctamente, asimismo describir el orden secuencial entre distintas funciones tales como, captura de datos, procesar un umbral para el control de riego, transmisión y recepción de datos y subir datos a la nube.

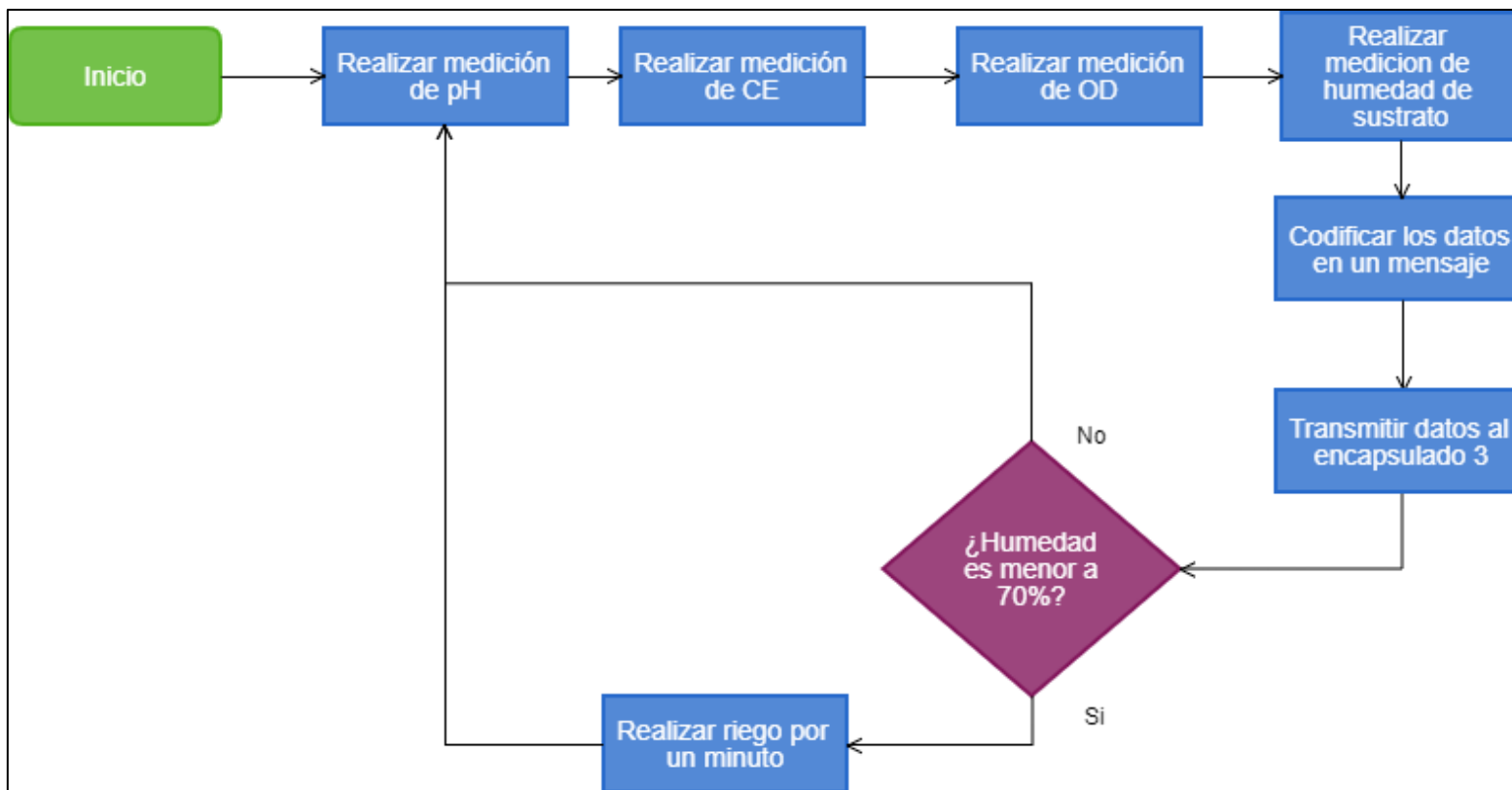


Figura 42. Diagrama de flujo del encapsulado 1

Fuente: Elaboración Propia

## 8.1. Diagrama de flujo y codificación del encapsulado 1

En la Figura 42 se puede observar el diagrama de flujo correspondiente del primer encapsulado, que se encarga de medir pH, CE, OD y humedad de sustrato, así como de realizar el control del riego y transmitir estos datos al encapsulado 3. Es importante resaltar que las mediciones se realizan cada segundo en este encapsulado, esto con la finalidad de proveerle a los sensores el tiempo suficiente para que adquieran la información y que además el tiempo de riego es de aproximadamente un minuto. Esto se debe a que el riego se realiza por goteo y este lapso suele ser suficiente para superar el umbral de 70%.

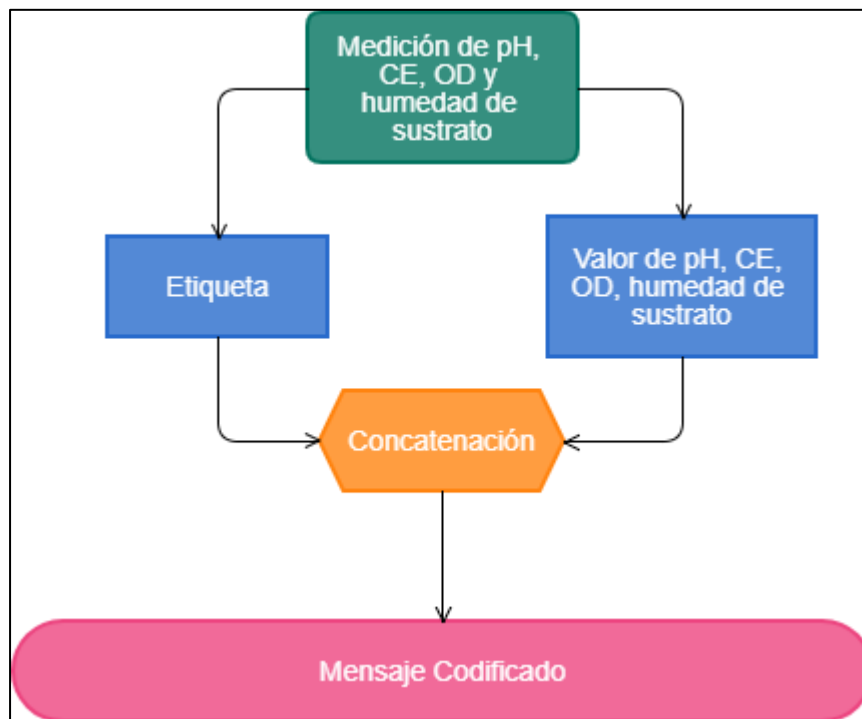


Figura 43. Codificación del mensaje del encapsulado 1

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, la codificación de los datos se realiza de la siguiente forma, al medir un valor de pH, por ejemplo, se concatena una cadena de caracteres con la palabra “pH” seguido por un “/” luego el dato y por un último otro “/”, en la Figura 43 se muestra cómo se concatenan los datos para llevar acabo la codificación.

