

Universidad Acción Pro Educación y Cultura



Decanato de Ingeniería e Informática.

Escuela de Ingeniería

Tesis de Grado para Optar por el Título de:

Ingeniero Electrónico en Comunicaciones

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CULTIVOS
AGRÍCOLAS EN INVERNADEROS, REALIZADO DE MANERA AUTOMÁTICA
MEDIANTE DRON TERRESTRE.**

Sustentante:

Br. Franlismar Jasmar Martes Rodríguez

2009-2347

Asesor:

Ing. Luis María Pérez Méndez

Santo Domingo, D.N., República Dominicana

Julio 2016.

Los conceptos expuestos en esta investigación son de la exclusiva responsabilidad de su autor.

RESUMEN

A continuación se presenta el diseño de un sistema de medición de parámetros de cultivos agrícolas para invernaderos, realizado de manera automática mediante un dron terrestre, usado como prototipo, que será capaz de recorrer todo un espacio asignado y al mismo tiempo podrá ir tomando mediciones del lugar a través de un sensor de temperatura y humedad relativa adaptado a éste.

En el sistema se usará un dron terrestre de bajo costo, sencillo y práctico. Además, un sensor con un rango de medición tanto de humedad relativa como de temperatura no muy amplio (de cero a 50 grados centígrados).

Las mediciones realizadas por el sensor, serán almacenadas en una memoria que luego suministrará esa información a una interfaz gráfica. La interfaz será bien sencilla y fácil de usar, y le permitirá al usuario poder visualizar los dos parámetros (humedad relativa y temperatura).

Para la creación e integración del sistema deseado se necesitarán: un placa de Arduino modelo UNO, un sensor de humedad relativa y temperatura de la familia DHT, específicamente el DHT11 y por último, una interfaz que se comunique con la tarjeta de Arduino, que pueda alertar al usuario encargado cuando hayan valores fuera del rango en el que se supone deben estar los parámetros medidos (humedad relativa y temperatura).

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por regalarme la vida, hacerme un joven saludable y por colocar siempre a mi lado ángeles que me han motivado durante todo este trayecto.

A mi familia, porque siempre han querido lo mejor para mí. En especial a mis padres y mis hermanos, quienes con sus vidas me han ayudado a tratar de ser un mejor hijo y hermano.

A mi querido Padre Botello, por ser un papá, un amigo, un consejero y sobre todo un guía espiritual.

A mi Comunidad Neocatecumenal de hermanos, porque ellos han reído y han llorado a mi lado. Y siempre han estado ahí dándome ánimo siempre.

A mi novia, por su apoyo incondicional en cada momento. Especialmente durante la elaboración de este proyecto.

A mis compañeros Reynaldo, Genaro, Jimmy, William, Agustín, Morel, Omielant, ellos y muchos otros nunca me dejaron sólo.

A Juan Domínguez (Juancho) y Julio César De la Rosa (Robert), por darme su apoyo y ayudarme cuando les necesité durante la elaboración de este proyecto.

A aquellos profesores abnegados de la Universidad Apec, esos que siempre dijeron sí siempre que les pedí ayuda.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
JUSTIFICACIÓN	13
CAPÍTULO 1: LA AUTOMATIZACIÓN EN EL INTERIOR DE LOS INVERNADEROS.	15
1.1 Los invernaderos	15
1.2 Tipos de invernaderos	19
1.3 El clima dentro del invernadero	21
1.3.1 La temperatura	23
1.3.2 La humedad	25
1.3.3 La iluminación	26
1.4 El suelo	29
1.5 Mediciones de parámetros dentro del invernadero	30
1.5.1 Mediciones manuales	30
1.5.2 Mediciones automáticas	31
1.6 Sistemas sensores	32
1.6.1 Sensor de temperatura	33
1.6.2 Sensor de humedad	35
1.6.3 Sensor de pH	39
1.7 Sistemas autónomos y autómatas	40
1.7.1 Drones	42
1.7.2 Dron terrestre	42

1.8	Plataforma Arduino	44
1.9	Aplicando Arduino a mediciones o control de parámetros climáticos	46
CAPÍTULO 2: DISEÑO Y SISTEMATIZACIÓN		48
2.1	Diagrama en bloques del sistema	48
2.2	Diagramas de flujo del sistema	50
2.2.1	Diagrama de flujo de la etapa de control realizada a través de Arduino	50
2.2.2	Diagrama de flujo de la etapa de obtención y representación de los datos a través de la interfaz gráfica	52
2.3	Placa Arduino UNO	54
2.4	Selección y programación del dron terrestre	56
2.5	Sistemas sensores	58
2.6	Monitoreo de factores ambientales	61
2.7	Interfaz gráfica de monitoreo	62
2.7.1	Tipo de interfaz gráfica	63
2.7.2	La interfaz gráfica y el usuario	64
2.8	Procesos de comunicación	65
2.8.1	Implementación de comunicación entre sensores y el dron	66
2.8.2	Implementación de comunicación entre dron e interfaz	68
CAPÍTULO 3: EJECUCIÓN Y SIMULACIÓN		69
3.1	Pruebas realizadas	69
3.2	Resultados obtenidos	76
3.3	Verificación del cumplimiento de los objetivos planteados	78
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		80
BIBLIOGRAFÍA		81
APÉNDICE A		84
APÉNDICE B		90
ANEXOS		91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de materiales usados para las cubiertas de los invernaderos.	22
Tabla 2. Temperaturas óptimas en el cultivo de tomates.	24
Tabla 3. Algunas placas Arduino y sus respectivos microcontroladores. Fuente: diseño propio.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de un invernadero convencional.....	16
Figura 2. Invernadero de Agricultura en Ambiente Controlado.....	17
Figura 3. Tipos de invernaderos. (a) Invernadero capilla. (b) Invernadero túnel.	20
Figura 4. Uso de la iluminación con diodos LEDs en plantación de tomates.	28
Figura 5. Termopar creado con un conductor de Hierro y otro de Constantan (aleación entre Cobre y Níquel).	34
Figura 6. Higrómetro con lectura digital.	36
Figura 7. Dron terrestre.....	43
Figura 8. Riego automático para plantas.	47
Figura 9. Diagrama en bloques del sistema.	48
Figura 10. Diagrama de flujo de la etapa de control que se realiza a través de Arduino. ...	51
Figura 11. Diagrama de flujo de la etapa de obtención y representación de los datos a través de la interfaz gráfica creada en Java.....	53
Figura 12. Arduino Uno.....	54
Figura 13. Dron terrestre Zumo Robot.	56
Figura 14. Conexión de los pines del Zumo Robot y el sensor DHT11 con el Arduino UNO.....	57
Figura 15. Descripción de los pines del sensor DHT11.	59
Figura 16. Conexión eléctrica del sensor DHT11 a una placa de Arduino.	60
Figura 17. Apariencia de la interfaz gráfica para visualización de los parámetros ambientales creada en Java.	64
Figura 18. Distribución de los pines usados como I/O del Zumo Robot.....	66
Figura 19. Lectura de la temperatura y la humedad en el monitor serie de Arduino, usando el sensor DHT11.	72
Figura 20. Interfaz gráfica con problemas para cargar los datos.	74
Figura 21. Interfaz gráfica con valores de temperatura y humedad relativa reales.	77

INTRODUCCIÓN

Con el pasar del tiempo, las técnicas de cultivo han sido perfeccionadas. Estos perfeccionamientos han traído consigo aportes cuantiosos en la gestión de calidad de los productos agrícolas. De igual modo, el propio entorno y los cambios naturales, han creado nuevas necesidades, que a su vez exigen la implementación, mejora y/o creación de nuevas técnicas, que ayuden a optimizar el proceso de crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Con esta propuesta se espera diseñar una alternativa nueva, que represente un aporte a la agricultura en ambientes controlados. Se pretende obtener información precisa de la humedad relativa y la temperatura, se usará un dron terrestre pequeño para simular un recorrido dentro de un invernadero y se creará una interfaz capaz de alertar en caso que la humedad relativa o la temperatura estén fuera del rango que se espera. Un prototipo basado en elementos de bajo costo y sencillos será creado, debido a esto la precisión del dron durante el recorrido no será del todo precisa.

La presentación de este proyecto de grado estará detallada en tres capítulos. Un primer capítulo va a contener todo el estado del arte correspondiente al tema presentado, el segundo capítulo tratará sobre los elementos y procedimientos empleados para lograr los objetivos planteados y un tercero que explicará las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un sistema capaz de medir parámetros de cultivos agrícolas en invernaderos de propósitos específicos, con el auxilio de la robótica.

Objetivos específicos

- Monitorear de forma eficaz, los factores ambientales (temperatura, humedad) de cultivos en invernaderos, cuyo rango se adquiere usando sensores.
- Indicar a través de una interfaz gráfica sencilla y de fácil manejo, cuándo un producto en el invernadero requiere de la intervención del usuario.
- Seleccionar cada uno de los sensores necesarios para registrar los parámetros de productos agrícolas.
- Determinar qué tipo de interfaz gráfica podría implementarse.
- Seleccionar el drón terrestre más apropiado para el proyecto.
- Integrar el proceso de comunicación entre la plataforma de control y la interfaz gráfica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad es un hecho muy notable que nuestras zonas rurales están quedando des pobladas, debido a la migración de sus habitantes hacia las zonas urbanas o la ciudad. Se percibe una falta de dedicación, falta de tiempo y poco deseo y motivación por cultivar y vivir de la agricultura. Esto se debe en la mayoría de los casos a que las extensiones de tierra están quedando en manos de algunos terratenientes que a diferencia de épocas anteriores dedican sus terrenos a cultivar sólo frutos específicos. Para tener una idea, frutos como la naranja, el limón dulce, el café y otros, han sido desplazados casi totalmente por el aguacate en los campos de Cambita Garabito.

Evidentemente, esta es una realidad que no se puede obviar. Afortunadamente, distintas alternativas han sido propuestas para ayudar al sector agrícola en cuanto al cultivo de esa variedad de frutos que no están siendo considerados en las plantaciones de muchos dueños de grandes, medianos y pequeños terrenos o simplemente porque cultivarles exige mayor cuidado, tiempo y atención. Una de esas alternativas son los invernaderos.

Existen muchísimas ventajas que ofrecen los invernaderos. Sin embargo, todavía hay muchas mejoras que se podrían lograr relacionadas al crecimiento y calidad de los productos que en estos se cultiven. Por ejemplo, ¿qué tal la

automatización de invernaderos, donde se puedan medir los parámetros más determinantes de un producto?

Tener valores precisos de la temperatura tanto del suelo como del ambiente, asimismo de la humedad y otros parámetros, mejoraría bastante la producción en esos espacios confinados que llamamos invernaderos.

JUSTIFICACIÓN

La gestión de productos agrícolas en los invernaderos no es una tarea sencilla, puesto que no siempre se cuenta con un monitoreo constante o el mismo no resulta apropiado. La falta de atención concreta de los factores que influyen en los frutos que allí se producen, la falta de tiempo y dedicación de las personas encargadas de los mismos, crea la inquietud de buscar formas más fiables para la gestión y cuidado de dichos productos.

A pesar de que existen esas vicisitudes, son muchos los productores que han decidido emplear sistemas de ambientes controlados. Por ejemplo, en la provincia San José de Ocoa para octubre del 2011 alrededor de 800 mil metros cuadrados eran destinados a estructuras para el cultivo bajo invernaderos (Polanco, 2011). Para esa misma fecha esas estructuras aportaban cerca del 40% de los vegetales cultivados en República Dominicana (Polanco, 2011), cifra que indica la importancia de esta forma de producción agrícola.

Sin embargo, a simple vista o por simple inspección sólo se pueden obtener algunas características del estado de un fruto en particular, ello cuando se tiene vasta experiencia. No obstante, la implementación de aparatos tecnológicos capaces de ofrecer información más precisa provee mayor seguridad y óptimo manejo de los productos, garantizando mejor calidad de los mismos.

Cada producto tiene sus rangos específicos de temperatura, humedad, pH y otros tantos parámetros, a los que debe ser expuesto. Implementar sistemas de verificación y revisión constante de esos parámetros tan esenciales, de manera que puedan ser manejados cuando estén fuera de su rango apropiado en el cultivo de productos específicos, es un gran aporte para el desarrollo, crecimiento y calidad de esos productos agrícolas.

CAPÍTULO 1: LA AUTOMATIZACIÓN EN EL INTERIOR DE LOS INVERNADEROS

1.1 Los invernaderos

Existen distintas definiciones sobre qué es un invernadero. Algunos lo consideran simplemente “una herramienta usada para facilitar el crecimiento de plantas” (Universidad de kentucky, 2011). Mientras que otros lo describen de manera más amplia y detallada; por ejemplo, (Alvarado V. & Urrutia S., 2000) consideran que un invernadero es:

Aquella estructura de cierta altura, de madera o metal, provista de una cubierta transparente a la luz solar, para que ingrese esta radiación y cumpla con los requerimientos fotosintéticos y de calor, y que, a su vez, deje escapar la menor cantidad de energía, de modo que este balance positivo permita modificar el ambiente interno a fin de hacer posible y ventajoso el crecimiento y desarrollo de plantas en su interior.

Esta definición se acerca más a lo que se conoce como invernadero convencional. La **Figura 1** muestra un ejemplo de uno de estos invernaderos. Los invernaderos convencionales según Ruíz Nayeli (2010) son precisamente sistemas que reciben energía lumínica atrapándola en su interior por un principio físico de transmisividad de los cuerpos transparentes, llamado efecto invernadero, que modifica los factores climáticos hacia condiciones ideales para su uso (pág. 39).



Figura 1. Imagen de un invernadero convencional.

Fuente:

<https://www.flickr.com/photos/jelliepeterworth/12213880394/in/photolist-jBik7J-jBei2j-jBhRzt>

Por otro lado, cuando se hace referencia a los invernaderos que usualmente suelen ser vistos, donde los factores ambientales pueden ser controlados, se está hablando de invernaderos de Agricultura en Ambiente controlado (CEA, controlled environment agriculture). En la **Figura 2** se aprecia un invernadero de agricultura en ambiente controlado.

Las características anteriormente mencionadas, le permiten a los invernaderos convertirse en espacios muy útiles al momento de producir vegetales, hortalizas y flores que en ocasiones, dependiendo de la región donde se cultivan, suelen ser atacadas y afectadas ya sea por el mismo clima o por plagas o algunos animales. Las razones principales por las que se utiliza la cultivación protegida en la zona del Caribe son: atacar las pestes, protección de la radiación solar extrema y de

fuertes lluvias y viento (DeGannes, y otros, 2014, pág. 5). Por esos motivos, la estructura del invernadero y los materiales usados en su construcción juegan un papel esencial, en términos de proteger cualquiera que sea la especie a cultivar.



Figura 2. Invernadero de Agricultura en Ambiente Controlado.
Fuente: imagen propia, tomada en Constanza, República Dominicana.

En ese sentido, también se debe tomar en cuenta la ubicación del invernadero, ya que de nada vale tener buenas estructuras y materiales, si el invernadero está ubicado en una zona donde fuertes vientos podrían impactarle, resultando esto en daños tanto al techo como a la estructura lateral. Para evitar esto, se recomienda que la orientación del invernadero sea la que presente menor resistencia al viento dominante (orientación frontal no lateral), a pesar de que este inconveniente se puede manejar mediante cortinas cortavientos (Alvarado V. & Urrutia S., 2000, pág. 6). Además, la orientación de la estructura es un factor

importante a considerar respecto a la disponibilidad de luz para el cultivo. La recomendación general es emplear la orientación Este-Oeste frente a la Norte-Sur ya que el porcentaje de transmisión de luz del invernadero es claramente superior (Muñoz, Antón , & Montero).

No siempre el entorno o espacio geográfico ofrece las condiciones climáticas deseadas para que las especies que se quieren cultivar alcancen los estándares que se persiguen. La calidad y el desarrollo óptimo de cualquier fruto están directamente relacionados a variables climáticas como la temperatura, la humedad, la luminosidad y otros. Como los invernaderos son estructuras cerradas, esto les permite utilizar herramientas para controlar esas variables, creándose así las condiciones necesarias que permiten cultivar frutos de muy buena calidad y con características muy similares a las deseadas por el agricultor.

Considerando que la implementación de un invernadero tiene como finalidad mejorar la calidad de los cultivos, protegerlos de cualquier plaga, acelerar el ciclo de producción, entre otras; es por lo tanto recomendable, que en su fabricación se tome en cuenta el tamaño del mismo. Ruíz Nayeli (2010) expresa que mientras mayores sean las dimensiones del invernadero, más difíciles serán de controlar los factores climáticos (pág. 9), que por lo general se mantienen homogéneos dentro de todo el invernadero, pero que gracias a la implementación de la tecnología dentro de estos espacios, en caso de variar por ejemplo la humedad, este cambio puede ser detectado y luego corregido a través de algún mecanismo automático.

1.2 Tipos de invernaderos

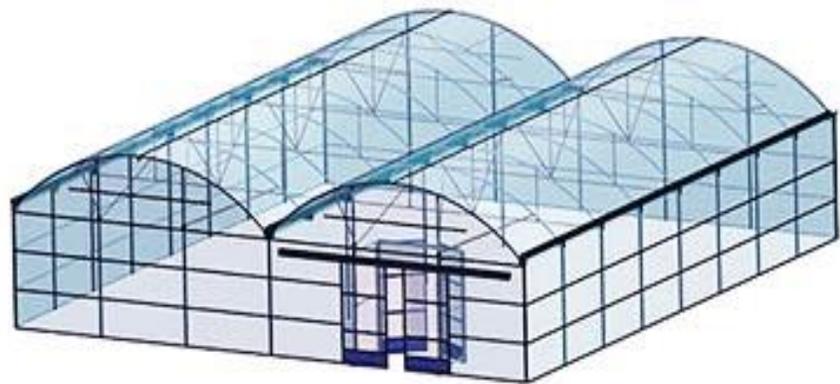
La clasificación siguiente es la más común a nivel global no importa la región del mundo de la que estemos hablando:

- Invernadero tipo túnel.
- Invernadero tipo capilla (a dos aguas).
- Invernaderos en diente de sierra.
- Invernadero tipo capilla modificado (tipo chileno).
- Invernadero con techumbre curva.
- Invernadero tipo “parral” ó “almeriense”.
- Invernadero “holandés” (tipo Venlo).