## 8.2. Diagrama de flujo y codificación del encapsulado 2

En la Figura 44 se muestra el diagrama de flujo del segundo encapsulado. Éste tiene la responsabilidad de medir la temperatura ambiental, humedad ambiental y la intensidad ultravioleta, y realizar la codificación de la misma manera que se describió para el encapsulado 1 para enviarla al encapsulado 3, la ilustración de codificación del mensaje para este encapsulado se encuentra en la Figura 45.

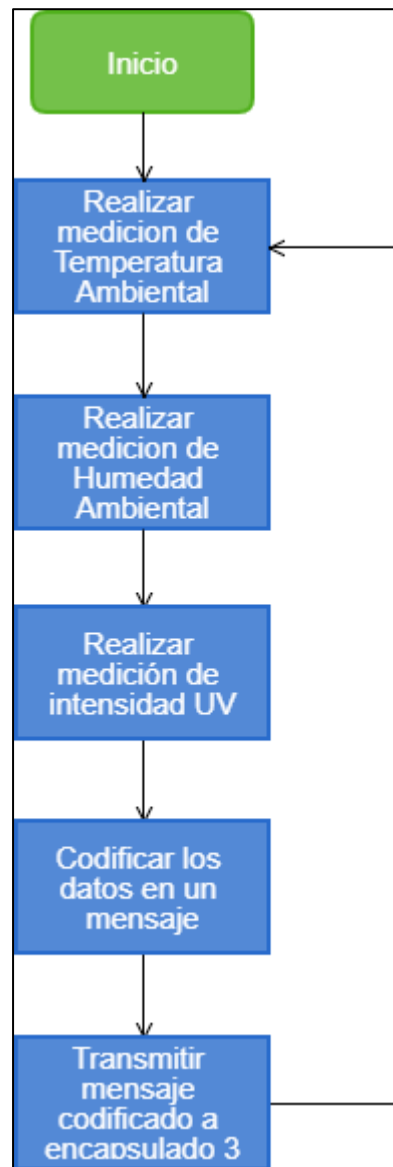


Figura 44. Diagrama de flujo del encapsulado 2

Fuente: Elaboración Propia

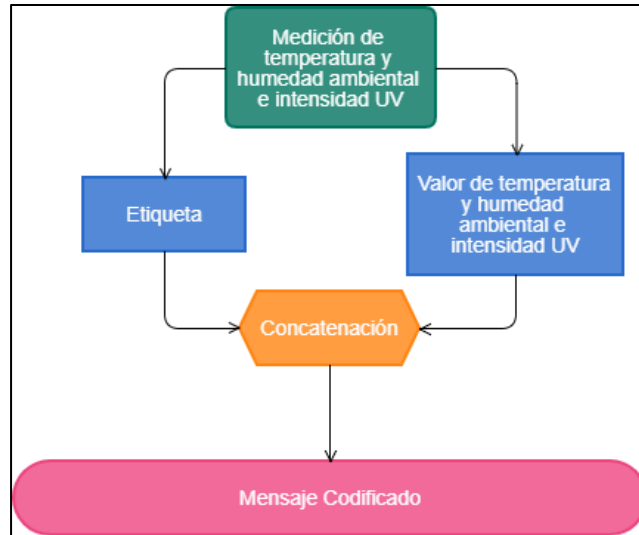


Figura 45. Codificación del mensaje del encapsulado 2

Fuente: Elaboración Propia

### 8.3. Diagrama de flujo del encapsulado 3

Este encapsulado presenta un diagrama de flujo sencillo ya que este módulo solo es un puente de comunicación entre los encapsulados 1, 2 y el encapsulado 4. Su función principal se basa en esperar un mensaje de los encapsulados 1 y 2 y redirigirlo hacia el encapsulado 4. En la Figura 46 se muestra el diagrama de flujo de este encapsulado.

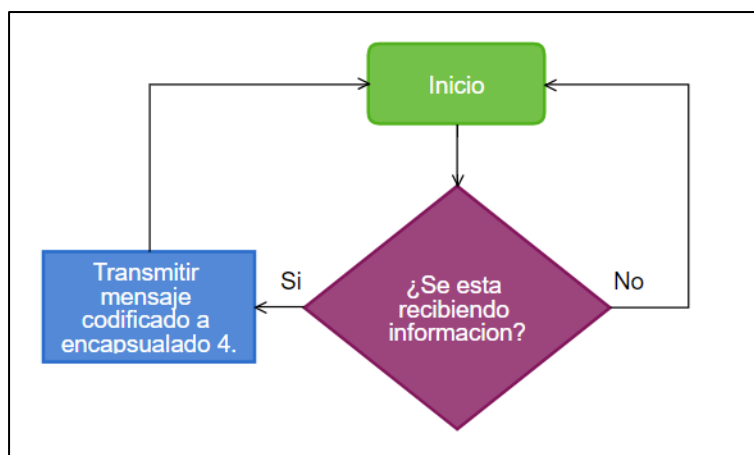


Figura 46. Diagrama de flujo del encapsulado 3

Fuente: Elaboración Propia



#### 8.4. Diagrama de flujo y decodificación del encapsulado 4

El diagrama de flujo de este módulo cumple la tarea de esperar algún mensaje que proviene del encapsulado 3. Cuando se recibe un mensaje, este se encarga de decodificar el mensaje entrante mediante una función de separación en Python. Una vez que los datos están separados se guardan en variables y se realiza una espera de un minuto para finalmente subirla a la plataforma de Ubidots. La espera se realiza con la finalidad de no acumular muchos datos en la gráfica. La Figura 47 muestra el diagrama de flujo para este encapsulado.

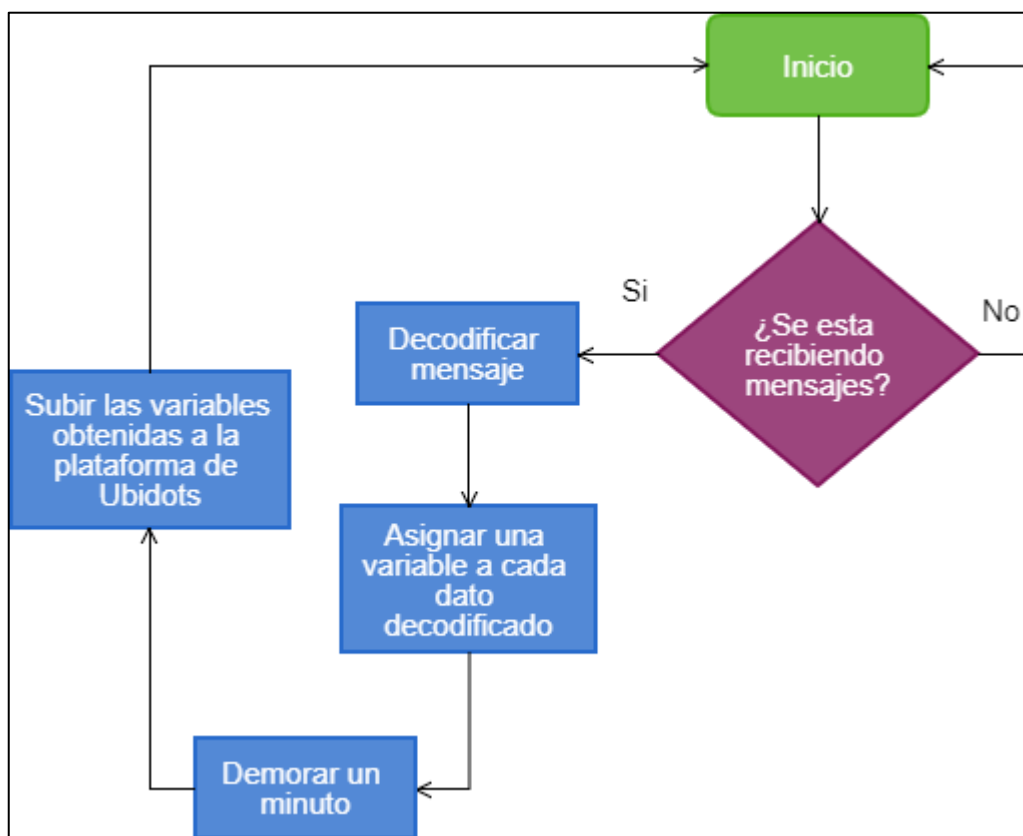


Figura 47. Diagrama de flujo del encapsulado 4

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 48 muestra más a detalle el proceso de decodificación del mensaje de este módulo, se puede observar como los mensajes entran por un tipo de filtro que separa la información mediante la identificación de una cadena de caracteres que tiene el siguiente carácter “/”.

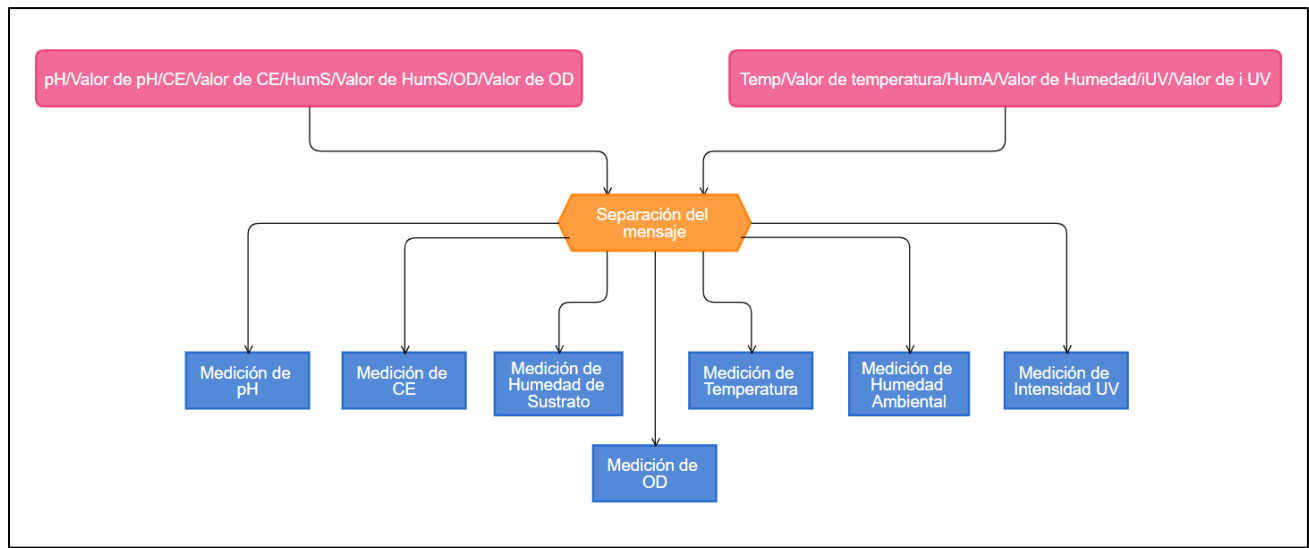


Figura 48. Decodificación del mensaje del encapsulado 4

Fuente: Elaboración Propia

## 8.5. Manipulación de datos en la plataforma Ubidots

Una vez que los datos son finalmente decodificados en el encapsulado 4, estos son enviados a la plataforma de Ubidots utilizando código Python. En la nube estos datos son manipulados para formar diferentes tipos de gráficos, tales como gráficos de dispersión, de doble eje, de barras, histogramas, entre otros. La Figura 49 muestra el tablero de instrumentos donde se encuentran las gráficas creadas para cada variable biométrica, las gráficas generadas actualmente son de barras y muestra las 5 últimas mediciones realizadas.

Cabe mencionar que cada gráfico contiene una flecha que está encerrada en un cuadro rojo. Esto permite adquirir código empotrado en HTML lo que permite extraer estas gráficas y publicarlas en la página web creada en Wix. La Figura 50 muestra cómo se obtuvo este código empotrado que provee Ubidots.