Sin embargo, (DeGannes, y otros, 2014) aseguran que sólo los siguientes han prevalecido en la zona del Caribe:

- **Invernaderos tipo túnel:** “se caracterizan por su fácil instalación, por su resistencia a fuertes vientos y por su gran capacidad para el control de los factores ambientales” (Gassó Busquets & Solomando Valderrabano, 2011, pág. 20).
- **Invernaderos con techumbre curva:** “tienen su origen en los invernaderos tipo túnel. El techo de estos invernaderos puede ser de forma circular, semielíptico, medio punto, entre otros” (Ruíz Nayeli, 2010, pág. 30).
- **Invernaderos tipo capilla:** “son aquellos cuyo techo forma uno o dos planos inclinados, dependiendo si es a una o dos aguas” (Pérez Rojas & De Paul Cortes, 2007, pág. 26).
- **Invernaderos Split arc (arco separado):** “estos suelen ser de gran longitud y se caracterizan por tener un ventilador en el techo” (DeGannes, y otros, 2014, pág. 10).

Para determinar cuál sería el tipo de invernadero más adecuado en una situación en concreto, se deben tomar algunas consideraciones específicas. Según (Gassó Busquets & Solomando Valderrabano, 2011), en términos de su estructura, los invernaderos se clasifican en función de los siguientes factores o aspectos técnicos: topografía, vientos, tipo de suelo, exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo, entre otros. La **Figura 3** muestra algunos tipos de invernaderos.



(a)



Figura 3. Tipos de invernaderos. (a) Invernadero capilla. (b) Invernadero túnel.

Fuentes: <https://freelance.infojobs.net/freelance/Carlos-Rozas-Couselo>
& <http://www.novedades-agricolas.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-capilla>

1.3 El clima dentro del invernadero

Sin lugar a dudas, los invernaderos son el resultado de la búsqueda de un mejor clima para el cultivo de distintos frutos. Por lo tanto, no se puede hablar de invernaderos sin que también se hable de modificaciones y manipulación de los factores ambientales, con el fin de optimizar la calidad, crecimiento y desarrollo de esos frutos. Un clima favorable y adecuado dentro del invernadero es fruto de la supervisión constante y manipulación precisa de cada una de las variables climáticas internas, que intervienen en procesos vitales como la fotosíntesis, respiración, transpiración, etc., de las plantas.

Un buen control climático empieza por un diseño apropiado de la estructura que permita aprovechar al máximo las condiciones climáticas naturales. A partir de este diseño pueden añadirse diferentes equipos de climatización que proporcionen un mejor manejo de las condiciones ambientales. En este sentido, cabe mencionar dos elementos de diseño fundamentales que condicionan la producción y calidad de los cultivos y deben considerarse antes de incorporar los diferentes equipos de control. Estos son: la estructura del invernadero y el material de cubierta (Muñoz, Antón , & Montero, pág. 8).

Por un lado, el objetivo principal de la cubierta no es otro que permitir que la luz entre al invernadero y por otro lado, evitar que el calor salga. El material más utilizado para el diseño de cubiertas es el polietileno de baja densidad con una

durabilidad de una, dos y hasta tres temporadas (Alvarado V. & Urrutia S., 2000). La durabilidad va a depender mucho del aditivo inhibidor de rayos ultravioleta que se aplique, pero es bueno aclarar que el aditivo, contrario a lo que suele pensarse, no agrega ninguna propiedad térmica al material de la cubierta. Además del polietileno, existen otros plásticos usados para la elaboración de cubiertas, estos son: acrílico, policarbonato, fibra de vidrio y cloruro de polivinilo (PVC).

Tabla 1. Tipos de materiales usados para las cubiertas de los invernaderos.
Fuente: Tropical greenhouse grower's manual for the Caribbean.

TIPO DE PLÁSTICO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	DURABILIDAD	TRANSMISIÓN DE LUZ
Acrílico	Resistente al clima y a las roturas.	Inflamable, caro y se raya fácil.	Muy buena. Mayor de 5 años.	Muy buena. Más de 90%.
Policarbonato	Resistente al impacto, flexible y relativamente barato.	Se raya fácil, reducida transmisión de luz con el paso del tiempo.	Buena. Aproximadamente 5 años.	De regular a buena. De 80 a 90%.
Fibra de vidrio	Resistente al impacto, precio moderado y fácil de cortar.	La transmisión de luz se ve reducida con el tiempo.	Muy buena. Más de 5 años.	Regular. 80%
Cloruro de polivinilo (PVC)	Deja pasar los rayos ultravioleta, propiedades de retención de calor.	Requiere de mantenimiento, suele perforarse y despedazarse.	Regular. Menos de 5 años.	Buena si se le mantiene limpio.

Otro material utilizado para la cobertura es el vidrio. Dentro de sus ventajas está su gran duración, buena transparencia a la luz solar, entre otras. Mientras que sus desventajas son: alto precio, elevado peso, riesgo de roturas con peligro para operarios y dificultades en el montaje (Ruíz Nayeli, 2010, pág. 27).

1.3.1 La temperatura

El Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española define la temperatura como “grado o nivel térmico de los cuerpos o del ambiente”. En cuanto a los invernaderos, la temperatura es el parámetro individual más importante en los controles que se realizan en ellos, ya que desempeña un papel importante en el crecimiento y el desarrollo de las plantas. La temperatura óptima depende de la especie de planta cultivada y el nivel deseado de actividad de fotosíntesis (VAISALA, 2013). Para la manipulación de la temperatura es importante conocer las limitaciones y necesidades de cada especie cultivada (Pérez Rojas & De Paul Cortes, 2007, pág. 24).

Las temperaturas ambientes altas representan el mayor problema para la producción de vegetales en los invernaderos caribeños. Tanto las temperaturas diurnas como las nocturnas afectan el vigor de las plantas, tamaño de las hojas, ritmo de expansión de las hojas y el tiempo de desarrollo del fruto (DeGannes, y otros, 2014, pág. 28).

Existen tres tipos o conceptos distintos de temperatura que deben ser tomados en consideración a la hora de velar por el buen desarrollo del cultivo y sobre todo teniendo en cuenta sus limitaciones. Estos son: “temperatura mínima letal, temperaturas máxima y mínima biológicas y temperaturas nocturnas y diurnas” (Infoagro Systems S.L.). La **Tabla 2** sirve de referencia, para indicar cómo deben andar estas temperaturas en el tomate.

Tabla 2. Temperaturas óptimas en el cultivo de tomates.
 *Los valores de las temperaturas son en grados centígrados.
 Fuente: <http://www.infoagro.com/>

TEMPERATURAS REQUERIDAS PARA EL CULTIVO ÓPTIMO DEL TOMATE	
Temperatura mínima letal	0-2
Temperatura mínima biológica	10-12
Temperatura óptima	13-16
Temperatura máxima biológica	21-27
Temperatura máxima letal	33-38

Las temperaturas muy elevadas (de 30 a 35 grados centígrados) reducen el crecimiento de las plantas y causan finalmente que las plantas se marchiten y mueran, mientras que las temperaturas demasiado bajas limitan el crecimiento de las plantas (VAISALA, 2013). También los abortos florales pueden ocurrir en estas temperaturas (DeGannes, y otros, 2014, pág. 28).

Para la obtención de una cosecha mejor cualitativa y cuantitativamente, se recomiendan temperaturas diurnas de 5 a 8 grados mayores que las nocturnas.

1.3.2 La humedad

Se define humedad como “agua de que está impregnado un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire” (Real Academia Española, 2014, pág. 1132).

El peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire se conoce como humedad absoluta y se expresa en unidades de masa de agua por unidades de masa o de volumen de aire seco. La humedad relativa es la razón entre el contenido efectivo de vapor en la atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura (Hernández Rangel, Pineda , & Bayona Ruiz).

La humedad relativa está relacionada con el rendimiento de los vegetales. Cuando es elevada, los vegetales reducen la transpiración, y consecuentemente reducen su crecimiento, pudiendo ocurrir incluso abortos florales por aumento de las enfermedades causadas por hongos o bacterias (Pérez Rojas & De Paul Cortes, 2007, pág. 24). La aparición de estos hongos podría también afectar o causar daños en las estructuras de los invernaderos. Por otro lado, cuando la humedad relativa es baja los vegetales transpiran en exceso, lo que causa deshidratación.

La humedad relativa óptima depende del tipo de planta que se cultive, si bien el rango típico oscila entre el 50 y el 70 % (VAISALA, 2013). Estos niveles apropiados de humedad suelen ser alcanzados, entre otras cosas, cuando se logra un movimiento adecuado del aire dentro de la estructura del invernadero.

1.3.3 La iluminación

La luminosidad es muy importante para aumentar la fotosíntesis de las plantas y elevar la temperatura del invernadero (Alvarado V. & Urrutia S., 2000). A mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la humedad relativa y el CO₂, para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores (Pérez Rojas & De Paul Cortes, 2007, pág. 32).

Existen dos dimensiones de la radiación que deben ser resaltadas. La primera es la intensidad de la luz y la segunda el fotoperiodo (periodo de la duración de la luz). La intensidad es responsable de la maximización del crecimiento de la planta y el fotoperiodo es responsable del metabolismo. El control de la radiación es benéfico como un complemento para invernaderos con bajo nivel de luz natural. Puede ser utilizado para extender la duración natural del día (Pérez Rojas & De Paul Cortes, 2007, págs. 24-25).

Gracias a los avances tanto en la agronomía como a los de la tecnología, que día a día se incorpora más a la agricultura específicamente a la agricultura en ambiente controlado, existen datos de aproximación del fotoperiodo de cada especie. Por ejemplo, DeGannes y otros (2014) aseguran que el tomate necesita al menos 8 horas de luz completa, algo que usualmente no es un problema en la zona caribeña pero advierten que la baja intensidad de luz ha contribuido significativamente a pérdidas en la producción.

La luz puede ser adquirida de dos formas: natural o artificial. La forma natural es bien conocida, son los rayos ultravioletas emitidos por el Sol y la forma artificial es mediante el empleo de luces basadas en descargas eléctricas (lámparas de vapor de sodio a alta presión, lámparas de halogenuros metálicos y lámparas fluorescentes) o en diodos emisores de luz o diodos LEDs (del inglés, Light-emitting Diode).

Los LEDs presentan una gran cantidad de ventajas, respecto a los dispositivos descritos anteriormente, ya que son unos dispositivos muy duraderos, fiables y con largo periodo de vida. Sólo un 10% de la energía de un LED es emitida en forma de calor. La duración de los LEDs en funcionamiento es en torno a 50,000 horas, mucho mayor que cualquier otro tipo de luz artificial (Girón González, 2012, pág. 7).

Las dos regiones del espectro electromagnético más eficientes para las plantas son la región del azul y el rojo. El espectro de los LEDs puede ser focalizado en estas dos regiones, a diferencia de las lámparas que usualmente se usan, cuyo espectro es muy amplio y por lo tanto poco específico y preciso. Por eso, para agricultores e investigadores, la gran ventaja de los LEDs es que permiten eliminar aquellas longitudes de onda de la luz normal que son inactivas para la fotosíntesis, consiguiendo, entre otros efectos, un ahorro energético respecto a las lámparas tradicionales para el crecimiento de las plantas (Ramos, y otros, 2010). La **Figura 4** muestra una implementación de luces LEDs en plantaciones de tomates.



Figura 4. Uso de la iluminación con diodos LEDs en plantación de tomates.

Fuente: <http://www.agroprecios.com/es/noticias/2731--70-kilos-de-tomates-por-metro-cuadrado-utilizando-luces-leds>

A pesar de que la implementación de los LEDs resulta más costosa que la de lámparas de vapor de sodio a alta presión o cualquier otra fuente de luz artificial empleada, muchos expertos la recomiendan ya que consideran que existe un efecto de compensación debido al bajo consumo energético que los LEDs representan.

Actualmente, la tecnología basada en los diodos emisores de luz, sigue creciendo y desarrollándose. Sin embargo, las lámparas convencionales siguen siendo usadas aunque no con la misma frecuencia que antes. Por ejemplo, las lámparas incandescentes fueron retiradas por la Unión Europea hasta septiembre del presente año, con el objetivo de lograr mayor eficiencia, reducir el consumo y la contaminación por CO₂ (Almansa Espín, 2011, pág. 40). Las demás lámparas como son las fluorescentes y las de alta intensidad de descarga continúan siendo usadas,

pues a pesar de algunas desventajas, siguen presentando cualidades y características que les favorecen y las mantienen en el mercado.

1.4 El suelo

El suelo está formado por una fase sólida, una fase líquida y una fase gaseosa. La parte sólida representa el 50 por ciento de la composición total del suelo. Algunas características que debe representar el suelo y que están estrechamente relacionadas al desarrollo de los frutos son: salinidad, textura, estructura, alcalinidad, etc.

La textura de un suelo es la cantidad o proporción de arcilla, limo y arena que contiene dicho suelo. La textura tiene una gran influencia en las propiedades agrícolas de un suelo pues determina una serie de características como: facilidad para el laboreo, riesgo de erosión, riesgo de formación de costras superficial, facilidad para la circulación de agua, capacidad de retención de agua disponible para las plantas, capacidad para almacenar nutrientes. (Fernández Fernández, y otros, 2014, pág. 33).

Se recomienda que el suelo a elegir dentro de un invernadero “tenga buen drenaje y sea de alta calidad, aunque con los sistemas modernos de fertirriego es posible utilizar suelos pobres con buen drenaje o sustratos artificiales” (Gassó Busquets & Solomando Valderrabano, 2011).

Saber esto ayuda de manera significativa al momento de implementar un invernadero como una forma alternativa de agricultura, pues en lo que a la agricultura al aire libre se refiere no contar con un suelo apropiado significa un obstáculo o inconveniente de gran dificultad.

1.5 Mediciones de parámetros dentro del invernadero

Dentro del invernadero existe un microclima particular, con niveles concretos de temperatura, humedad relativa, entre otros. Para producir frutos de calidad dentro del invernadero, es necesario que cada factor ambiental se mantenga dentro del rango específico que caracteriza a cada especie cultivada. Para esto, se usan instrumentos de medición capaces de determinar los niveles exactos de cada uno de los factores climáticos que intervienen en el invernadero. Las mediciones pueden ser de dos tipos, manuales o automáticas.

1.5.1 Mediciones manuales

Son aquellas mediciones realizadas de manera directa dentro del campo de cultivo, llevadas a cabo por un personal encargado y a través del uso de herramientas técnicas, como por ejemplo un termómetro convencional. En este caso, el aparato de medición debe ser portado por la persona encargada de realizar las

mediciones de lugar. Existen distintos aparatos electrónicos, diseñados de manera compacta, que sirven para medir no solo la temperatura sino también otros parámetros como la luminosidad, la humedad relativa y el nivel de pH dentro de un invernadero.

Para la medición de la luminosidad se usan los luxómetros. Estos aparatos consisten en la transformación de luz captada por un circuito integrado en energía eléctrica. El luxómetro permite de manera rápida y sencilla determinar la iluminancia real de un ambiente. En el caso de los invernaderos, como se mencionó anteriormente, la luz es esencial en el proceso de desarrollo de las plantas, por lo tanto contar con esta herramienta de medición es sumamente importante para manipular los niveles de radiación deseados. En resumen, cada uno de los factores mencionados y conocidos, característicos de ambientes cerrados como los invernaderos, pueden ser revisados de manera manual por una determinada persona, empleando el aparato medidor preciso.

1.5.2 Mediciones automáticas

Son las mediciones llevadas a cabo de manera independiente, es decir, los aparatos de medición son colocados en posiciones específicas dentro del invernadero y la información que ellos suministran son captadas o recibidas por el usuario en una cabina de control donde hay un computador que contiene esos datos o bien pueden ser tomados de manera visual por el mismo usuario, pero éste no

necesariamente tiene que portar el aparato de medición. A diferencia de las mediciones manuales, estas mediciones pueden ser programadas de acuerdo a las necesidades de quien cultiva, es decir, podrían capturar la información cada cierto intervalo de tiempo, además no necesitan que un usuario o persona encargada esté yendo siempre al campo pues la información captada puede ser enviada de manera inalámbrica a un ordenador y allí ser visualizada en una pantalla.

1.6 Sistemas sensores

Los sensores se definen como “dispositivos que detectan una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmiten adecuadamente” (Real Academia Española, 2014). Dicho de otra manera, los sensores son dispositivos de medición de magnitudes físicas expuestos al contacto con el objeto, ambiente o fenómeno que porta dicha magnitud. Es decir, los sensores se encargan de medir y cuantificar informaciones aportadas por la naturaleza que el ser humano es incapaz de interpretar por sí solo. De ahí su gran importancia y relevancia en los sistemas de medición de parámetros de cualquier índole y su aplicación en distintas áreas como la agricultura, manufactura, telecomunicaciones y muchas otras.

1.6.1 Sensor de temperatura

Por lo general se conoce como elemento de medida de la temperatura al termómetro, que cuantifica los grados, tanto en el ambiente o atmósfera como en el cuerpo humano. Sin embargo, hablar de sensores de temperatura es entrar en un área donde existe una gran variedad de estos elementos.

Actualmente existen numerosas formas de medir la temperatura y asimismo numerosos tipos de sensores de temperatura, de múltiples naturalezas. Frecuentemente se les clasifica en: eléctricos, mecánicos, de radiación térmica, etc. En cada uno de estos grupos hay una gran variedad, pero para los términos y los fines electrónicos que son los que se relacionan con esta investigación es prioritario mencionar los siguientes: termopares, termorresistencias y termistores, los cuales pertenecen todos al grupo de sensores de temperatura eléctricos.

Los termopares transforman niveles de temperatura en unidades muy pequeñas de voltaje. Se trata de dos conductores de materiales distintos unidos en uno de sus extremos, que suministran una diferencia de potencial fruto del nivel de temperatura aplicado a esa unión. La **Figura 5** muestra un termopar cuyos conductores son uno de Hierro y otro de una aleación de Cobre y Níquel llamada Constantan.



Figura 5. Termopar creado con un conductor de Hierro y otro de Constantan (aleación entre Cobre y Níquel).