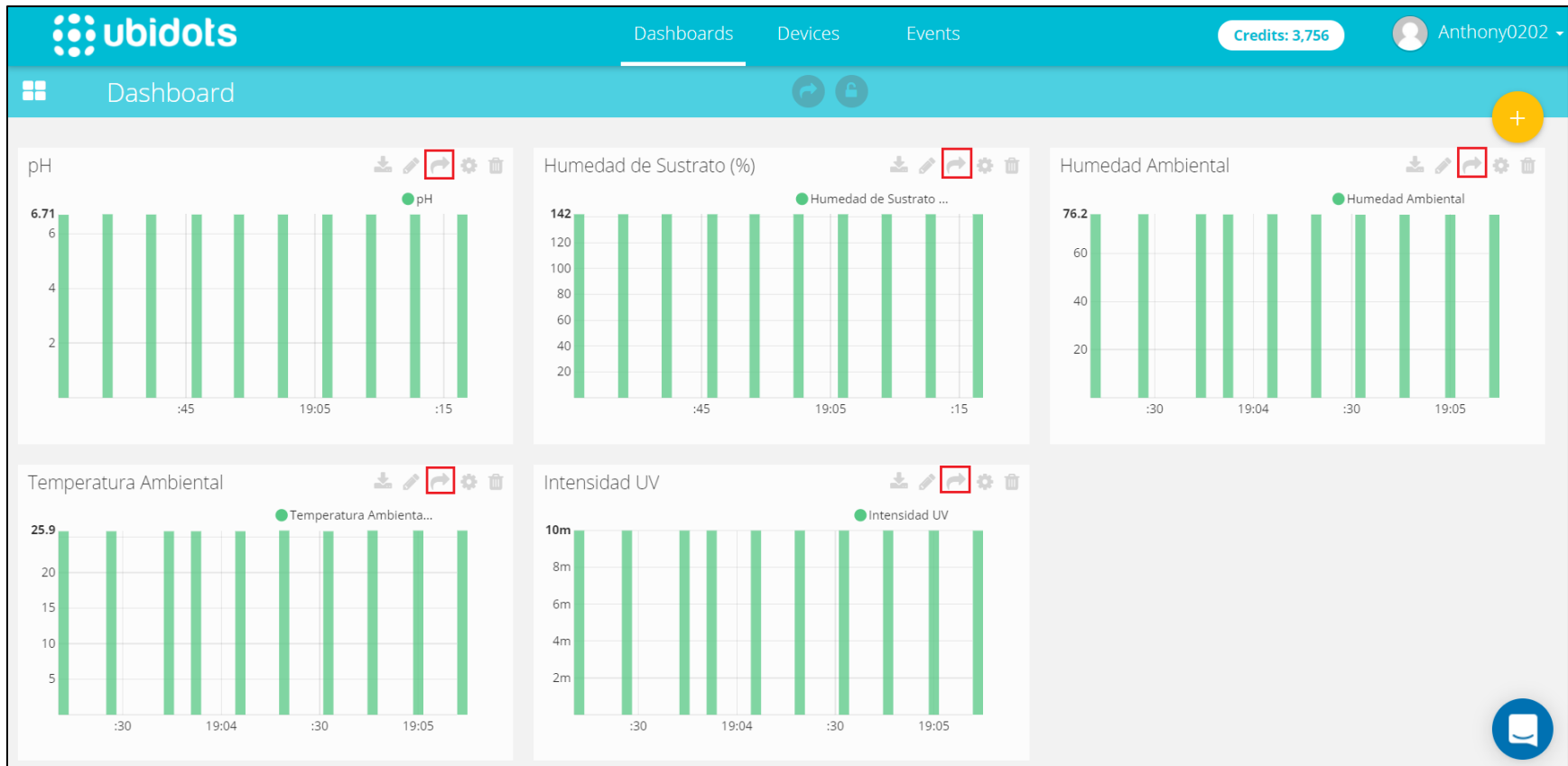


Figura 49. Manipulación de los datos en la plataforma Ubidots

Fuente: Elaboración Propia utilizando Ubidots

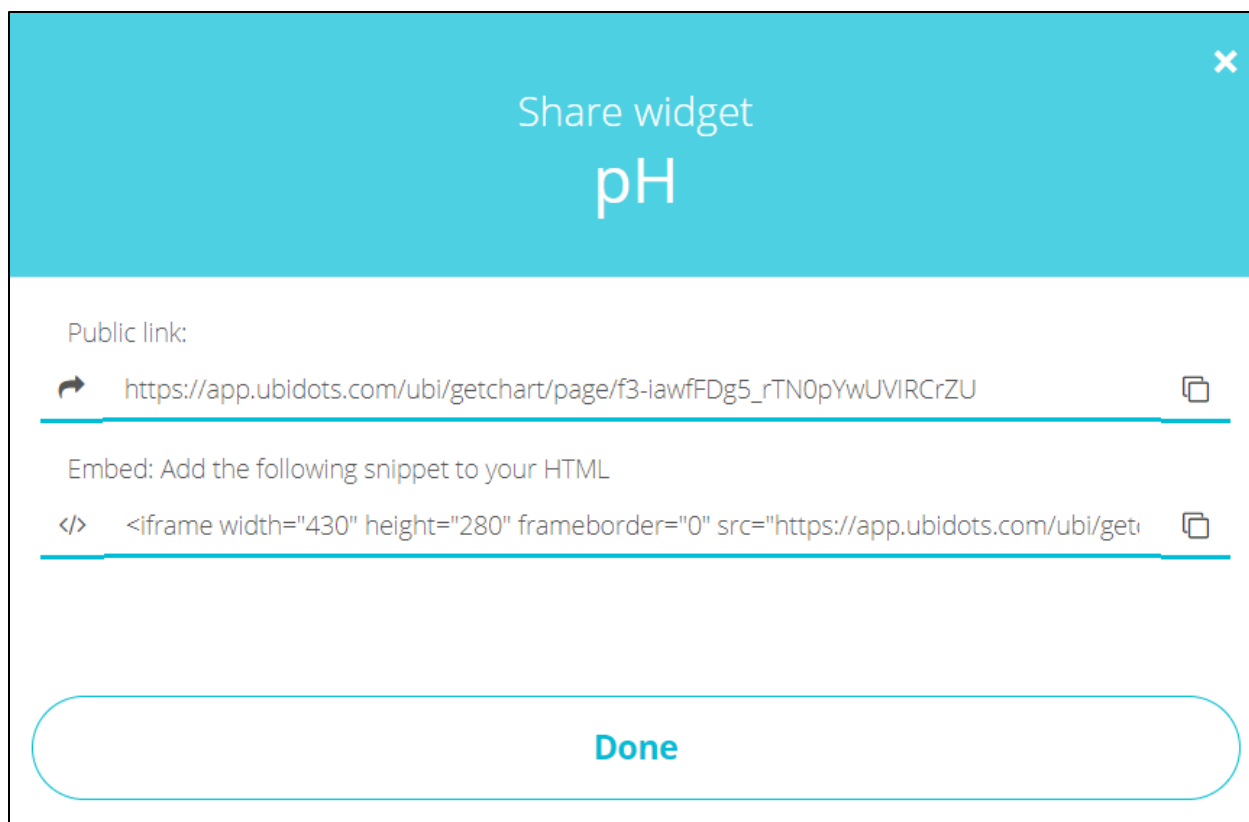


Figura 50. Obtención del código empotrado en HTML

Fuente: [15]

## 8.6. Diseño e información sobre la página web desarrollada en Wix

En apartados anteriores se ha mencionado la publicación de datos en algún sitio web. Gracias al código empotrado que brinda Ubidots y la versatilidad que tiene la interface de Wix es posible extraer las gráficas necesarias para cumplir la meta. En el siguiente link brinda el acceso a la página web diseñada para adecuarse a las necesidades del proyecto (<https://anthamaalva.wixsite.com/invernatec>). El diseño e implementación de la página web fue creada sobre una cuenta gratuita, en consecuencia, la página cuenta con anuncios de Wix y además se prohíbe la creación de un dominio propio. A continuación, se muestra en la Figura 51 el encabezado de la página para identificar los diferentes elementos que posee.



Figura 51. Encabezado de la página web

Fuente: Elaboración Propia utilizando Wix

En la figura anterior muestra el encabezado de la página web, ésta contiene un menú horizontal que contiene los botones de “Home”, “About” y “Dashboard”, así como un anuncio de Wix y un menú verticalmente dinámico. El botón de Home despliega el inicio de la página que muestra la Figura 51, el botón de “About” desplaza la página a una sección que muestra información general de proyecto, finalmente el botón de Dashboard desplaza al usuario a una página que muestra las gráficas de las mediciones tomadas. Estas gráficas son importadas mediante la utilización de código empotrado proveído por Ubidots como se mencionó anteriormente, en la Figura 52 se puede observar la sección donde la página web publica los datos medidos.