Fuente: <http://elbibliote.com/resources/Temas/html/700.php>

Son usados para determinar temperaturas comprendidas entre 80 y 1800 grados centígrados aproximadamente. Estos sensores de temperatura siguen siendo muy usados, a pesar de que otros han sido desarrollados. Esto se debe principalmente a que los termopares siguen siendo sensores de temperatura con un amplio rango de medición, es decir, su intervalo de medidas es bien extenso, además son de bajo costo en comparación con otros sensores. Su mayor desventaja es que no miden temperaturas directas, más bien miden diferencias de temperaturas por lo que es necesario emplear un punto de referencia al momento de usarlos.

Por su parte las termorresistencias, también basadas en conductores metálicos sensibles a la temperatura, consisten en un resistor que varía su nivel de resistencia a medida que el nivel de temperatura cambia. Estas pueden ser fabricadas de distintos materiales, pero es el platino el que suele usarse mayormente pues sus características químicas le permiten manejar un amplio rango de temperaturas (desde -260 a 630 grados centígrados) y además es considerado el material más estable y exacto.

Otro de los materiales empleados para la elaboración de termorresistencias es el cobre, éste aunque es el que ofrece la relación más lineal entre temperatura y

resistencia, maneja un rango estrecho (desde -200 a 150 grados centígrados) en comparación con el platino. El níquel, el tungsteno y otros tantos también forman parte de los distintos materiales empleados para construir termorresistencias, aunque los anteriormente mencionados son los más usados por las características expuestas.

Los termistores al igual que los termopares y las termorresistencias son muy usados en ambientes donde se desea medir la temperatura. Su respuesta temperatura-resistencia no es lineal pero son más sensibles y están hechos a base de una mezcla sintetizada de óxidos metálicos. En esencia el termistor es un semiconductor que se comporta como un resistor térmico. Existen dos tipos de termistores, los NTC (del inglés, negative temperature coefficient o coeficiente de temperatura negativo) y los PTC (del inglés, positive temperature coefficient o coeficiente de temperatura positivo). Los NTC tienen menor resistencia conforme aumenta la temperatura y los de tipo PTC son todo lo contrario, tienen mayor resistencia conforme aumenta la temperatura. Por lo general, se utilizan en dispositivos de monitoreo de temperatura como los termostatos digitales o termómetros.

1.6.2 Sensor de humedad

Es importante para el manejo del clima, conocer cómo se genera la humedad en el interior del invernadero y así poder tomar decisiones para conseguir un aumento o reducción de la misma (Fernández Fernández, y otros, 2014).

El aparato encargado de medir la humedad es conocido como higrómetro. La **Figura 6** muestra uno de los tantos higrómetros que pueden aparecer en el mercado.



Figura 6. Higrómetro con lectura digital.

Fuente: <http://www.servovendi.com/es/medidor-de-humedad-relativa-hanna-hygrocheck-10-a-90-rh-hi-98601.html>

Los sensores empleados por estos aparatos tienen obviamente una misma finalidad, medir la humedad; pero sus principios de funcionamiento son totalmente diferentes. La clasificación es la siguiente: sensores mecánicos, bulbos húmedo y seco, sensores por condensación, sales higroscópicas, sensores electrolíticos, sensores por conductividad, sensores capacitivos, sensores infrarrojos, sensores piezoeléctricos y sensores de humedad en el suelo. A continuación se definen algunos de los sensores mencionados.

Los sensores mecánicos o por deformaciones, como su nombre lo indican aprovechan los cambios en las dimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad. Tras el aumento de la humedad relativa, estos materiales aumentan de tamaño. Luego esta deformación debe ser amplificadas de alguna manera (por palancas mecánicas, o circuitos electrónicos), y debe ser graduada de acuerdo a la proporcionalidad con la humedad relativa (Kouro, 2001, pág. 6). El rango de operación de estos es de 15 y 95 por ciento.

Los sensores por condensación consisten en un mecanismo mediante el cual se mide la diferencia de temperatura existente en dos fotorresistencias, cuyo valor depende de la cantidad de luz que reciben; una de las dos recibe luz directa mientras que la otra la recibe como el resultado de una reflexión provocada generalmente por un espejo. Este espejo, colocado en el interior de un encapsulado, es calentado o enfriado con el fin de evaporar o condensar una mezcla gaseosa liberada para entrar en contacto con él. Así, la cantidad de luz reflejada por dicho espejo dependerá de cuán empañado éste se encuentre. Existen tablas que asocian la diferencia o error de temperatura dado entre los valores de las dos fotorresistencias y a partir de esa diferencia ofrecen un valor de humedad. Los rangos de operación del psicrómetro anterior son de -70 a 40 grados centígrados en la medición del punto de rocío, y la precisión es de un 99,5%. La limitante de este método es que el gas debe ser transparente, y libre de impurezas, de otro modo se estaría alterando su principio de funcionamiento (Kouro, 2001, pág. 9).

Los sensores electrolíticos consisten en una mezcla de gas que se introduce en un tubo que en su interior tiene dos electrodos y un material altamente

higroscópico. La humedad producida por el gas es absorbida por el material higroscópico y así las moléculas de agua se colocan a cada la lado del tubo donde se encuentran los electrodos. Una diferencia de potencial aplicada entre los electrodos provoca que las moléculas de agua sean descompuestas, generándose una corriente eléctrica debido al proceso de hidrólisis dado en los electrodos. Finalmente, se mide la corriente generada y se determina la humedad que hay en el tubo, pues el valor de la corriente es proporcional al de la humedad.

Los sensores capacitivos son diseñados normalmente con platos paralelos con electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios del nivel de humedad. Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causa una variación en el valor de la capacitancia eléctrica del dispositivo por lo que resulta una impedancia que varía con la humedad. Un cambio en la constante dieléctrica de aproximadamente el 30 % corresponde a una variación de 0 a 100 % en la humedad relativa (La Guía Metas, 2008).

Los sensores infrarrojos consisten en dos fuentes de luz infrarrojas, una que proyecta su haz de luz directamente a una fotorresistencia y la otra que atraviesa una muestra que contiene vapor de agua, como esta última sufrirá una distorsión antes de llegar a la otra fotorresistencia receptora, habrá una diferencia entre los valores de las fotorresistencia que son comparados por un amplificador diferencial y el valor resultante equivale a un nivel de humedad proporcional a esta diferencia.

Los higrómetros emplean uno de los mecanismos de medición anteriormente mencionados. Cada higrómetro en su interior está compuesto por uno de estos sensores descritos y dependiendo de si es analógico o digital, está acompañado por un sistema de medición de agujas o por una pantalla LCD, respectivamente.

Hoy en día, en muchas aplicaciones se está optando por usar dispositivos que integran la medición de temperatura y humedad en un encapsulado. El uso de procesos de fabricación CMOS industriales, permite la integración en un chip, del sensor y la parte del proceso electrónico de la señal, también asegura la confiabilidad más alta y la estabilidad a largo plazo excelente (La Guía Metas, 2008). Este sensor permite la toma de los valores de: temperatura y humedad del medio ambiente, básicamente son sensores capacitivos para la medición de humedad y termistores para la temperatura.

1.6.3 Sensor de pH

El pH es una unidad de medida que expresa el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución. Para medir el pH generalmente se emplean dos métodos, uno es a través del uso de sustancias llamadas indicadores que varían de color dependiendo el nivel de pH del medio en que son introducidas y el método más preciso y usado es a través de un analizador de pH.

El analizador de pH es un instrumento de uso común en cualquier campo de la ciencia relacionado con soluciones acuosas. Se utiliza en áreas como la agricultura, el tratamiento y purificación de agua, en procesos industriales como los petroquímicos, fabricación de papel, alimentos, metalmecánica, farmacia e investigación y desarrollo, entre otros.

El analizador de pH consiste en un electrodo (usualmente de vidrio), un electrodo de referencia y un elemento de temperatura. Básicamente el principio de funcionamiento de estos dispositivos de medición es el mismo que el de la mayoría de sensores descritos anteriormente. El electrodo de referencia suministra una información constante, en este caso un nivel de voltaje fijo bajo las condiciones a las que es expuesto; por su parte el electrodo sensible al pH generará niveles de voltaje que varían dependiendo del nivel de pH contenido en la muestra bajo prueba, luego la diferencia de potencial que producen los dos electrodos es directamente proporcional al nivel de pH. Finalmente, para visualizar esta medida, el nivel de voltaje es transformado a un nivel de pH que es leído o en un sistema analógico o en uno digital.

1.7 Sistemas autónomos y autómatas

Autónomos son aquellos dispositivos, aparatos, sistemas o máquinas que son capaces de realizar tareas específicas por sí solos sin necesitar de la intervención de nada ni nadie mientras realizan su función. Mientras que el término autómatas se

refiere a mecanismos que consisten en la recepción de una información de entrada, la procesan y suministran una información de salida o resultado final. La Real Academia Española (2014) define autómeta como instrumento o aparato que encierra dentro de sí el mecanismo que le imprime determinados movimientos. Algunos autómetas son los Controles Lógicos Programables (PLC, del inglés Programmable Logic Controller), microcontroladores, microprocesadores, entre otros.

Partiendo de las definiciones anteriores, se puede definir un sistema autónomo y autómeta como aquel que puede realizar tareas predeterminadas que previamente son almacenadas en un dispositivo que ha recibido instrucciones, las ha procesado y luego las ha convertido en salidas que son el resultado final. Por lo tanto, las máquinas industriales automatizadas, un vehículo no tripulado, un robot son ejemplos de sistemas autónomo y autómeta.

Actualmente los vehículos aéreos no tripulados están teniendo un auge sorprendente, con amplio campo de desarrollo. Son usados como sistemas de vigilancia, en la ingeniería civil, en la grabación de eventos, en la medición de niveles de señales para ver la cobertura de compañías telefónicas, en la topografía, etc.

1.7.1 Drones

También conocidos como vehículos no tripulados. Pueden ser aéreos, terrestres, marítimos o una combinación de ellos, en este caso pasaría a ser un híbrido. Por lo general, al hablar de vehículos no tripulados o “drones” se entiende exclusivamente a aquellos del tipo aéreo o UAV (del inglés Unmanned Aerial Vehicle o Vehículo Aéreo No Tripulado), pero existen los del tipo terrestre llamados UGV (del inglés Unmanned Ground Vehicle o Vehículo Terrestre No Tripulado) los cuales serán explicados a continuación.

1.7.2 Dron terrestre

Un dron terrestre o UGV (Vehículo Terrestre No Tripulado, del inglés Unmanned Ground Vehicle) consiste en una plataforma móvil con sensores, computadoras, programas (incluyendo módulos para percepción, navegación adaptación de aprendizaje, etc.), comunicaciones y alimentación (National Academy of Sciences, 2003, págs. 3-4).



Figura 7. Dron terrestre.

Fuente: <https://www.shephardmedia.com/news/uv-online/clearpath-launches-jackal-ugv/>

Mayormente han sido usados en el área militar, especialmente para combates y sistemas de seguridad y vigilancia; pero han sido propuestos para ser usados en el área de la agronomía para monitorear áreas de largas dimensiones donde es difícil mantener todos los procesos y el monitoreo de los frutos por ejemplo las que están infectadas.

En cuanto a la implementación de estos vehículos autónomos en invernaderos, no se encontraron aplicaciones algunas. Hasta el momento sólo se han hecho propuestas pero dentro de las investigaciones ninguna aplicación en agricultura de ambientes controlados fue encontrada.

1.8 Plataforma Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de diseño que permite crear proyectos o prototipos disponibles para todo público, basada en una placa sencilla que contiene entradas y salidas tanto digitales como analógicas. Esta placa de desarrollo está compuesta por múltiples elementos donde el principal de todos es el microcontrolador. El microcontrolador usado por las placas Arduino pertenece a la familia de los microcontroladores Atmega de Atmel. Esta familia de microcontroladores se caracteriza por su sencillez y bajo costo. Cada placa de Arduino tiene un microcontrolador particular. La **Tabla 3** muestra algunos modelos de placas de Arduino y su respectivo microcontrolador.

Tabla 3. Algunas placas Arduino y sus respectivos microcontroladores.
Fuente: diseño propio.

Arduino	Pro Mini	Micro	Uno	Gemma	Mega2560
Microcontrolador	Atmega328p	Atmega32U4	ATmega328	ATtiny85	ATmega2560

Actualmente, la plataforma Arduino es muy reconocida y popular. Algunas de las características principales de las placas de Arduino son: bajo costo, compatibilidad con distintos sistemas operativos (Windows, Linux, Mac OS), código abierto y software y hardware extensibles, o sea, quien guste puede hacer sus propias modificaciones tanto a los programas, muchos de los cuales están

disponibles en múltiples librerías, como a los planos que contienen el diseño electrónico con la circuitería de cada placa.

Para comenzar a utilizar cualquiera de las placas que se desee elegir, se debe instalar el software de Arduino. Este software le permite al usuario crear proyectos, utilizar programas ya diseñados que aparecen como ejemplos, modificar cualquier código disponible en el internet, ver en tiempo real la interacción de la placa con el ordenador y sobre todo programar y cargar sus propios diseños directamente a la placa.

Para lograr la comunicación y la interacción entre el software y la placa Arduino, es necesario utilizar un medio de comunicación compatible entre ambos. Para ello Arduino usa la comunicación serial. Antes de cargar cualquier programa en la placa de Arduino es necesario verificar en cuál de los puertos USB esta está conectada. Una vez seleccionado el puerto y también el tipo de Arduino que se está usando, se procede a subir el programa deseado.

Además de ser usado de manera independiente para la presentación y elaboración de incontables proyectos, la plataforma de Arduino cuenta con la flexibilidad de poder interactuar en conjunto otras plataformas y/o entornos de programación. Por ejemplo, se puede usar una placa de Arduino como medio de obtención de datos a través de sensores conectados a sus entradas analógicas y luego manejar esos datos utilizando una aplicación elaborada en Java. De igual manera se pueden almacenar informaciones obtenidas mediante el Arduino en un sistema de

base de datos. Esta flexibilidad y compatibilidad hace de la plataforma Arduino una herramienta muy poderosa y muy útil.

1.9 Aplicando Arduino a mediciones o control de parámetros climáticos

La plataforma Arduino por su versatilidad y fácil uso se ha convertido en una esencial y perfecta herramienta para el control y manejo de muchas variables. Numerosos sistemas de medición de parámetros pueden ser implementados usando estos pequeños pero potentes dispositivos. Parámetros como la temperatura, humedad, pH, distancia, etc., pueden ser medidos y utilizados por una tarjeta Arduino con el fin de realizar o tomar acciones acordes a estos valores medidos, como por ejemplo advertir de la presencia de un obstáculo, calentar o enfriar un espacio, humedecer o echar agua en un ambiente, etc.

Actualmente muchos proyectos son llevados a cabo empleando sensores de temperatura o incluso sensores de temperatura y humedad combinados, conectados a una tarjeta Arduino que se encarga de recibir los datos provenientes de esos sensores y luego determina qué acción tomar de acuerdo a anomalías que aparecen, con respecto a valores de referencia que son previamente establecidos.

Muchos de los proyectos que usan la plataforma Arduino y la aplican a la medición de parámetros climáticos como son la temperatura o la humedad relativa,

han sido de poco alcance, pues muchas veces solo son destinados a la demostración del uso de esos sensores y a su forma de conexión con las tarjetas Arduino, es decir, aunque muchos programadores han podido integrar estas tecnologías, pocos han realizado proyectos de gran alcance.

En este proyecto se propone utilizar la tecnología que ofrecen las tarjetas Arduino, con el fin de gobernar un vehículo terrestre no tripulado, el cual a través de un recorrido dentro de un invernadero se encargaría de capturar los niveles de parámetros climáticos presentes en este espacio y enviar la información recopilada a un ordenador, advirtiéndolo de algún nivel que esté fuera del rango que las especies allí cultivadas requieran. La **Figura 8** muestra un proyecto realizado con Arduino que simula el control de alguno parámetro propio de un ambiente agrícola.

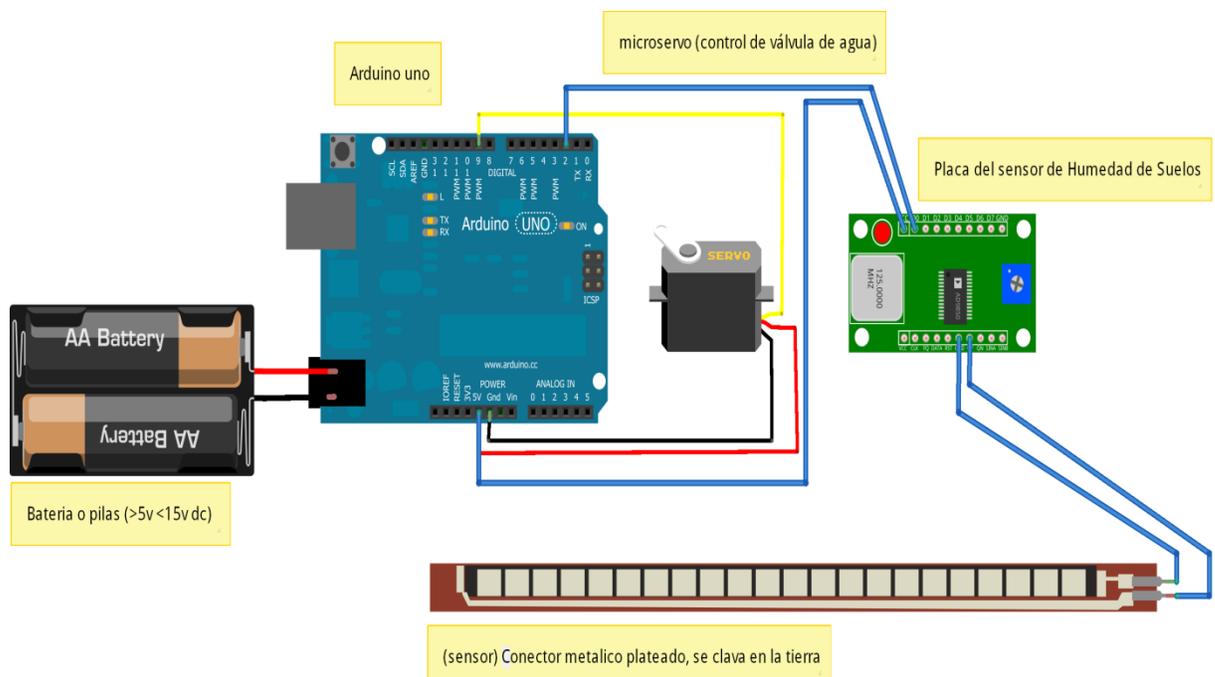


Figura 8. Riego automático para plantas.

Fuente: <http://www.arielmax.com.ar/proyecto-arduino-riego-automatico-para-plantas/>

CAPÍTULO 2: DISEÑO Y SISTEMATIZACIÓN

2.1 Diagrama en bloques del sistema

La **Figura 9** muestra cada uno de los bloques que integran el sistema de medición de parámetros ambientales dentro de los invernaderos que se desea implementar.

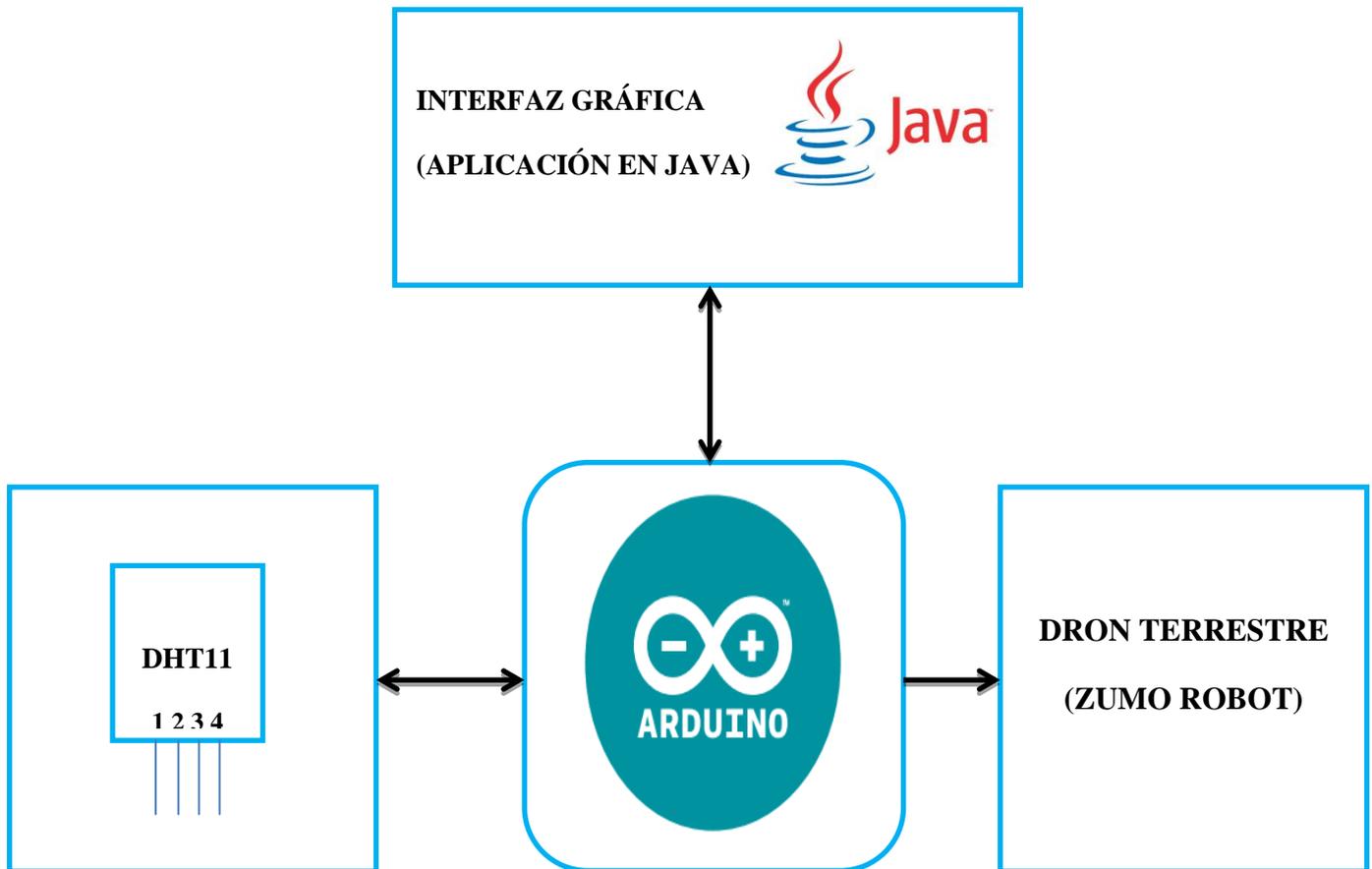


Figura 9. Diagrama en bloques del sistema.

Fuente: diseño propio.

Cada una de las flechas mostradas en la **Figura 9** indican el tipo de conexión o comunicación entre los bloques. O sea, las flechas dobles indican que la comunicación es bidireccional y la simple es unidireccional, es decir desde donde sale hasta donde entra la flecha.

La descripción de cada bloque es como sigue: la interfaz gráfica sostiene una comunicación bidireccional con la placa de Arduino. Esa comunicación se realiza de la siguiente manera; cuando se ejecuta la aplicación en Java que contiene la interfaz, al momento de presionar el botón de captura de los parámetros ambientales, el programa en Java envía un “1” lógico a través del puerto USB donde se encuentra conectada la tarjeta de Arduino, cuando el Arduino recibe este bit que es un bit de petición de datos, entonces el Arduino le devuelve los datos guardados en la memoria EEPROM a través del mismo puerto USB. Algo similar sucede entre el Arduino y el sensor DHT11, en este caso el sensor a través de su pin número dos que es el pin usado para el manejo de los datos, se conecta al pin asignado en el código de Arduino y siempre que el Arduino se lo pida, éste enviará de manera digital los valores de humedad relativa y temperatura que ha leído, esos valores se irán almacenado en la memoria EEPROM colocada en la misma placa Arduino.

Por último, el controlador Arduino sostiene una comunicación unidireccional con el drón terrestre. Solamente cuando el usuario tenga que cargar el programa principal creado en el entorno de desarrollo de Arduino, habrá una comunicación desde la placa de Arduino con el dron. La placa la cual contiene el código de mando le indicará al dron cuándo y hacia dónde debe dirigirse. Por su parte, el drón solo

recibe las instrucciones y las ejecuta y nada más, o sea, el drón solo recibe órdenes de la placa Arduino, las ejecuta y no devuelve ninguna información hacia el sistema.

2.2 Diagramas de flujo del sistema

Los diagramas de flujo tienen la misión de mostrar de manera gráfica y siguiendo un orden, los pasos que se van a llevar a cabo durante la ejecución de una tarea específica. A continuación se muestran cada uno de los procedimientos que deben ser realizados para lograr que el sistema haga cada una de las tareas que se pretenden integrar para lograr los objetivos planteados.

2.2.1 Diagrama de flujo de la etapa de control realizada a través de Arduino

La **Figura 10** muestra el diagrama de flujo de la etapa de control que se realiza a través del código de programación que se carga en la placa Arduino.

Si se observa la **Figura 10**, se puede notar que el algoritmo contenido en el diagrama de flujo consta esencialmente de dos partes fundamentales. Al iniciar el programa hay una condición que pregunta si ya se presionó el botón de arranque del sistema, si es cierto entonces el programa pasa a la etapa de procesos. En esta etapa

se ejecutan los procesos asignados, estos son: la ruta que va a realizar el dron y las mediciones que el sensor colocado en el dron va a tomar durante el recorrido. Una vez finalizado el recorrido entonces el programa finaliza y quedan los datos disponibles para ser capturados desde la aplicación de Java.

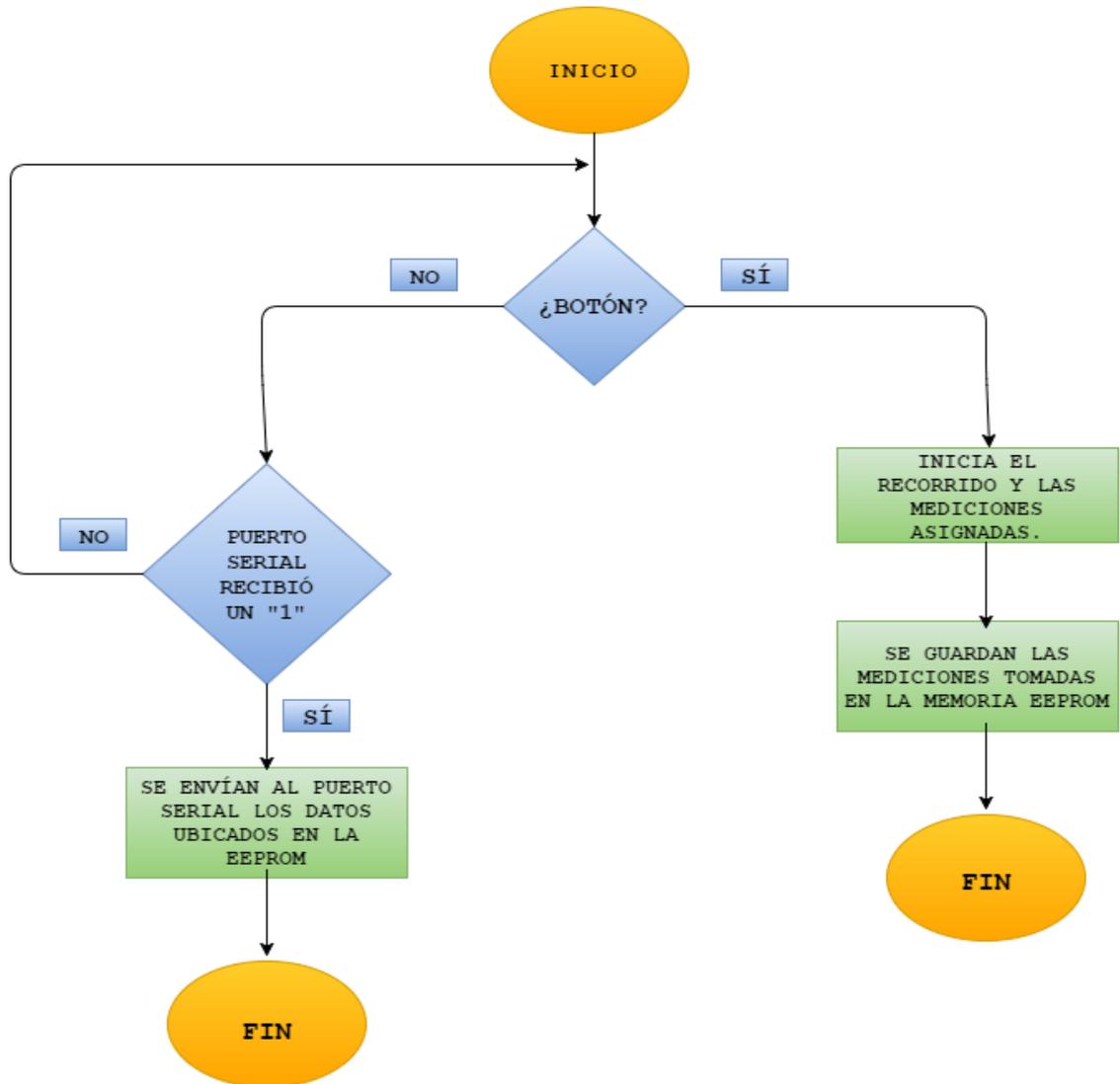


Figura 10. Diagrama de flujo de la etapa de control que se realiza a través de Arduino.
Fuente: diseño propio.

Si no es cierto que se haya ejecutado el botón de empezar, entonces el programa verifica si el puerto serial donde está conectada la placa de Arduino ha recibido un valor “1”, de ser así, se colocan en el puerto USB asignado a la placa de Arduino los valores que se hayan registrados en la memoria EEPROM obtenidos a través del sensor. Si hasta el momento el sistema no habría iniciado su recorrido entonces estos valores serían valores nulos, pero si por el contrario ya se había realizado el recorrido y se conectó de nuevo la placa al computador, entonces los valores colocados en el puerto USB van a corresponder a las mediciones que se hayan tomado y que sí son las que se desean monitorear y evaluar.

2.2.2 Diagrama de flujo de la etapa de obtención y representación de los datos a través de la interfaz gráfica

La **Figura 11** muestra el diagrama de flujo que representa la aplicación en Java, encargada de mostrar en pantalla los resultados de las mediciones que realiza el sensor después de un recorrido a través del área que representa el invernadero.

El algoritmo contenido en la **Figura 11** es como sigue. Primero se declaran las variables globales usadas durante la ejecución del programa, después se ejecuta una función llamada “TablaData”. Antes de que TablaData entre en acción, el programa se encarga de verificar si el puerto USB está disponible, es decir, si la placa Arduino no está siendo usada por cualquier otra aplicación. Después de la verificación de la disponibilidad del puerto, se llama a la función TablaData y aquí

entonces lo que hace el programa es tomar los valores que se encuentran en el puerto USB y los va agregando fila por fila en una tabla.

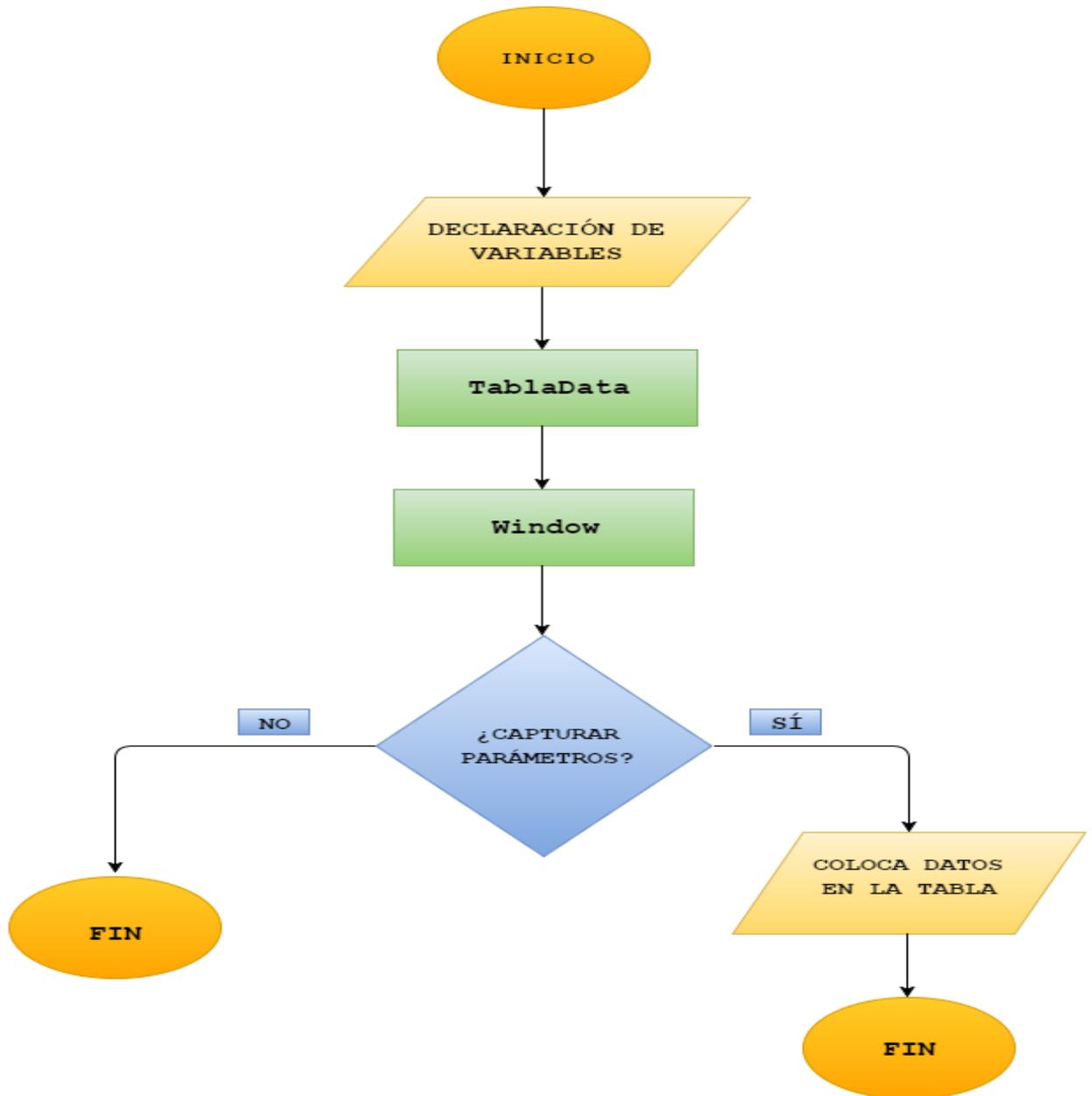


Figura 11. Diagrama de flujo de la etapa de obtención y representación de los datos a través de la interfaz gráfica creada en Java.
Fuente: diseño propio.

Luego la función “Window” se encarga de mostrar en pantalla los valores de cada fila y cada columna, sin embargo para que esos valores de la tabla sean visibles al usuario, éste debe presionar el botón llamado “capturar parámetros”, si es presionado la tabla se llena con cada uno de los valores obtenidos y luego se acaba el programa presionando el botón que dice “salir”, de lo contrario si en ningún momento se le pide al programa que capture los parámetros, la aplicación permanecerá esperando hasta que se soliciten los datos en el botón de captura o hasta que se le indique salir.

2.3 Placa Arduino UNO

Para la programación y el control del sistema de recorrido del dron terrestre y para la recolección de los datos a través del sensor empleado, se usará la placa Arduino UNO. Existen muchos modelos de placas de Arduino pero para la implementación de este proyecto la que mejor se ajusta a las necesidades es esta.



Figura 12. Arduino Uno.

Fuente: <https://blog.arduino.cc/2011/01/page/2/>

Esta placa como casi todas las demás placas de Arduino cuenta con un microcontrolador de la marca Atmel, específicamente el Atmega328. Además, el diseño electrónico tiene reguladores de voltaje, un puerto USB a través del cual se puede programar el microcontrolador desde cualquier PC. También cuenta con 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida digitales y tiene entradas y salidas analógicas.