Es evidente notar que las gráficas publicadas son las mismas que presenta la Figura 49 y que además el botón de Dashboard se encuentra resaltado, esto da a conocer la ubicación actual del usuario dentro de la página web. Este comportamiento también se puede observar en la Figura 51. Desde esta sección se puede acceder de vuelta a Home y observar la imagen que muestra la Figura 51.

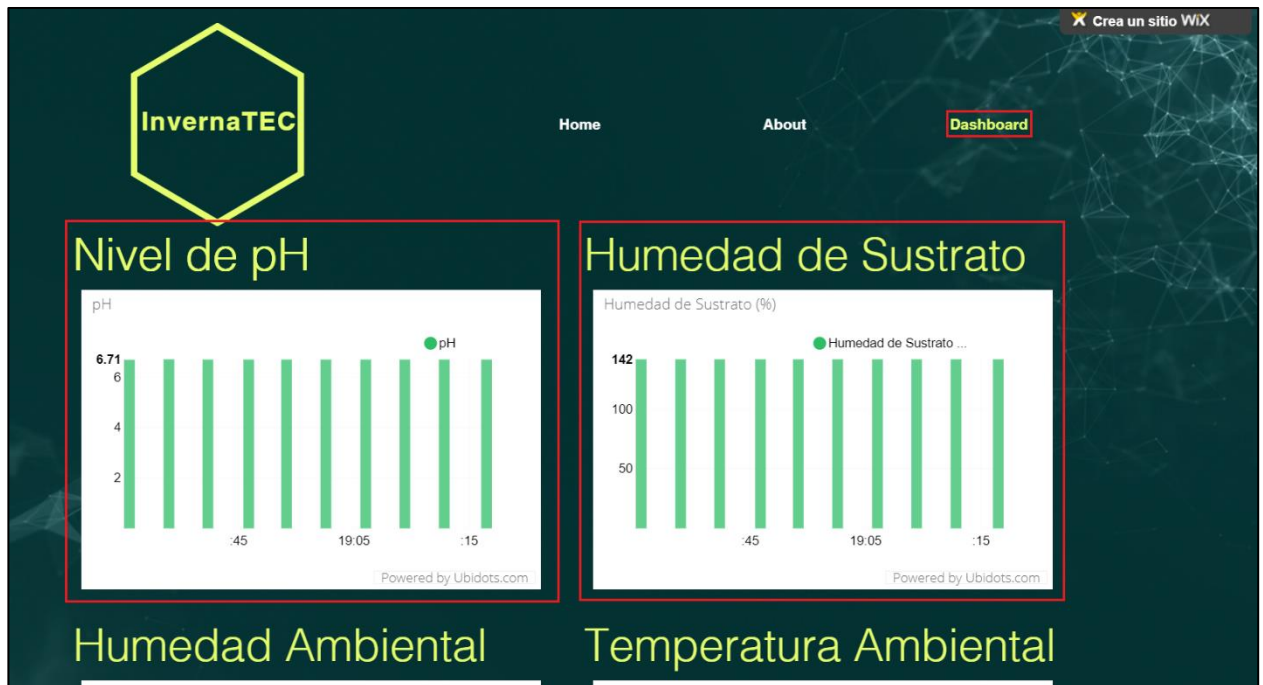


Figura 52. Sección de publicación de gráficas en la página web

Fuente: Elaboración Propia utilizando Wix

## 9. Pruebas realizadas

En este apartado se da a conocer todas las pruebas realizadas al prototipo propuesto, eso incluye pruebas de medición, pruebas de transmisión y pruebas de visualización.

### 9.1. Pruebas de medición

Esta sección muestra los valores obtenidos de los encapsulados 1 y 2, se toma en consideración que las mediciones tomadas en el momento de realizar las Figuras 53 y 53 son en las condiciones del laboratorio donde se está construyendo el prototipo y no en condiciones reales de un sistema hidropónico.

```
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/1/pH/6.78
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/1/pH/6.79
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/1/pH/6.78
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/2/pH/6.78
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/2/pH/6.79
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/1/pH/6.78
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/1/pH/6.78
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/1/pH/6.78
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/1/pH/6.78
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/1/pH/6.78
EC/0.00/TDS/0/SALi/0.00/OD/9.81/HumS/2/pH/6.78
```

Figura 53. Mediciones realizadas en el encapsulado 1

Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionó anteriormente, los datos fueron realizados en condiciones de laboratorio por lo que el sensor de conductividad eléctrica se encuentra en 0 ya que esta al aire y no sumergido en ningún líquido. Mientras que el sensor de oxígeno disuelto muestra 9.81 mg/L (miligramos por litro) o ppm (partículas por millón) ya que este sensor también está al aire y no sumergido en ningún líquido al igual que el sensor de conductividad eléctrica. El sensor de humedad de sustrato también se encuentra en las mismas condiciones que los dos sensores anteriores, por lo que muestra valores de 1 o 2 ya que ésta variable biométrica se mide porcentualmente, esto implica un nivel de humedad de sustrato bajo ya que no se encuentra enterrado en ningún sustrato. Por último, el sensor de pH se encuentra sumergido en un líquido con un nivel de pH de 6.8 el cual tiene un 0.02 de incertidumbre.

```
Hum/70.60/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.40/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.30/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.30/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.30/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.30/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.30/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.30/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.30/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.30/Temp/23.40/iUV/0.01
Hum/70.20/Temp/23.40/iUV/0.01
```

Figura 54. Mediciones realizadas en el encapsulado 2

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 54 se puede observar los valores de humedad y temperatura ambiental, así como la intensidad ultravioleta, es observa que la humedad presenta un valor de 70% mientras que la temperatura muestra un valor de 23.4 y que la intensidad ultravioleta muestra un valor muy cercano a 0, estos valores se deben a las condiciones del laboratorio ya que en el momento de realizar las mediciones el aire acondicionado se encontraba en 23, por lo que nos indica una incertidumbre de 0.4 y la intensidad ultravioleta se debe a que las mediciones fueron realizadas de noche indicando su correcto funcionamiento.

## 9.2. Pruebas de transmisión

En este apartado se da a conocer el flujo de la transmisión de datos a través de los módulos. En la Figura 55 se muestra que las mediciones de los encapsulados 1 y 2 y la manera en la que se recibe en el encapsulado 3 respectivamente, para luego ser enviada al encapsulado 4 en la Figura 56.