En las entradas analógicas se pueden conectar los sensores con el fin de obtener los datos que estos suministran. Por su parte, las salidas analógicas por lo regular se utilizan para enviar señales de control en forma de señales PWM.

Algunos pines especiales con los que cuenta esta placa son:

- **RX y TX:** Se usan para transmisiones serie de señales TTL.
- **PWM:** 6 de los 14 pines de entrada o salida digital pueden ser usados por el Arduino UNO para generar señales PWM, estos son (3, 5, 6, 9, 10, 11).
- **SPI:** Los pines 10, 11, 12 y 13 pueden utilizarse para llevar a cabo comunicaciones SPI, para interconexión de información de forma full dúplex en un entorno Maestro/Esclavo.

En lo que concierne a la alimentación, esta placa puede ser alimentada directamente por medio del cable USB o mediante una fuente de alimentación externa, como puede ser un pequeño transformador o, por ejemplo una pila o arreglo de pilas que sumen 9V. Ver las especificaciones de esta placa en el Apéndice B.

2.4 Selección y programación del dron terrestre

Para los fines de presentación de este proyecto, por cuestión de tiempo, espacio y recursos económicos del autor, el propósito es buscar la forma más fiable, sencilla y efectiva a través de la cual se puedan llevar a cabo los objetivos previamente planteados. Algunos modelos de vehículos terrestres no tripulados (UGV, de sus siglas en inglés) fueron evaluados. Algunos fueron rechazados por su costo en relación con su funcionalidad, otros sencillamente porque no eran compatible con la finalidad del proyecto. Finalmente, el modelo seleccionado fue el “Zumo Robot”, precisamente el que la Universidad Apec (Unapec) ha usado últimamente para la enseñanza de programación de microcontroladores, específicamente en la materia Laboratorio de Microcontroladores 2, usando la plataforma Arduino.



Figura 13. Dron terrestre Zumo Robot.
Fuente: <https://www.pololu.com/product/2506>

El Zumo Robot es una plataforma autómatas controlada a través de Arduino. Está diseñado para soportar una placa de Arduino Uno o Leonardo, que pueden ser directamente enchufadas dentro de los pines tipo macho colocados en su parte posterior. Afortunadamente, la placa de Arduino que se va usar es la Arduino Uno.

El circuito integrado DRV8835 es un controlador de motores, que se encarga del manejo de ambos motores colocados en cada lado del Zumo Robot. Para ello el Zumo Robot emplea cuatro pines de la placa de Arduino. El pin digital número 7 de la placa Arduino controla la dirección del motor derecho (si está en cero va hacia adelante, si es uno o estado alto va hacia atrás), el pin digital número 8 controla la dirección del motor izquierdo, el pin digital número 9 se encarga del control de la velocidad del motor derecho a través de una señal PWM y por último el pin número 10 controla la velocidad del motor izquierdo también a través de una señal PWM. La Figura 14 muestra cómo irán conectados los pines del Zumo Robot al Arduino UNO y también los pines del sensor DHT11.

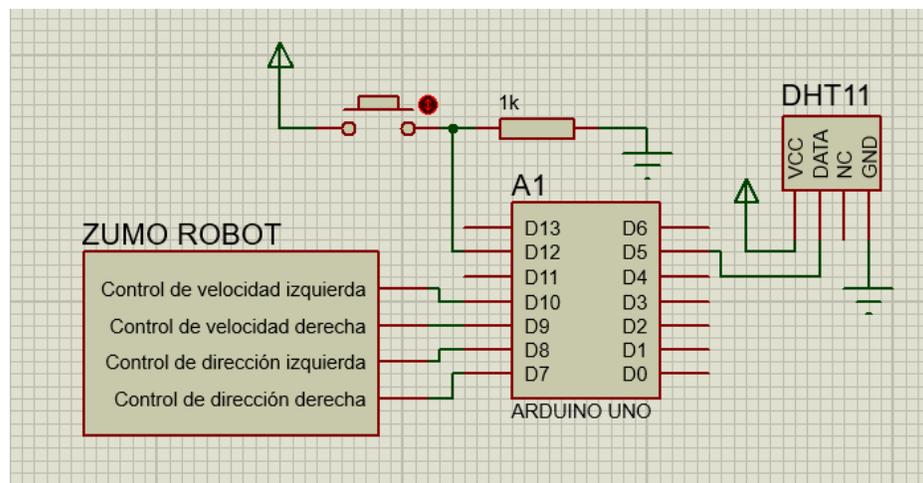


Figura 14. Conexión de los pines del Zumo Robot y el sensor DHT11 con el Arduino UNO.

Fuente: diseño propio.

Tomando en cuenta las características expuestas anteriormente, este pequeño autómata se convierte en la herramienta perfecta para representar el dron terrestre que se encargará de simular el recorrido dentro de un invernadero, guiado por el código de programación que se le asignará. Ver el código de programación del recorrido en el Apéndice A.

2.5 Sistemas sensores

Para la medición de la temperatura, las placas de Arduino pueden usar un sensor LM35 o TMP36, que son usados únicamente para medir niveles de temperatura en rangos que van desde alrededor de -55°C a 150°C y -40°C a 125°C respectivamente o bien pueden usar un sensor de la familia DHT que son capaces de medir tanto temperatura como humedad al mismo tiempo.

Como el objetivo principal de este `proyecto de grado es medir tanto humedad como temperatura dentro de espacios cerrados dedicados a la agricultura, específicamente en invernadero; se usará entonces el sensor DHT11 que es un sensor de la familia de los DHT. La familia de los sensores DHT cuenta hasta el momento con dos variantes el DHT11 y el DHT22.

El sensor DHT11 es un sensor de humedad relativa y temperatura compacto en un solo dispositivo, que tiene una señal de salida digital calibrada. Es barato, fácil de usar, pequeño y de bajo consumo. Cada una de sus características lo

convierte en el sensor ideal para adaptarlo al proyecto. El sensor está internamente conformado por un componente de medida de humedad del tipo resistivo y un componente de medición de temperatura NTC y se conecta a un microcontrolador, ofreciendo excelente calidad y una adecuada velocidad de respuesta. La **Figura 15** muestra el diagrama de conexión de los pines de este sensor.

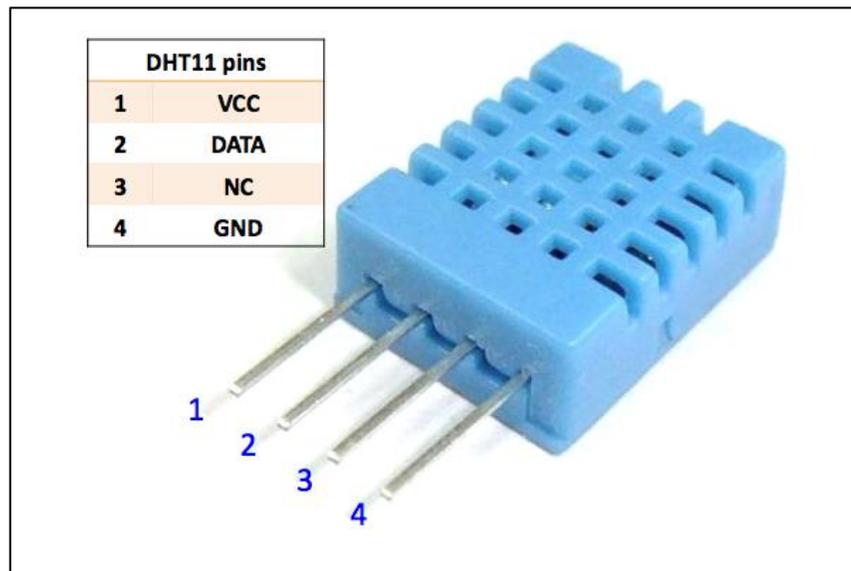


Figura 15. Descripción de los pines del sensor DHT11.
Fuente: <http://mikroe.es/sensor-de-humedad-y-temperatura-dht11/>

Como se observa en la figura anterior el sensor DHT11 consta de 4 pines de los cuales solamente tres se usan. Conectar el sensor a la placa de Arduino es igualmente una tarea sencilla. El pin número uno (VCC) se conecta a una de las conexiones de cinco voltios que tiene la placa de Arduino, el pin número dos (DATA) es el que se encarga de la recolección de los datos, en este caso la humedad relativa y la temperatura, y se conecta a uno de los pines digitales del Arduino, dicho pin debe ser configurado como entrada y por último el pin número cuatro

(GND) se conecta a una de las conexiones de tierra que hay en el Arduino. El pin número tres no se conecta.

La **Figura 16** muestra un ejemplo de un esquema eléctrico con la conexión de este sensor a una placa de Arduino. Además en el Apéndice B se puede visualizar una tabla con las características principales de este sensor.

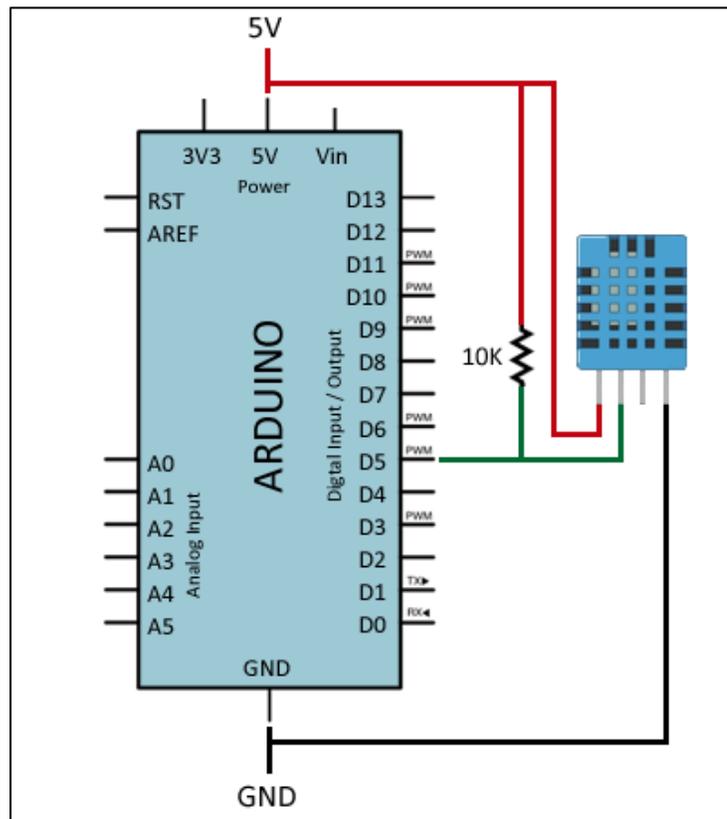


Figura 16. Conexión eléctrica del sensor DHT11 a una placa de Arduino.
Fuente: <http://www.luisllamas.es/2016/03/arduino-dht11-dht22/>

Como lo ilustra la **Figura 16**, el sensor es alimentado directamente desde la placa Arduino. Una vez alimentado, se recomienda no enviar ningún tipo de instrucción al sensor durante al menos un segundo, de manera que transcurrido este

tiempo éste pueda lograr estabilizarse. La comunicación e intercambio de los datos, que es bidireccional, se realiza a través del pin digital número cinco en el caso de este ejemplo. Cualquier pin digital puede ser usado para estos fines.

Se pueden leer los datos que el sensor suministra a la placa de manera directa y leyendo las señales cada cierto tiempo usando la comunicación adecuada según la hoja de datos del sensor. Pero para el caso de Arduino se prefiere emplear una de las diversas librerías ya creadas, que contienen parte del código usado para controlar y leer los valores del sensor. En el Apéndice A aparece el código de configuración del sensor y cómo realiza la lectura.

2.6 Monitoreo de factores ambientales

Como se mencionó en el Capítulo 1, en los invernaderos podrían monitorearse un sin número de factores ambientales, entre ellos están: la temperatura, la humedad, el nivel de CO₂, la luminosidad, el pH en el suelo, la conductividad, entre otros.

Este proyecto de grado tratará en particular las mediciones de la temperatura y la humedad relativa. De ser posible y si el tiempo alcanza se podría tratar de agregar otras mediciones. Como se aprecia en el apartado anterior, el sensor que se usará para tomar las mediciones de simulación y a manera de prototipo es el sensor DHT11.

Si se decidiera agregar la medición de otros parámetros como la luminosidad, se podría intentar algunas configuraciones con resistencias dependientes de luz que servirían para comparar el nivel de luz que ellas reciben y así simular la cantidad de luz que entraría al invernadero.

Por otro lado, existen sensores para medir el pH del suelo y la humedad del mismo, pero adaptarlos al dron terrestre resulta complicado pues para realizar las mediciones es necesario que sean introducidos en el suelo y para ello habría que crear un mecanismo de presión para enterrarlos durante un tiempo y luego extraerlo. Explorando esas posibilidades se llegó a la conclusión de que el tiempo no alcanzaría para realizar las investigaciones pertinentes para desarrollar ese sistema. Por lo tanto, esas implementaciones que se podrían añadir para monitorear los demás parámetros que también son importantísimos dentro de un invernadero, quedarán como parte de las posibles adicciones que se podrían agregar al sistema.

2.7 Interfaz gráfica de monitoreo

La interfaz gráfica de monitoreo consiste en un entorno gráfico donde interactúen el usuario (persona) con la computadora. En este caso, ésta debe ser capaz de capturar los datos, que la placa de Arduino a través del sensor o de los sensores empleados para medir los parámetros que se deseen monitorear suministra, y presentarlos en la pantalla o monitor de un ordenador o computadora, de manera que el usuario o persona encargada de manejar el sistema de medición que se desea

diseñar, pueda percatarse y estar al tanto de los niveles de medición que cada sensor arroja luego de que el dron hace el recorrido adecuado en la ruta que previamente se le asignará.

2.7.1 Tipo de interfaz gráfica

Luego de explorar las distintas opciones y los distintos lenguajes de programación que podrían ser empleados para crear la interfaz gráfica según las intenciones del proyecto, se decidió usar el lenguaje de programación y entorno Java.

La aplicación creada en Java consistirá en una interfaz que contiene una tabla donde se muestran los resultados de las mediciones que el sensor DHT11 realiza. Es decir, después de que el dron haga su recorrido por el espacio que simularía el invernadero, se conectará la placa de Arduino a la computadora a través de uno de los puertos USB y tras presionar un botón en el entorno gráfico de Java, se visualizarán cada una de las mediciones hechas en el recorrido, tanto de humedad relativa como de temperatura.

2.7.2 La interfaz gráfica y el usuario

Aquí lo que se busca es que el usuario pueda de forma fácil y sencilla manejar el entorno gráfico. La **Figura 17** muestra cómo luce la ventana de la interfaz gráfica una vez se ejecuta la aplicación en Java.

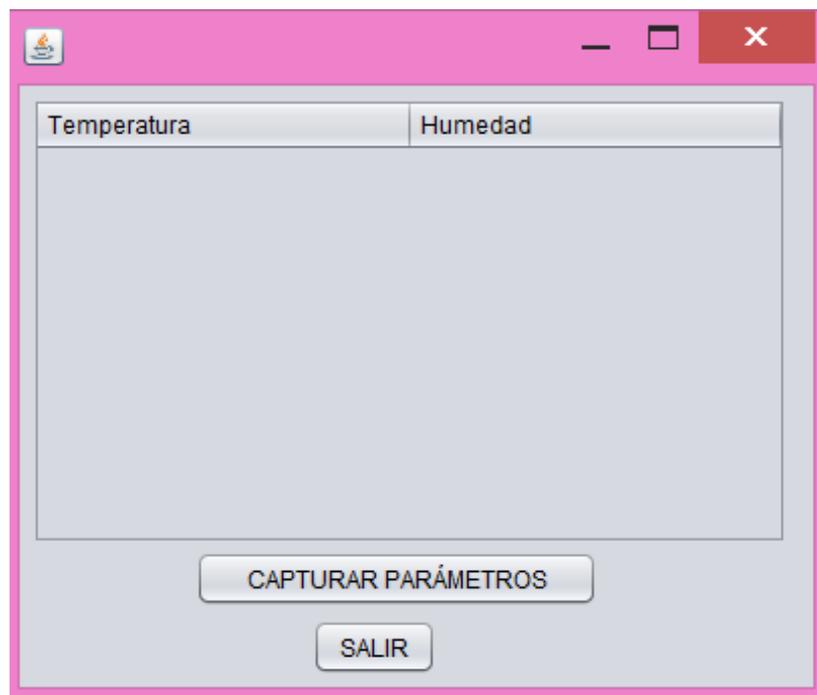


Figura 17. Apariencia de la interfaz gráfica para visualización de los parámetros ambientales creada en Java.

Fuente: diseño propio.

Después de ser presionado el botón que aparece en la **Figura 17** con el nombre “capturar parámetros”, se obtienen los valores de temperatura y humedad relativa del ambiente. Esos valores son el resultado de las mediciones hechas durante el recorrido del dron por el área que simula el espacio dentro del invernadero, éstos serán guardados en la memoria EEPROM de la placa Arduino

UNO y serán mostrados en pantalla cuando se ejecute la aplicación en Java e inicie la comunicación entre el puerto serie donde esté conectada la placa y la computadora. Si el usuario desea salir de la aplicación solo tiene que hacer clic el botón de la interfaz que dice “salir”.

Otra característica importante que tendrá la interfaz gráfica es que siempre que los valores de temperatura y humedad relativa no estén dentro del rango que se le asigne como representación de los valores óptimos para el cultivo que se desee evaluar, éstos valores serán sombreados de color rojo si se trata de la humedad y de azul en caso de que sea la temperatura, indicando al usuario encargado que debe revisar las condiciones climáticas en el área donde aparece el sombreado.

2.8 Procesos de comunicación

Los procesos de comunicación explican cómo cada una de las partes que integran el sistema se comunican entre sí.

2.8.1 Implementación de comunicación entre sensores y el dron

La comunicación entre los sensores y el dron terrestre es bien sencilla. Es una interconexión directa de pin a pin. La **Figura 18** muestra la distribución de los pines usados como entradas y salidas del dron terrestre (Zumo Robot).