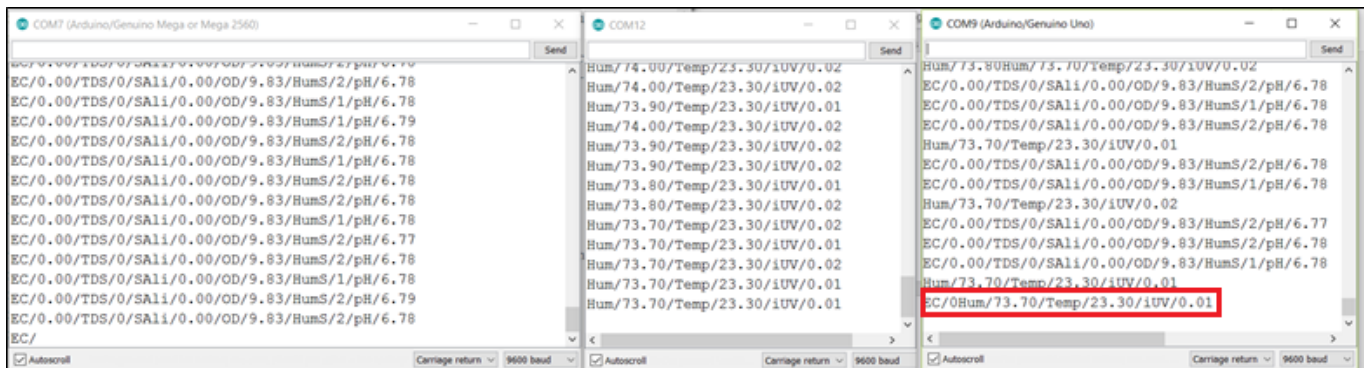


Figura 55. Transmisión completa a través de los encapsulados 1, 2 y 3

Fuente: Elaboración Propia

En la figura anterior se observa una irregularidad en el recibimiento de información en el encapsulado 3 marcada con un rectángulo rojo, esta información no afecta o altera los datos de ninguna manera, ya que esta información es filtrada cuando la Raspberry Pi 3 hace lectura del puerto serie y solo deja pasar las lecturas sin irregularidades como el resto de mediciones que presenta la Figura 55.



```
EC/0.00/TDS/0/SAlI/0.00/0D/9.84/HumS/1/pH/6.79
EC
0.00
TDS
0
SAlI
0.00
0D
9.84
HumS
1
pH
6.79

Hum/74.70/Temp/23.30/iUV/0.01
Hum
74.70
Temp
23.30
iUV
0.01
```

Figura 56. Recibimiento de información

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 56 muestra como la Raspberry Pi 3 recibe la información que proviene del encapsulado 3 y de la misma manera la decodifica para luego subirla a internet. Se observa como en esta ocasión no hay ninguna irregularidad entre los datos recibidos, es por esto que se muestra la Figura 57, la cual muestra un mensaje irregular y como el programa ignora por completo este mensaje para luego seguir decodificando los mensajes correctos.

```
EC
0.00
TDS
0
SAlI
0.00
0D
9.67
HumS
1
pH
6.78
EC/0.00/TEC/0.00/TDS/0/SAlI/0.00/0D/9.67/HumS/2/pH/6.78
Hum/82.40/Temp/24.10/iUV/0.01
Hum
82.40
Temp
24.10
iUV
0.01
```

Figura 57. Recibimiento de un mensaje irregular

Fuente: Elaboración Propia

### 9.2.1. Generación de alertas

Es importante resaltar los indicadores de los objetivos en este apartado, los cuales indican la generación de alertas en caso de que el mensaje no se envíe de manera correcta. Es por esto que cada vez que el puerto serie de la Raspberry Pi 3 falla a la hora de hacer una lectura, se genera una alerta notificando por mensaje SMS o correo electrónico que el mensaje se recibió de manera incorrecta y que se está retransmitiendo el mensaje. En la Figura 58 se muestra las condiciones en la que se genera la alerta, ya que alerta adquiere un valor mayor a 10 cuando el encapsulado 4 falla en la recepción de un dato y cuando los mensajes se adquieren de manera correcta se establece la alerta en 0.

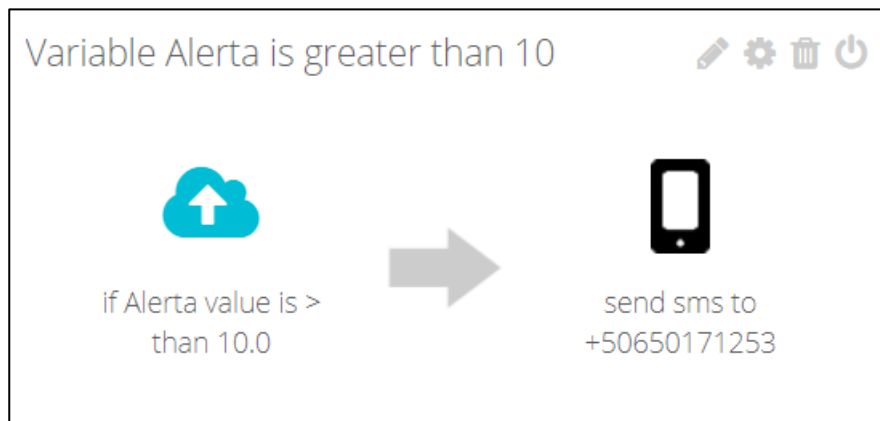
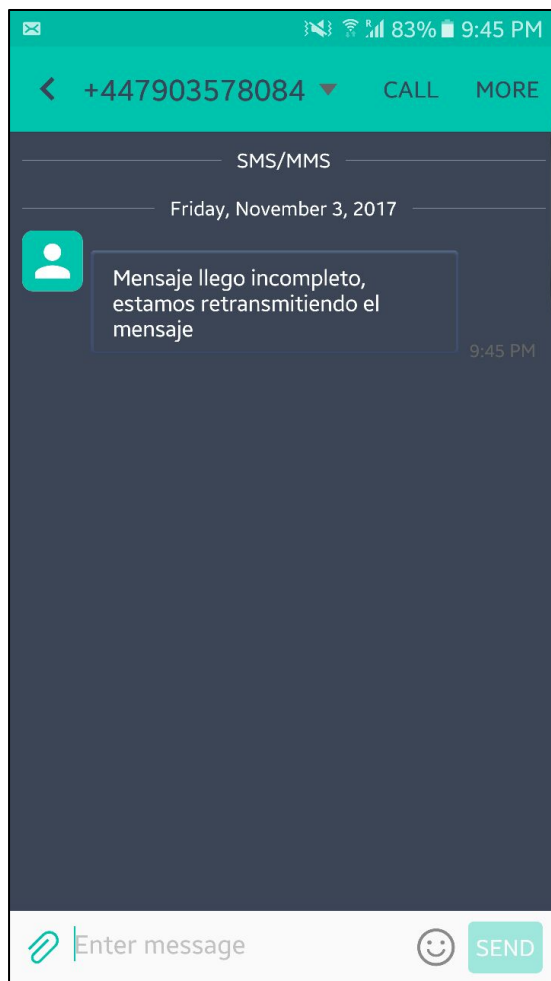


Figura 58. Generación de alerta en caso de fallos en la lectura

**Fuente:** Elaboración Propia utilizando Ubidots

La Figura 59 muestra la notificación del mensaje en caso de una falla en la transmisión.



*Figura 59. Notificación de alerta*

**Fuente:** Elaboración Propia utilizando Ubidots

### **9.3. Pruebas de visualización**

En este apartado se visualizará los datos una vez que son subidos a internet, es por esto que en la Figura 60 muestra las variables subidas y el momento en que se subieron esos datos.