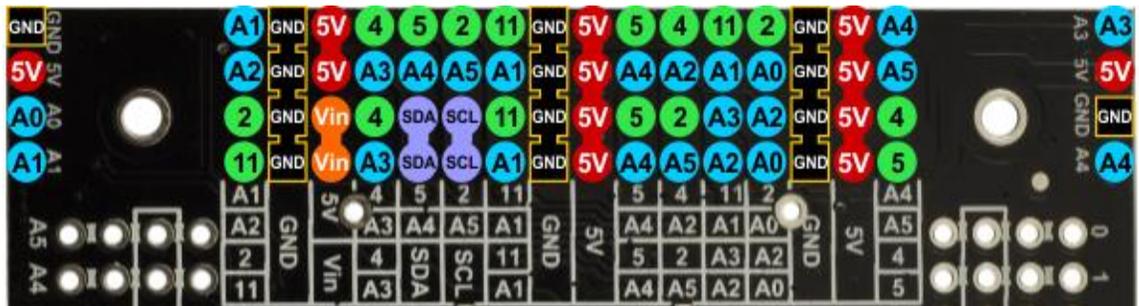


Figura 18. Distribución de los pines usados como I/O del Zumo Robot.
Fuente: <https://www.robotgear.com.au/Blog/post/2016/01/11/Build-your-own-Zumo-Robot.aspx>

La **Figura 18** muestra cómo están organizados los pines que usa el Zumo Robot para la conexión de sensores y otros dispositivos periféricos. Cada uno de los pines está nombrado con el mismo nombre que tiene en la placa Arduino, es decir, para conectar cualquier periférico que ha sido declarado en el programa creado en el entorno de desarrollo de Arduino, sólo basta con conectarlo directamente al espacio identificado con el nombre del pin en el Zumo Robot. En la imagen los pines según su naturaleza están identificados con distintos colores. Los pines que tienen color

verde representan aquellos que pueden ser usados como entradas o salidas digitales, los identificados con el color azul cielo son aquellos que representan las entradas o salidas analógicas, los de color morado son pines duplicados que dependiendo de la placa Arduino usada pueden representar pines analógicos o digitales, los pines de alimentación están claramente señalados, o sea, los pines con un 5V indican cinco voltios o VCC, mientras que los pines de tierra son aquellos que dicen GND. Por último, hay dos pines que tienen color naranja, estos son pines de alimentación positiva que soportan 7.45 voltios.

Entonces para conectar el sensor DHT11 con el Zumo Robot solo sería necesario colocar los tres pines del sensor en su lugar correspondiente de la parte frontal del dron. Esto es, el pin número uno del sensor que representa VCC se colocaría en cualquiera de los pines identificados como 5V en la **Figura 18**, por su parte el pin número dos del sensor que representa el pin de comunicación de los datos se conectaría con cualquiera de los pines coloreados en la **Figura 18** con el color verde, sabiendo que ese mismo pin debe ser el que esté siendo usado en el código de programación y finalmente el pin número cuatro del sensor o GND (tierra) debe ir conectado a cualquiera de los pines identificados como GND en el Zumo Robot.

2.8.2 Implementación de comunicación entre dron e interfaz

La comunicación entre el dron terrestre y la interfaz gráfica se realiza también a través del puerto USB al que esté conectada la placa de Arduino que a su vez va insertada encima del Zumo Robot.

La interfaz creada en Java cuenta con un algoritmo capaz de determinar si hay o no una placa de Arduino en el puerto serie correspondiente, es decir, una vez ejecutada la aplicación que representa la interfaz, ésta se encarga de verificar si el puerto serie configurado en el código de programación está disponible y si lo está entonces espera a que el usuario encargado de manejar el sistema presione el botón que sube los datos enviados desde la placa Arduino. Ver código en el Apéndice A.

Definitivamente toda la comunicación del sistema se realiza de manera serial. Podrían implementarse otros tipos de comunicaciones como por ejemplo bluetooth, wifi, RF u otras. Pero como la decisión de elegir cuál era la comunicación a ser usada era algo que determinaría el autor, por el momento se decidió comunicar todo el sistema de manera directa, o sea, después de cargar el programa principal que controla el dron terrestre y hace las mediciones de temperatura y humedad relativa durante el recorrido, el dron vuelve a ser conectado a la computadora para descargar las informaciones obtenidas por el sensor y ser evaluadas por la interfaz.

CAPÍTULO 3: EJECUCIÓN Y SIMULACIÓN

3.1 Pruebas realizadas

A través del desarrollo de este proyecto se han realizado múltiples pruebas. Primero se hicieron pruebas para el manejo del dron terrestre. Sin duda alguna esta ha sido una de las partes más tediosa sorpresivamente, pues aunque el código para el manejo del Zumo Robot no es complicado, lograr que éste haga los giros adecuados y que siga la trayectoria indicada perfectamente ha sido casi imposible. Esto se debe principalmente a que el Zumo Robot cuenta con un sistema de motores muy sencillos y de muy poca precisión. El siguiente código fue empleado en las primeras pruebas de simulación del recorrido.

```
digitalWrite(giroderecho, LOW); //HACIA DELANTE
digitalWrite(giroizquierdo, LOW);
analogWrite(velocidadderecha, 50);
analogWrite(velocidadizquierda, 50);
delay(5000);

digitalWrite(giroderecho, LOW); //HACIA LA DERECHA
digitalWrite(giroizquierdo, HIGH);
analogWrite(velocidadderecha, 0);
analogWrite(velocidadizquierda, 70);
delay(3000);

digitalWrite(giroderecho, HIGH); //HACIA LA IZQUIERDA
digitalWrite(giroizquierdo, LOW);
analogWrite(velocidadderecha, 70);
analogWrite(velocidadizquierda, 0);
delay(3000);
```

En el código quedan omitidas las declaraciones de las variables y sólo se presentan las configuraciones de cada uno de los pines de control tanto de las velocidades como de los giros de los motores. Con estas velocidades se pudo apreciar que al momento de girar tanto hacia la derecha como a la izquierda, los giros eran imprecisos. Se hicieron múltiples pruebas hasta que la más precisa se logró haciendo que al momento del giro un motor gire hacia un lado y el otro en sentido opuesto. El código siguiente muestra las modificaciones.

```
digitalWrite(velocidadderecha, LOW);
digitalWrite(velocidadizquierda, LOW);
delay(500);
digitalWrite(giroderecho, LOW);
digitalWrite(giroizquierdo, LOW);           //HACIA DELANTE
analogWrite(velocidadderecha, 80);
analogWrite(velocidadizquierda, 80);
delay(2000);

digitalWrite(velocidadderecha, LOW);
digitalWrite(velocidadizquierda, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(giroderecho, HIGH);
digitalWrite(giroizquierdo, LOW);         //HACIA LA DERECHA
analogWrite(velocidadderecha, 90);
analogWrite(velocidadizquierda, 90);
delay(1100);

digitalWrite(velocidadderecha, LOW);
digitalWrite(velocidadizquierda, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(giroderecho, LOW);           //HACIA LA IZQUIERDA
digitalWrite(giroizquierdo, HIGH);
analogWrite(velocidadderecha, 70);
analogWrite(velocidadizquierda, 0);
delay(1100);
```

En lo que concierne al sensor DHT11, la manipulación de éste resultó cómoda. Algunas pruebas fueron hechas utilizando el siguiente código.

```
#include <DHT.h>           //Se incluye la librería que maneja el sensor
#include <EEPROM.h>        //Se incluye la librería de manejo de la EEPROM

#define DHTPIN 2           //Pin de conexión del sensor
#define DHTTYPE DHT11     //Se selecciona el DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int dir = 0;

void setup() {

Serial.begin(9600);       //Se establece la velocidad de transmisión
  dht.begin();           //Se inicia la comunicación con el sensor
}

void loop() {

  float h = dht.readHumidity(); //Se lee el valor de humedad
  float t = dht.readTemperature(); //Se lee la temperatura
  EEPROM.write (dir, t);
  dir = dir + 1;           //Las mediciones se guardan en las
  EEPROM.write (dir, h);   // variables t y h del tipo float y
  Serial.print(t);        //se almacenan en espacios de la
  Serial.println(" *C, "); // memoria EEPROM. Luego se imprimen
  delay(10);              // por el puerto serial de forma
  Serial.print(h);        // concatenada.
  Serial.println(" %");
  dir = dir + 1;
  delay(2000);
//}
}
```

La **Figura 19** muestra cómo eran obtenidos los resultados en el monitor serie del entorno de desarrollo de Arduino utilizando el código descrito anteriormente.

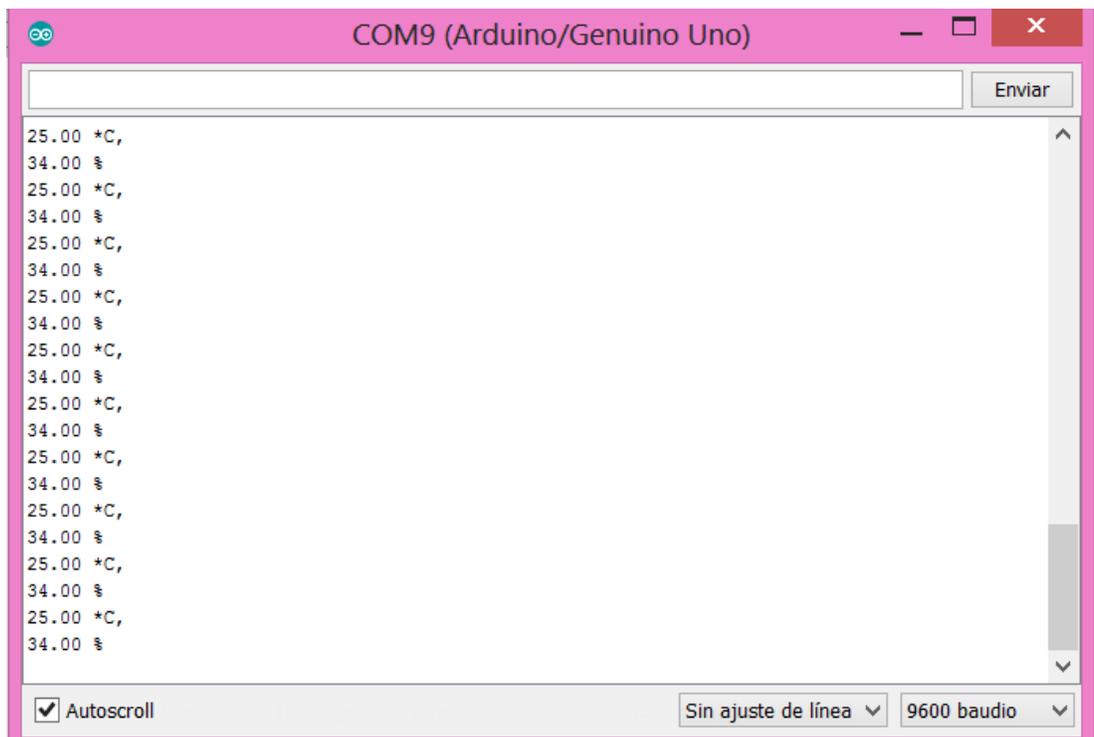


Figura 19. Lectura de la temperatura y la humedad en el monitor serie de Arduino, usando el sensor DHT11.
Fuente: diseño propio.

Luego de comprobar que el manejo del sensor se podía lograr, habría que crear la interfaz gráfica que se comunicará con la placa de Arduino a través del puerto USB y que fuera capaz de graficar esta misma información que se visualizaba en la **Figura 19**. La creación de esta interfaz fue sin lugar a dudas una de las tareas más complicada pues programar en Java era algo totalmente nuevo. En muchas ocasiones después de haber creado el código para la interfaz los resultados no eran satisfactorios, ya sea porque no hacía totalmente nada, es decir, no se comunicaba con la placa Arduino o porque hacía sólo una parte de lo que se esperaba.

Al final muchas de las fallas eran ocasionadas por algunas declaraciones o llamadas a funciones dentro del código que estaban mal ubicadas. Por ejemplo, una de las partes de la interfaz gráfica que causó más problemas fue lograr que una vez

adquiridos los valores de temperatura y humedad relativa desde la placa de Arduino, ubicada en uno de los puertos USB, pudieran ser sombreados con un color que indicara una alerta a quien maneje la interfaz. Con el siguiente fragmento del código se explica algunos de estos errores de programación.

```
public void TablaData () {  
  
    if (intercalar == 0) {  
        intercalar = 1;  
        conteo++;  
        temperatura = Double.parseDouble(arduino.printMessage());  
    }  
    else if (intercalar == 1) {  
        intercalar = 0;  
        conteo++;  
        humedad = Double.parseDouble(arduino.printMessage());  
        Modelo.addRow(new Object[]{temperatura, humedad});  
  
jTable1.setDefaultRenderer(Object.class, new TablaCellRendererColor()); //Línea de código mal ubicada.  
  
    }  
  
}  
  
public Window () {  
    initComponents();  
    Modelo = (DefaultTableModel) jTable1.getModel();  
    try {  
        arduino.ArduinoRXTX("COM10", 2000, 9600, evento);  
    } catch (Exception ex) {  
        Logger.getLogger(Window.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);  
    }  
  
}
```

En esta parte del código, la línea `jTable1.setDefaultRenderer(Object.class, new TablaCellRendererColor())` es la que trae los datos de cada celda de la tabla que contiene los valores de temperatura y humedad relativa, que se encuentran en una clase llamada `TablaCellRendererColor` que es la que se encarga de evaluar que tanto la humedad como la temperatura estén en el rango deseado. Si se deja ubicada ahí justo después de que la función `TablaData` agregue en la tabla una línea con los valores extraídos del puerto, sucede lo siguiente. Ver **Figura 20**.

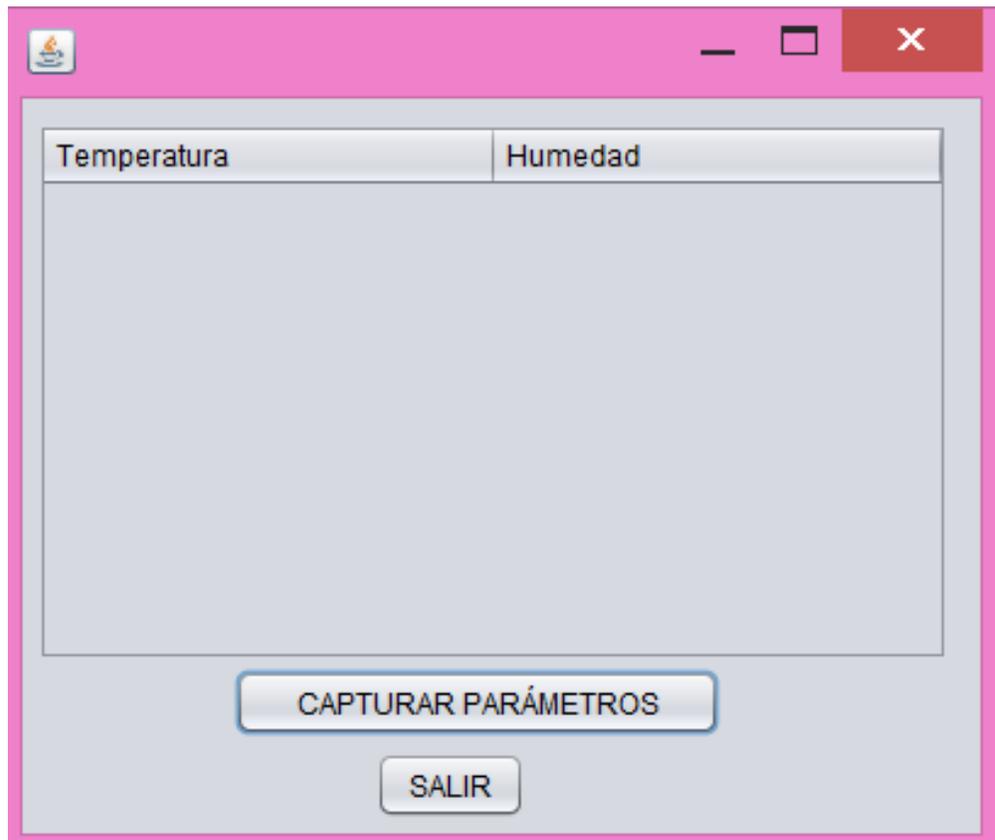


Figura 20. Interfaz gráfica con problemas para cargar los datos.
Fuente: diseño propio.

En este caso, tras presionar el botón de capturar era imposible visualizar los datos en la interfaz ya que no se había inicializado la clase que manejaba el sombreado de color de las celdas, dicha clase es `new TablaCellRendererColor()`. Sin embargo, intentando una y otra vez y analizando el código, también viendo ejemplos en el internet, fue posible resolver este problema. La solución fue sencillamente colocar la línea, `jTable1.setDefaultRenderer(Object.class, new TablaCellRendererColor())`, en la ubicación siguiente dentro del código.

```
public void TablaData () {  
  
    if (intercalar == 0) {  
        intercalar = 1;  
        conteo++;  
        temperatura = Double.parseDouble(arduino.printMessage());  
    }  
}
```

```

    }
    else if (intercalar == 1){
        intercalar = 0;
        conteo++;
        humedad = Double.parseDouble(arduino.printMessage());
        Modelo.addRow(new Object[]{temperatura, humedad});
    }
}
}
public Window() {
    initComponents();
    Modelo = (DefaultTableModel) jTable1.getModel();
    try {
        arduino.ArduinoRXTX("COM10", 2000, 9600, evento);
    } catch (Exception ex) {
        Logger.getLogger(Window.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }
jTable1.setDefaultRenderer(Object.class, new TablaCellRendererColor());//Línea de código bien ubicada.
}
}

```

Una vez colocada la línea `jTable1.setDefaultRenderer(Object.class, new TablaCellRendererColor())` en esta parte del código, la interfaz funcionaría y los datos serían mostrados en pantalla. Además serían sombreados en caso de estar fuera del rango que se le especificó en el programa. En este caso el código funcionó debido a que el constructor de la clase principal llamada Window sí podría inicializar la clase que maneja el sombreado de las celdas. En el caso anterior nunca inicializaría.

3.2 Resultados obtenidos

Con la integración de todas las partes del sistema, se logró medir dos parámetros esenciales que intervienen en el desarrollo óptimo de cualquier cultivo, estos son la humedad relativa y la temperatura. El sistema, integrado por un dron terrestre llamado Zumo Robot, un sensor de humedad y temperatura (DHT11) compacto en un sólo encapsulado, una placa de Arduino modelo Arduino UNO y la creación de una interfaz gráfica creada en Java, fue capaz de realizar el recorrido que se le asignó, aunque por razones técnicas y calidad de los motores ubicados en el Zumo Robot le faltó precisión, adquirió los valores reales de la humedad relativa y la temperatura del ambiente y finalmente la interfaz gráfica como parte del sistema de medición de parámetros de cultivos agrícolas en invernaderos, fue capaz de adquirir los datos y sombrear aquellos que indicaban estar fuera del rango deseado. La **Figura 21** muestra la interfaz gráfica con valores de humedad relativa y temperatura tomados luego de que el dron terrestre hiciera un recorrido.

En la **Figura 21** se puede apreciar que todos los valores colocados en la columna con el nombre de humedad están coloreados de rojo. Esto es porque en el programa se le especificó que siempre que los valores de humedad sean menores que 50 o mayores que 70, entonces haga la alerta. A continuación se muestra esta parte del código donde se colocan los rangos tanto para la humedad como para la temperatura.

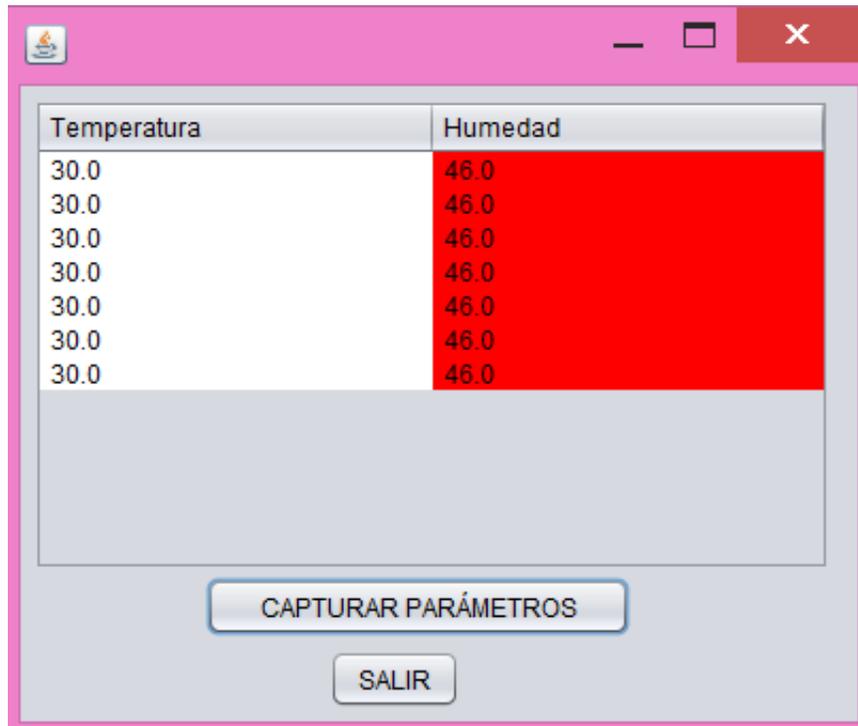


Figura 21. Interfaz gráfica con valores de temperatura y humedad relativa reales.
Fuente: diseño propio.

```

if(column == 0){
    if(valor < 17 || valor > 30){

        cell.setBackground(Color.blue);
    }
    else{
        cell.setBackground(Color.white);
    }
}

if(column == 1){
    if(valor < 50 || valor > 70){

        cell.setBackground(Color.red);
    }
    else{
        cell.setBackground(Color.white);
    }
}

```

Si se observa la **Figura 21**, todos los valores de temperatura están sin colorear, esto es porque según el programa los valores de temperatura solo serían sombreados (en color azul) si su valor fuera o menor que 17 o mayor que 30. Ambos rangos, tanto el especificado para la humedad como el especificado para la temperatura, corresponden a los rangos ideales para el cultivo de tomates.

3.3 Verificación del cumplimiento de los objetivos planteados

Con la elaboración de este proyecto, se pudo crear un prototipo capaz de monitorear la humedad relativa y la temperatura en áreas que simulan un invernadero. Se logró crear la interfaz gráfica justo como se esperaba, que le indica a un usuario cuándo en una aérea específica ya sea la humedad relativa o la temperatura o incluso ambas, están en necesidad de ser mejoradas.

También se pudo seleccionar el dron que en un principio fue considerado como el más apropiado para llevar a cabo los procesos de simulación a manera de prototipo, pero aunque fue capaz de realizar el recorrido, su precisión y exactitud no fueron las esperadas.

CONCLUSIONES

El objetivo principal era diseñar un sistema capaz de medir parámetros de cultivos agrícolas en invernaderos de propósito específico, a través de un dron terrestre. Además, se esperaba que el sistema fuera capaz de monitorear la humedad y la temperatura y que le indicara al usuario a través de una interfaz gráfica sencilla cuándo un producto necesitaba su intervención.

El proyecto básicamente cumplió con los propósitos propuestos. El dron terrestre fue capaz de simular un recorrido, aunque con algunas deficiencias. El prototipo creado, integrado por el dron terrestre y un sensor de humedad relativa y temperatura (combinado) pudo obtener los valores de estos parámetros climáticos.

La interfaz gráfica también establecida como uno de los objetivos, pudo ser creada tal y como se esperaba, sencilla y de fácil manejo, capaz de suministrar los datos adquiridos por el sensor a un usuario, y que además como también se había propuesto, puede indicarle a éste cuándo en un aérea específica ya sea la humedad relativa, la temperatura o las dos, están fuera del rango deseado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para lograr un recorrido más preciso y exacto, utilizar un dron terrestre más sofisticado y de mejor calidad o crear uno que sea capaz de realizar giros más estables y de mayor precisión.

Se recomienda en caso de trabajar en ambientes donde las temperaturas puedan sobrepasar los 50 grados centígrados y disminuir por debajo de cero grados centígrados, utilizar un sensor de mayor rango.

Se recomienda si se desea recibir la información capturada por el o los sensores de manera inalámbrica, adaptar un sistema de comunicación entre la placa Arduino y la computadora con bluetooth, wifi o cualquier otro medio de comunicación inalámbrica.

Se recomienda crear una tabla que sirva como base de datos, en el caso de que se quieran guardar datos estadísticos para luego verificar comportamientos previos en distintas épocas del año.

BIBLIOGRAFÍA

- Almansa Espín, E. M. (2011). TESIS DOCTORAL. *Sistema Híbrido de iluminación para el desarrollo de plantas. Aplicación en Invernaderos*. Granada, Granada, España: Editorial de la Universidad de Granada.
- Alvarado V., P., & Urrutia S., G. (2000). Invernaderos. *Revista el Agroeconómico* , 1-2.
- Barrera, E. M., Herrero N., R. V., & Meraz G., A. R. (2014). Invernaderos Inteligentes. *Tesis de pregrado*. México, México.
- DeGannes, A., Ra Heru , K., Mohammed, A., Paul, C., Rowe, J., Sealy, L., y otros. (2014). *TROPICAL GREENHOUSE GROWERS MANUAL FOR THE CARIBBEAN*. St. Augustine, Trinidad and Tobago: CARDI.
- Española, R. A. (1997). Diccionario de la Lengua Española. *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid, Madrid, España: Espasa Calpe, S.A.
- Fernández Fernández, M. M., Aguilar Pérez, M. I., Carrique Pérez , J. R., Tortosa Domingo, J., García García , C., López Rodríguez, M., y otros. (2014). Suelo y medio ambiente en invernaderos. Sevilla, Sevilla, España: Lumen Gráfica S.L.
- Gassó Busquets, F., & Solomando Valderrabano, S. (12 de Enero de 2011). Estructura e Instalaciones de un invernadero. Barcelona, Barcelona, España.
- GeneratePress. (Miércoles de febrero de 2013). <http://www.tecnicoagricola.es/>. Obtenido de <http://www.tecnicoagricola.es/>: <http://www.tecnicoagricola.es/ph-de-un-suelo/>
- Girón González, E. (Junio de 2012). Proyecto de fin de carrera realizado en intercambio académico . *LEDs for General and Horticultural Lighting/LEDs para la Iluminación General y para Horticultura*. Leganés, Comunidad Autónoma de Madrid, España.
- Hernández Rangel, L. E., Pineda , W., & Bayona Ruiz, D. A. (s.f.). Sistema de Control de humedad y temperatura para invernaderos. *Sistema de Control de humedad y temperatura para invernaderos*. Duitama, Boyacá, Colombia.
- <http://www.laboratoriometrologico.com/>. (s.f.). Recuperado el 14 de Junio de 2016, de <http://www.laboratoriometrologico.com/>: http://www.laboratoriometrologico.com/wenv/file_data.php?id=224
- Infoagro Systems S.L. (s.f.). <http://www.infoagro.com/>. Recuperado el 17 de Marzo de 2016, de <http://www.infoagro.com/>: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm

- Kouro, S. (1 de Junio de 2001). <http://ingeborda.com.ar/>. Recuperado el 13 de Junio de 2016, de <http://ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Instalaciones%20Electricas%20Industriales/Sensores%20de%20Humedad.pdf>
- La Guía Metas. (Mayo de 2008). <http://www.metas.com.mx/>. Recuperado el 14 de Junio de 2016, de <http://www.metas.com.mx/guiametas/la-guia-metas-08-05-sensores-de-humedad.pdf>
- Martin, E. C. (Septiembre de 2010). <http://extension.arizona.edu/>. Obtenido de <http://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1220s.pdf>
- Muñoz, P., Antón, A., & Montero, J. I. (s.f.). <https://www.ruralcat.net>. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de https://www.ruralcat.net/migracio_resources/hivernacles.pdf
- National Academy of Sciences. (2003). <http://www8.cs.umu.se/>. Recuperado el 15 de Junio de 2016, de <http://www8.cs.umu.se/research/for/dl/SURVEYS%20AND%20STATUS%20REPORTS/Technology%20Development%20for%20Army%20Unmanned%20Ground%20Vehicles.pdf>
- Pérez Rojas, H., & De Paul Cortes, M. (2007). Simulación y Control de la temperatura dentro de un invernadero. *Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica*. Bogotá, Colombia.
- Polanco, M. (25 de Octubre de 2011). <http://www.elcaribe.com.do/>. Obtenido de <http://www.elcaribe.com.do/2011/10/25/ocoa-meca-de-los-invernaderos-en-rd>
- Ramos, M., Navas Gracia, L., Hernández Navarro, S., Corrêa Guimarães, A., Martín Gil, J., Martín Bravo, E., y otros. (2010). <http://oa.upm.es/>. Recuperado el 13 de Junio de 2016, de http://oa.upm.es/7044/2/INVE_MEM_2010_76665.pdf
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid: Espasa Calpe S.A.
- Roja, H. P., & De Paul Cortes, M. (2007). Simulación y Control de la Temperatura dentro de un Invernadero. *Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica*. Bogotá, Bogotá, Colombia.

Ruíz Nayeli, M. (2010). Diseño de un invernadero hidropónico con ambiente controlado. *Tesis profesional para obtener el grado de ingeniero en robótica industrial*. México, Distrito Federal, México.

Universidad de Kentucky. (Mayo de 2011). <http://www.uky.edu>. Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de <http://www.uky.edu>:
<http://www.uky.edu/Ag/CCD/introsheets/greenhouse.pdf>

VAISALA. (2013). www.vaisala.com. Recuperado el 5 de Junio de 2016, de www.vaisala.com: www.vaisala.com

Vaisala. (2013). www.vaisala.com . Obtenido de www.vaisala.com :
<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Application%20notes/CEN-BAU-Greenhouse-Climate-Application-Note-B211142ES-A.pdf>

APÉNDICE A

Código completo utilizado para programar el dron.

```
const uint8_t _CANTIDAD_DATOS = 18;
const uint8_t _IZQUIERDA = 0;
const uint8_t _DERECHA = 1;
const uint8_t _ADELANTE = 2;
const uint8_t _ATRAS = 3;
const uint8_t _MEDIR = 4;

int velocidad = 80; // se crea una variable para la velocidad
int giroderecho = 7; // variable para el giro derecho
int giroizquierdo = 8; // variable para el giro izquierdo
int velocidadderecha = 9; // variable para el motor derecho
int velocidadizquierda = 10; // variable para el motor izquierdo
int iniciar = 11; // el pin 11 servirá como arrancador
float h;
float t;
float medicion;

void setup() {

  pinMode(iniciar, INPUT);
  Serial.begin(9600); // estableciendo velocidad de transmisión
  dht.begin(); //iniciando el sensor DHT11

  pinMode(giroderecho, OUTPUT);
  pinMode(giroizquierdo, OUTPUT);
  pinMode(velocidadderecha, OUTPUT);
  pinMode(velocidadizquierda, OUTPUT);

  procesos[0] = _ADELANTE; //Asignación de valores a los arreglos
  tiempos [0] = 5000; // tiempos[] y procesos[].
  procesos[1] = _MEDIR;
  tiempos [1] = 2000;
  procesos[2] = _ADELANTE;
  tiempos [2] = 5000;
  procesos[3] = _MEDIR;
  tiempos [3] = 2000;
  procesos[4] = _IZQUIERDA;
  tiempos [4] = 3000;
  procesos[5] = _ADELANTE;
  tiempos [5] = 2000;
  procesos[6] = _IZQUIERDA;
  tiempos [6] = 3000;
  procesos[7] = _ADELANTE;
  tiempos [7] = 5000;
  procesos[8] = _MEDIR;
  tiempos [8] = 2000;
  procesos[9] = _ADELANTE;
  tiempos [9] = 5000;
```

```

procesos[10] = _MEDIR;
tiempos [10] = 2000;
procesos[11] = _DERECHA;
tiempos [11] = 3000;
procesos[12] = _ADELANTE;
tiempos [12] = 2000;
procesos[13] = _DERECHA;
tiempos [13] = 3000;
procesos[14] = _ADELANTE;
tiempos [14] = 5000;
procesos[15] = _MEDIR;
tiempos [15] = 2000;
procesos[16] = _ADELANTE;
tiempos [16] = 5000;
procesos[17] = _MEDIR;
tiempos [17] = 2000;

}

void loop() {

while (digitalRead (iniciar) == 0){           //Mientras no se pulse el
  Descargar();                                // botón "iniciar" el
}                                              // programa salta a la
                                              // función Descargar().

for (int i = 0; i < _CANTIDAD_DATOS; i++){

if (procesos[i] == _ADELANTE){

digitalWrite(giroderecho, LOW);               //HACIA DELANTE
digitalWrite(giroizquierdo, LOW);
analogWrite(velocidadderecha, 50);
analogWrite(velocidadizquierda, 50);
delay(tiempos[i]);
}
if (procesos[i] == _DERECHA){

digitalWrite(giroderecho, LOW);               //HACIA LA DERECHA
digitalWrite(giroizquierdo, HIGH);
analogWrite(velocidadderecha, 0);
analogWrite(velocidadizquierda, 70);
delay(tiempos[i]);
}

if (procesos[i] == _IZQUIERDA){

digitalWrite(giroderecho, HIGH);              //HACIA LA IZQUIERDA
digitalWrite(giroizquierdo, LOW);
analogWrite(velocidadderecha, 70);
analogWrite(velocidadizquierda, 0);
delay(tiempos[i]);
}
}
}

```

Código donde se integra la librería del sensor y donde se mide la temperatura y humedad.

```
#include <DHT.h> // integración de librería del sensor DHT11

#define DHTPIN 5 // pin en el que se conectará el sensor
#define DHTTYPE DHT11 // Se selecciona el DHT11 (hay otros DHT)

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float h;
float t;

if (procesos[i] == _MEDIR){

    digitalWrite(velocidadderecha, LOW);
    digitalWrite(velocidadizquierda, LOW);
    h = dht.readHumidity();
    t = dht.readTemperature(); // mido la temperatura y humedad
    EEPROM.write (dir, t); // guardo en la EEPROM los datos
    dir = dir + 1;
    EEPROM.write (dir, h);
    dir = dir + 1;
}
```

Código para el Arduino, donde se ejecuta la función Descargar ()

```
void Descargar() {

    if (digitalRead (LedPin) == LOW ){

        if (Serial.available() == 1){

            for (int i = 0; i < 7; i++){

                medicion = EEPROM.read(dir2);

                Serial.println(medicion);
                dir2 = dir2 + 1;
                medicion = EEPROM.read(dir2);
                Serial.println(medicion);
                dir2 = dir2 + 1;
                digitalWrite (13, HIGH);
            }
        }
    }
}
```

Código en lenguaje Java para la ejecución de la interfaz gráfica.

```
package proyecto;

import com.panamahitek.PanamaHitek_Arduino;           //Se importan las librerías
import gnu.io.SerialPortEvent;
import gnu.io.SerialPortEventListener;
import java.util.logging.Level;
import java.util.logging.Logger;
import javax.swing.table.DefaultTableModel;

public class Window extends javax.swing.JFrame {
    int intercalar = 0;
    int conteo = 0;                                     //Se declaran las variables
    double temperatura = 0;                             // globales
    double humedad = 0;
    PanamaHitek_Arduino arduino = new PanamaHitek_Arduino();
    SerialPortEventListener evento = new SerialPortEventListener() {

        @Override
        public void serialEvent(SerialPortEvent spe) {
            if(arduino.isMessageAvailable()){
                TablaData();                             //Verificación de
                                                         // disponibilidad del Puerto.
            }
        }
    };

    DefaultTableModel Modelo;

    public void TablaData(){
        if (intercalar == 0){                           //Función TablaData donde se colocan los
            intercalar = 1;                             // valores de la humedad y la temperatura en
                                                         // una tabla.

            conteo++;
            temperatura = Double.parseDouble(arduino.printMessage());
        }
        else if (intercalar == 1){
            intercalar = 0;
            conteo++;
            humedad = Double.parseDouble(arduino.printMessage());
            Modelo.addRow(new Object[]{temperatura, humedad});
        }
    }

    //Función Window() que muestra en
    //pantalla los valores de las celdas.
    //A su vez llama a la función
    //TablaCellRendererColor() que se
    //encarga de poner en rojo las celdas
    //de que contienen valores de humedad
    //fuera de rango y en azul si es la
    //temperatura.

    public Window() {
        initComponents();
    }

    Modelo = (DefaultTableModel) jTable1.getModel();
    try {
        arduino.ArduinoRXTX("COM9", 2000, 9600, evento);
    } catch (Exception ex) {
        Logger.getLogger(Window.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }

    jTable1.setDefaultRenderer(Object.class, new TablaCellRendererColor());
}
```

```

private void jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    try {
        arduino.sendData("1");
    } catch (Exception ex) {
        Logger.getLogger(Window.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }
}

private void jButton2ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    System.exit(0);
}

public static void main(String args[]) {
    java.awt.EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
        public void run() {
            new Window().setVisible(true);
        }
    });
    private javax.swing.JButton jButton1;
    private javax.swing.JButton jButton2;
    private javax.swing.JScrollPane jScrollPane1;
    private javax.swing.JTable jTable1;
}

```

Código en lenguaje Java donde se manejan las celdas y se verifica que los valores de ellas estén en el rango deseado.

```

package proyecto;

import java.awt.Color;
import java.awt.Component;
import javax.swing.JLabel;
import javax.swing.JTable;
import javax.swing.table.DefaultTableCellRenderer;

public class TablaCellRenderColor extends DefaultTableCellRenderer{

    private Component component;

    @Override

    public Component getTableCellRendererComponent(JTable table, Object value,
boolean isSelected, boolean hasFocus, int row, int column) {

        JLabel cell = (JLabel)super.getTableCellRendererComponent(table, value,
isSelected, hasFocus, row, column);

        if(value instanceof Double){
            double valor = (double)value;

```

```
if(column == 0){
    if(valor < 17 || valor > 30){

        cell.setBackground(Color.blue);
    }
    else{
        cell.setBackground(Color.white);
    }
}

if(column == 1){
    if(valor < 50 || valor > 70){

        cell.setBackground(Color.red);
    }
    else{
        cell.setBackground(Color.white);
    }
}
}
```

APÉNDICE B

ESPECIFICACIONES DEL ARDUINO UNO.