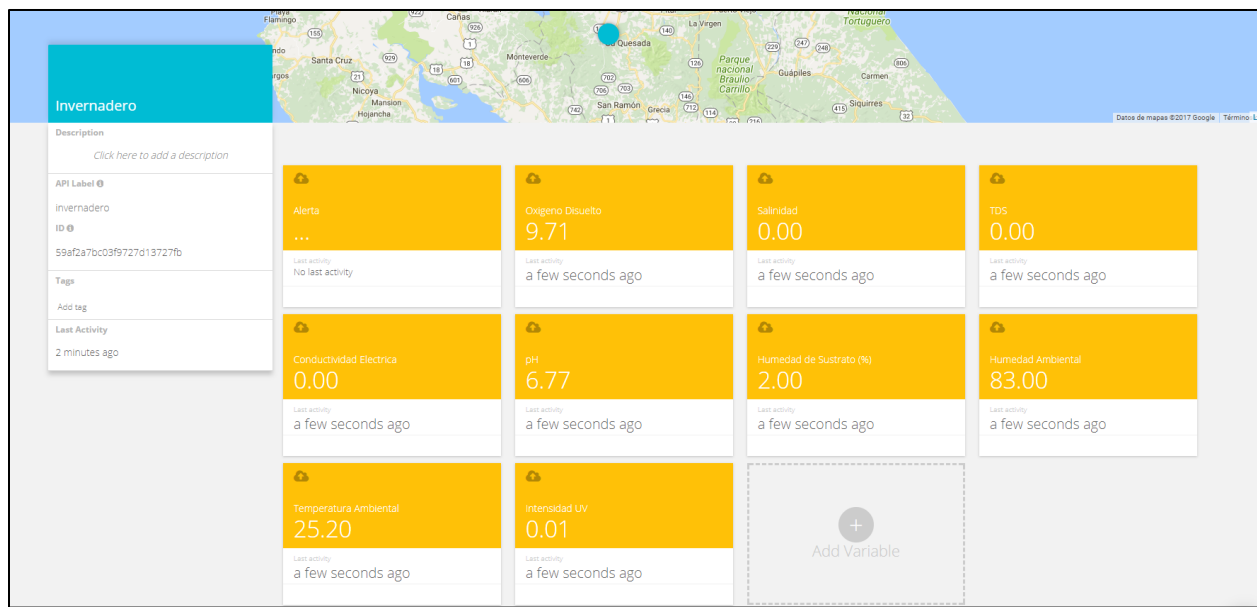


Figura 60. Visualización de los datos en Ubidots

Fuente: Elaboración Propia utilizando Ubidots

Luego estos datos pasan a ser graficados en el tablo que proporciona la plataforma Ubidots, en la Figura 61 se muestran los datos junto a la hora en que se subió ese dato en graficas de barras para facilitar la visualización de los mismos.

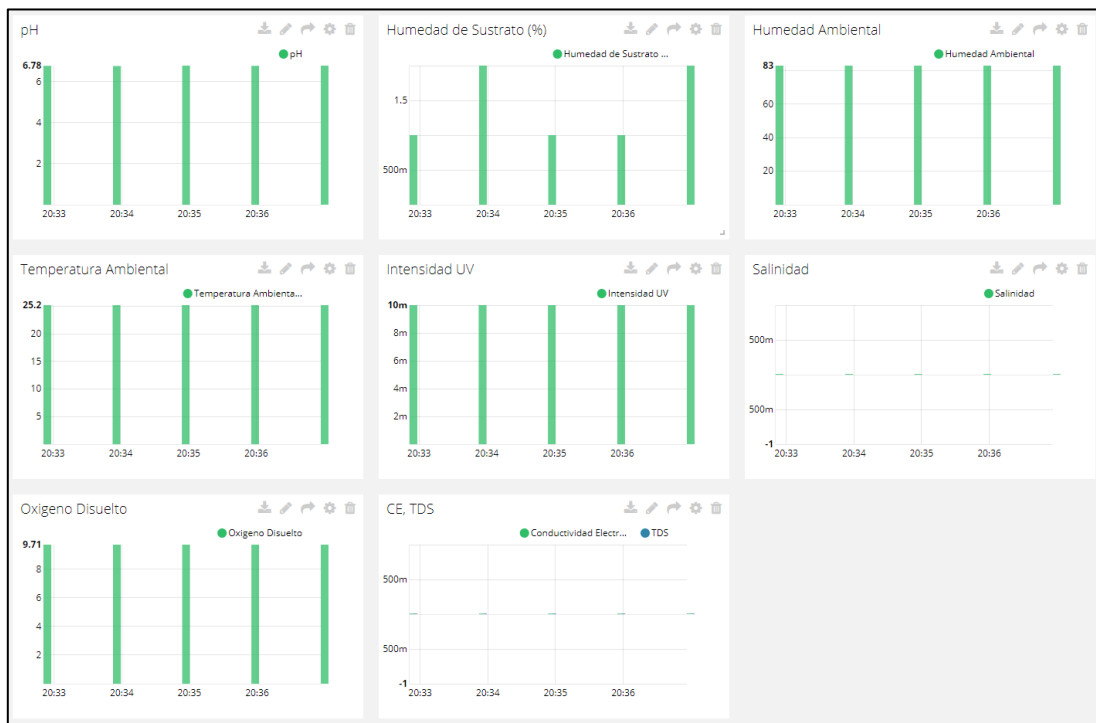


Figura 61. Visualización de los datos en graficas de barras

Fuente: Elaboración Propia utilizando Ubidots

Por último, como se ha mencionado en ocasiones anteriores, estas graficas son extraídas mediante una línea de código en HTML y son publicados en una página web. La Figura 62 muestra como los datos finalmente llegan a ser visualizados por los usuarios.

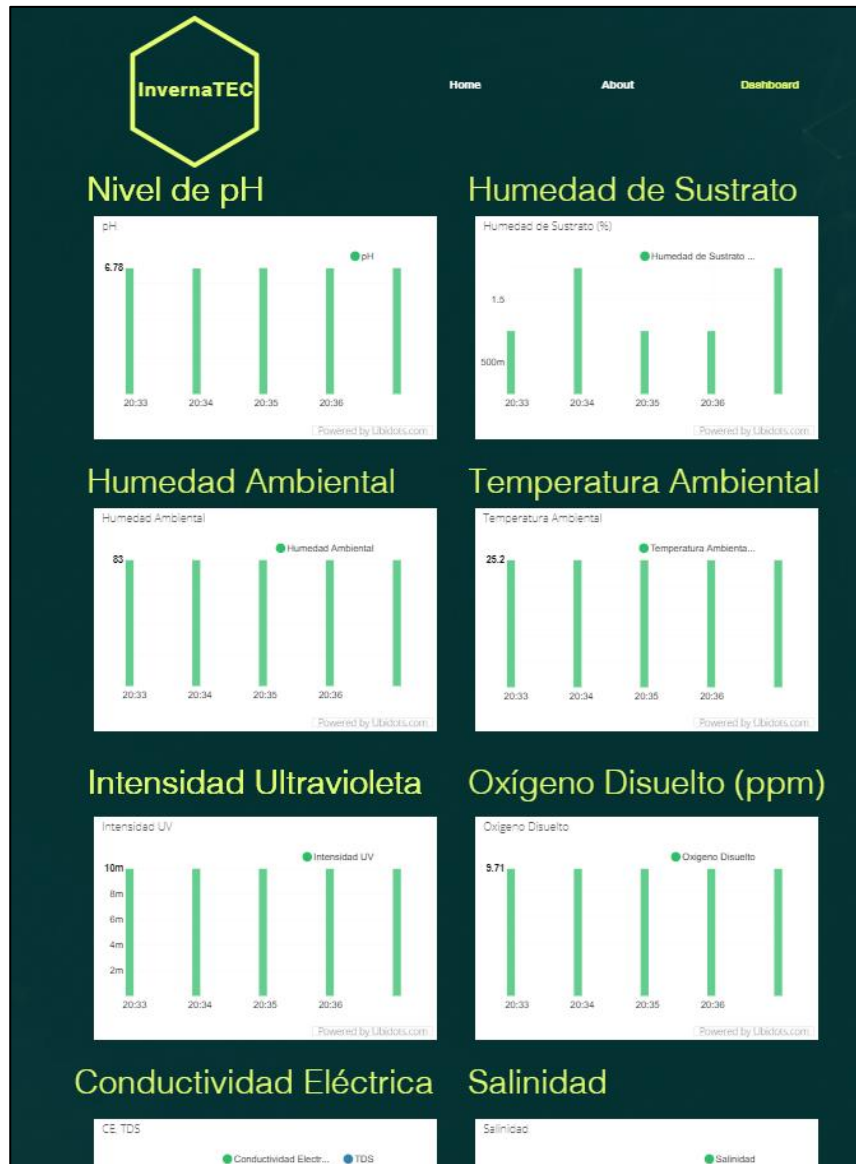


Figura 62. Visualización final de los datos en Wix

Fuente: Elaboración Propia utilizando Wix

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 10.1. Conclusiones

- Los sensores y microcontroladores seleccionados para el sistema de adquisición de datos de manera inalámbrica son capaces de satisfacer las necesidades del proyecto.
- Los esquemáticos diseñados permite el correcto funcionamiento de los sistemas utilizados para adquirir la información, comunicar los módulos de manera inalámbrica y alimentación.
- La transmisión de datos por medio de UART permite al sistema de adquisición de datos comunicarse efectivamente con los otros módulos.
- La configuración del sistema de comunicación inalámbrica permite la comunicación e intercambio de información entre módulos, comportándose como una red moderna.
- La codificación y decodificación de información permite comprimir varios datos en un solo mensaje, removiendo la necesidad de enviar varios mensajes por varias mediciones.
- La alimentación por panel solar de los encapsulados 2 y 3 permite que la batería perdure por más tiempo de lo normal, lo que permite prolongar el tiempo de funcionamiento.
- El diseño e implementación de la página web permite al usuario acceder la información de una manera sencilla y facilita la toma de decisiones.

- La página web muestra con certeza los datos medidos de los diferentes sensores que fueron implementados en este proyecto.
- Las pruebas realizadas a la implementación del sistema de riego permitieron conocer los tiempos necesarios de riego para que los niveles de humedad alcanzaran el umbral establecido.
- Las pruebas realizadas a la implementación del sistema de comunicación inalámbrica permitieron obtener diferentes interacciones a cuanto la codificación y decodificación de los mensajes.
- El sistema electrónico inalámbrico de adquisición de datos contribuye a la toma de decisiones en los invernaderos del Tecnológico de Costa Rica.

## **10.2. Recomendaciones**

Debido a que este proyecto solo presenta un prototipo de un sistema electrónico inalámbrico de adquisición de datos y control de riego automático, se plantean recomendaciones para futuras iteraciones y mejoras del sistema.

- Desarrollar los esquemáticos en un circuito impreso para compactar los componentes, para disminuir el espacio que ocupa cada encapsulado.
- Diseñar e implementar una base de datos que almacena los datos históricos para futuras referencias.
- Implementar sensores adicionales que contribuyan a la toma de decisiones en el invernadero tales como, calidad del aire, sensor de partículas, sensores de monóxido de carbono, entre otros.

- Implementar un sistema de alimentación ininterrumpida para proteger los encapsulados que se encuentran alimentados mediante toma de corriente.
- Implementar controladores remotos que permite reestablecer el umbral para el riego automático desde una página web o aplicación en caso de cambiar el cultivo del sistema hidropónico.
- Implementar sistemas de control automático de sobra y ventilación basándose en variables biométricas.



## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tecnológico de Costa Rica , «LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.tec.ac.cr/planes-estudio/licenciatura-ingenieria-agronomia>.
- [2] J. V. Maroto, Botánica (taxonomía y fisiología) y adaptabilidad, Madrid, España: Mundi Prensa S. A., 2000.
- [3] L. A. Antillón, Hidroponía Cultivo sin tierra, Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2004.
- [4] G. S. Ruiz, Hidroponia Básica el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra, D.F Mexico: Editorial Diana, 1997.
- [5] R. University, Anatomy & Physiology, Houston: Openstax College, 2013.
- [6] Sparkfun, «Sparkfun Shop,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/categories/146>.
- [7] J. B. Jones, Hydroponics a Practival Guide for the Soilless Grower, Boca Raton, Florida: Ed. CRC Press, 2005.
- [8] W. Baudoin, El cultivo protegido en clima mediterraneo, Italia: Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación, 2005.
- [9] Crcibernetica, «Crcibernetica/sensors,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.crcibernetica.com/>.
- [10] F. S. d. Castillo, Un sistema de producción de plantas, hidroponia: principios y métodos del cultivo, Mexico: Imprenta Universitaria, Universidad Autónoma Chapingo, 1988.
- [11] Invernaderos GreenHouse, «El Blog de los cultivos en ambientes protegidos, la importancia del oxígeno en hidroponía,» [En línea]. Available: <http://los-invernaderos.blogspot.com/2010/01/la-importancia-del-oxigeno-en.html>. [Último acceso: 2017].

- [12] Arduino, «Arduino Products,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>.
- [13] Raspberry, «Buy a raspberry pi,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/>.
- [14] R. Faludi, Building Wireless Sensor Networks, Gravenstein Highway North, Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2011.
- [15] Ubidots, «Ubidots,» 2017. [En línea]. Available: <https://ubidots.com>.
- [16] E. Zukerman, «Capsule Review,» 9 Abril 2012. [En línea]. Available: <https://www.pcworld.com/article/253379/wix.html>.
- [17] ManageEngine, «Wifi Analyzer and Surveyor,» 2017.
- [18] Fritzing, «Fritzing Beta,» 2017.
- [19] Ecohortum, «HUERTO EN CASA: EL PH ÓPTIMO EN SUELO,» 2015. [En línea]. Available: <http://ecohortum.com/huerto-en-casa-el-ph-optimo-en-suelo/>.
- [20] U. p. d. valencia. [En línea]. Available: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/lce/lce-ayuda.php>.