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada(recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines digitales para I/O	14 (6 pueden usarse como PWM)
Pines analógicos de I/O	6
Corriente continua por pin I/O	40mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50mA
Memoria Flash	32 KB (0.5 ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de Reloj	16 MHz

ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DHT11.

Rango de medición de humedad	20-90 % HR
Rango de medición de temperatura	0°C hasta 50°C
Precisión de temperatura	+/- 2°C
Precisión de humedad	+/- 5 % HR

ANEXOS

Código completo utilizado en Arduino.

```
#include <EEPROM.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 2 //Pin para el sensor
#define DHTTYPE DHT11 //Se selecciona el DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

const uint8_t _CANTIDAD_DATOS = 18;
const uint8_t _IZQUIERDA = 0;
const uint8_t _DERECHA = 1;
const uint8_t _ADELANTE = 2;
const uint8_t _ATRAS = 3;
const uint8_t _MEDIR = 4;

int giroderecho = 7; // variable para el giro derecho
int giroizquierdo = 8; // variable para el giro izquierdo
int velocidadderecha = 9; // variable para el motor derecho
int velocidadizquierda = 10; // variable para el motor izquierdo
int mensaje = 0;
int iniciar = 12;
float h;
float t;
int dir = 0;
int dir2 = 0;
float medicion;
int LedPin = 13;
uint8_t procesos[_CANTIDAD_DATOS];
int tiempos[_CANTIDAD_DATOS];

void setup() {

  pinMode(LedPin, OUTPUT);
  pinMode(iniciar, INPUT_PULLUP); //Pin para iniciar
  Serial.begin(9600); //configurando la velocidad de
  dht.begin(); //inicializando el sensor DHT11
  // transmisión de datos

  digitalWrite(LedPin, LOW);
  pinMode(giroderecho, OUTPUT); //configurando los pines de los
  pinMode(giroizquierdo, OUTPUT); //motores como salida
  pinMode(velocidadderecha, OUTPUT);
  pinMode(velocidadizquierda, OUTPUT);

  procesos[0] = _ADELANTE;
  tiempos [0] = 2000;
  procesos[1] = _MEDIR; //Procesos que indican la ruta a recorrer
  tiempos [1] = 2000;
```

```

procesos[2] = _ADELANTE;
tiempos [2] = 2000;
procesos[3] = _MEDIR;
tiempos [3] = 2000;
procesos[4] = _DERECHA;
tiempos [4] = 1100;
procesos[5] = _ADELANTE;
tiempos [5] = 2000;
procesos[6] = _DERECHA;
tiempos [6] = 1100;
procesos[7] = _ADELANTE;
tiempos [7] = 2000;
procesos[8] = _MEDIR;
tiempos [8] = 2000;
procesos[9] = _ADELANTE;
tiempos [9] = 2000;
procesos[10] = _MEDIR;
tiempos [10] = 2000;
procesos[11] = _IZQUIERDA;
tiempos [11] = 1100;
procesos[12] = _ADELANTE;
tiempos [12] = 2000;
procesos[13] = _IZQUIERDA;
tiempos [13] = 1100;
procesos[14] = _ADELANTE;
tiempos [14] = 2000;
procesos[15] = _MEDIR;
tiempos [15] = 2000;
procesos[16] = _ADELANTE;
tiempos [16] = 2000;
procesos[17] = _MEDIR;
tiempos [17] = 2000;

}

void loop() {

while (digitalRead (iniciar) == 1){
  Descargar();
}

delay(1500);

for (int i = 0; i < _CANTIDAD_DATOS; i++){

if (procesos[i] == _ADELANTE){
digitalWrite(velocidadderecha, LOW);           //Detener ambos motores
digitalWrite(velocidadizquierda, LOW);
delay(500);
digitalWrite(giroderecho, LOW);                 //HACIA DELANTE
digitalWrite(giroizquierdo, LOW);
analogWrite(velocidadderecha, 80);
analogWrite(velocidadizquierda, 80);
delay(tiempos[i]);
}
}

```

```

if (procesos[i] == _DERECHA){
digitalWrite(velocidadderecha, 0);
digitalWrite(velocidadizquierda, 0);
delay(1000);
digitalWrite(giroderecho, HIGH); //HACIA LA DERECHA
digitalWrite(giroizquierdo, LOW);
analogWrite(velocidadderecha, 90);
analogWrite(velocidadizquierda, 90);
delay(tiempos[i]);
}

if (procesos[i] == _IZQUIERDA){
digitalWrite(velocidadderecha, 0);
digitalWrite(velocidadizquierda, 0);
delay(1000);
digitalWrite(giroderecho, LOW); //HACIA LA IZQUIERDA
digitalWrite(giroizquierdo, HIGH);
analogWrite(velocidadderecha, 90);
analogWrite(velocidadizquierda, 90);
delay(tiempos[i]);
}

if (procesos[i] == _MEDIR){
digitalWrite(velocidadderecha, LOW);
digitalWrite(velocidadizquierda, LOW);
h = dht.readHumidity();
t = dht.readTemperature(); //MIDO LA TEMPERATURA Y HUMEDAD
EEPROM.write (dir, t);
dir = dir + 1;
EEPROM.write (dir, h);
dir = dir + 1;
delay(1000);
}
}
}

void Descargar(){

if (digitalRead (LedPin) == LOW ){

if (Serial.available() == 1){

for (int i = 0; i < 4; i++){

mediccion = EEPROM.read(dir2);
Serial.println(mediccion);
dir2 = dir2 + 1;
mediccion = EEPROM.read(dir2);
Serial.println(mediccion);
dir2 = dir2 + 1;
digitalWrite (13, HIGH);

}
}
}
}
}

```

ANTEPROYECTO



UNAPEC
UNIVERSIDAD APEC

Decanato de Ingeniería e Informática.

Escuela de Ingeniería

Anteproyecto de trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero
Electrónico.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE
CULTIVOS AGRÍCOLAS EN INVERNADEROS, REALIZADO DE
MANERA AUTOMÁTICA MEDIANTE DRÓN TERRESTRE.**

SUSTENTANTE:

Franlismar Jasmar Martes Rodríguez

2009-2347

Santo Domingo, D.N., República Dominicana

Abril 2016.

Índice

1. Introducción	97
2. Justificación	98
3. Delimitación del tema y planteamiento del problema de investigación	99
3.1 Delimitación del tema	99
3.2 Planteamiento del problema.....	99
4. Objetivos	100
4.1 Objetivo General	100
4.2 Objetivos específicos.....	100
5. Marco teórico referencial.....	101
5.1 Marco teórico	101
5.2 Marco conceptual.....	105
6. Hipótesis.....	106
7. Diseño metodológico.....	107
7.1 Método.....	107
7.2 Tipo de estudio	107
8. Fuentes de documentación.....	107
9. Esquema preliminar del contenido del Trabajo de Grado..	108

1. Introducción

Con el pasar del tiempo, las técnicas de cultivo han sido perfeccionadas. Tales perfeccionamientos o avances han traído consigo aportes cuantiosos, tanto en el marco económico como en el marco de la gestión de calidad de los productos agrícolas. De igual modo, el propio entorno y los cambios naturales, han creado nuevas necesidades, que a su vez exigen la implementación, mejora y/o creación de nuevas técnicas, con el fin de optimizar el proceso de crecimiento y desarrollo de los productos agrícolas.

Estos perfeccionamientos a los que el hombre ha podido llegar hoy en día, en lo que a la agricultura se refiere, son bastantes. Uno de los tantos avances ha sido la implementación de invernaderos; los cuales no solo han sido utilizados para propósitos generales sino también para propósitos específicos. La implementación de éstos genera muchas ventajas, que van desde la producción de algunos productos agrícolas en períodos fuera el tiempo de cosecha, hasta el manejo de muchos parámetros que influyen directamente en el crecimiento de los mismos.

Con esta propuesta se espera diseñar una alternativa nueva, en comparación a las ya existentes, que represente un aporte tanto en el ámbito de la agricultura como también en el ámbito ecológico. Además, se pretende obtener información precisa de aquellos parámetros que tanto determinan el desarrollo y crecimiento de los productos agrícolas.

2. Justificación

La gestión de productos agrícolas en los invernaderos no es una tarea sencilla, puesto que no siempre se cuenta con un monitoreo constante o el mismo no resulta apropiado. La falta de atención concreta de los factores que influyen en los frutos que allí se producen, la falta de tiempo y dedicación de las personas encargadas de los mismos, crea la inquietud de buscar formas más fiables para la gestión y cuidado de dichos productos.

A pesar de que existen esas vicisitudes, son muchos los productores que han decidido emplear sistemas de ambientes controlados. Por ejemplo, en la provincia San José de Ocoa para octubre del 2011 alrededor de 800 mil metros cuadrados eran destinados a estructuras para el cultivo bajo invernaderos (Polanco, 2011). Para esa misma fecha esas estructuras aportaban cerca del 40% de los vegetales cultivados en República Dominicana (Polanco, 2011), cifra que indica la importancia de esta forma de producción agrícola.

Sin embargo, a simple vista o por simple inspección solo se pueden obtener algunas características del estado de un producto en particular, ello cuando se tiene vasta experiencia. No obstante, la implementación de aparatos tecnológicos capaces de ofrecer información más precisa provee mayor seguridad y óptimo manejo de los productos, garantizando mejor calidad de los mismos.

Cada producto tiene sus rangos específicos de temperatura, humedad, pH y otros tantos parámetros, a los que debe ser expuesto. Implementar sistemas de verificación y revisión constante de esos parámetros tan esenciales, de manera que puedan ser manejados cuando estén fuera de su rango apropiado en el cultivo de productos

específicos, es un gran aporte para el desarrollo, crecimiento y calidad de esos productos agrícolas.

3. Delimitación del tema y planteamiento del problema de investigación

3.1 Delimitación del tema

Este sistema espera ser implementado en invernaderos del municipio de Cambita Garabito, provincia San Cristóbal, República Dominicana.

3.2 Planteamiento del problema

En la actualidad es un hecho muy notable que nuestras zonas rurales están quedando despobladas, debido a la migración de sus habitantes hacia las zonas urbanas o la ciudad. Se percibe una falta de dedicación, falta de tiempo y poco deseo y motivación por cultivar y vivir de la agricultura. Esto se debe en la mayoría de los casos a que las extensiones de tierra están quedando en manos de algunos terratenientes que a diferencia de épocas anteriores dedican sus terrenos a cultivar solo frutos específicos. Para tener una idea, frutos como la naranja, el limón dulce, el café y otros, han sido desplazados casi totalmente por el aguacate en los campos de Cambita Garabito.

Evidentemente esta es una realidad que no se puede obviar. Afortunadamente, distintas alternativas han sido propuestas, para ayudar al sector agrícola en cuanto al cultivo de esa variedad de productos agrícolas que no están siendo considerados en las plantaciones de muchos dueños de grandes, medianos y pequeños terrenos o

simplemente porque cultivarles exige mayor cuidado, tiempo y atención. Una de esas alternativas son los invernaderos de propósitos específicos o propósitos generales.

Existen muchísimas ventajas que ofrecen los invernaderos. Sin embargo, todavía hay muchas mejoras que se podrían lograr relacionadas al crecimiento y calidad de los productos que en estos se cultiven. Por ejemplo, ¿qué tal la automatización de invernaderos, donde se puedan medir los parámetros más determinantes de un producto? Tener valores precisos de la temperatura tanto del suelo como del ambiente, asimismo de la humedad y otros parámetros, mejoraría bastante la producción en esos espacios confinados que llamamos invernaderos.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema capaz de medir parámetros de cultivos agrícolas en invernaderos de propósitos específicos, con el auxilio de la robótica.

4.2 Objetivos específicos

- a. Monitorear de forma eficaz, los factores ambientales (temperatura, humedad) de cultivos en invernaderos, cuyo rango se adquiere usando sensores.
- b. Indicar a través de una interfaz gráfica sencilla y de fácil manejo, cuándo un producto en el invernadero requiere de la intervención del usuario.
- c. Seleccionar cada uno de los sensores necesarios para registrar los parámetros de productos agrícolas.
- d. Determinar qué tipo de interfaz gráfica podría implementarse.

- e. Seleccionar el drón terrestre más apropiado para el proyecto.
- f. Integrar el proceso de comunicación entre la plataforma de control y la interfaz gráfica.

5. Marco teórico referencial

5.1 Marco teórico

“Los invernaderos son espacios con el microclima apropiado para el óptimo desarrollo de una plantación en específico” (Barrera, Herrero N., & Meraz G., 2014, pág. 7). En adición a esta definición, se puede decir que dicho espacio generalmente es cerrado (techado) y el microclima que allí se da es producto de la interacción de distintos factores que allí intervienen y que por lo regular son manipulados manual o automáticamente con el fin de ajustar la calidad, crecimiento y tiempo de cosecha de los productos que se cultivan.

La gestión y control de los invernaderos en la actualidad son determinantes para el desarrollo de cultivos específicos. Distintos factores, en su mayoría de tipo climático, suelen ser de gran impacto y su manejo incluso puede ser dificultoso, dependiendo de cómo sean gestionados o aplicados durante el desarrollo y producción de los cultivos.

Sin lugar a dudas los parámetros que intervienen en el cultivo de productos agrícolas en invernaderos son bastantes. Dentro de los parámetros que intervienen en los invernaderos tenemos: la temperatura, la humedad, luminosidad, el pH, el suelo, el riego, CO₂, entre otros. Algunos de estos parámetros intervienen tanto en el interior como en el exterior del invernadero, sin embargo este proyecto se enfocará en algunos de los parámetros que intervienen internamente, concretamente se espera medir la temperatura,

la humedad y posiblemente el pH de productos específicos. Considerando que cada uno de los parámetros anteriormente mencionados, pueden variar dependiendo del tipo de fruto, para fines de estudio y comprobación del sistema, se espera trabajar con un tipo específico de producto agrícola que será seleccionado durante el desarrollo del mismo.

Se ha comprobado la importancia y el impacto que tiene la temperatura en el cultivo de productos agrícolas; puesto que hay climas que impiden el crecimiento y desarrollo de ciertos frutos, cuyas características climáticas no coinciden con el lugar o espacio donde se desean cultivar.

Por otro lado, el término temperatura en invernaderos no es tan simple o sencillo como parece. Existen tres tipos o conceptos distintos de temperatura que deben ser tomados en consideración a la hora de velar por el buen desarrollo del cultivo y sobre todo teniendo en cuenta sus limitaciones. Estos son: “temperatura mínima letal, temperaturas máxima y mínima biológicas y temperaturas nocturnas y diurnas” (Infoagro Systems S.L.). La siguiente tabla sirve de referencia, para indicar cómo deben andar estas temperaturas en el tomate.

Temperaturas requeridas para el cultivo óptimo del tomate	
Temperatura mínima letal	0-2
Temperatura mínima biológica	10-12
Temperatura óptima	13-16
Temperatura máxima biológica	21-27
Temperatura máxima letal	33-38

*Los valores de las temperaturas son en grados centígrados.
Fuente: <http://www.infoagro.com/>

Para saber cuál es el nivel de temperatura en un ambiente, se usa un instrumento llamado termómetro. En un invernadero se puede usar tanto un termómetro tradicional o uno digital.

En el caso de invernaderos automatizados es preferible el uso de sensores de temperatura que ayudan a capturar el nivel en el que ésta se encuentra y a su vez suministrar esta información a través de diferentes medios visuales. Podría ser mostrando el nivel de temperatura en una pantalla LCD, en un monitor de una computadora, etc. (Vaisala, 2013) ha desarrollado diferentes tipos de sensores destinados a medir parámetros en invernaderos y recomienda que el sensor de temperatura debe colocarse cerca de la planta y no en la pared, cerca del techo o conducto. Considerando que los termómetros tradicionales están siendo reemplazados por sus homólogos digitales, existen diversas compañías dedicadas a la fabricación de termómetros de este tipo y específicamente dirigidos a su aplicación en invernaderos.

Así como la temperatura, la humedad dentro de los invernaderos es muy determinante. Cada producto agrícola para su óptimo crecimiento tiene que estar bajo condiciones específicas de humedad. Cuando se habla de humedad por lo general se hace referencia a la humedad relativa. Ésta sostiene una relación inversa con respecto a la temperatura “por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la humedad relativa. Con temperaturas bajas, el contenido en humedad relativa aumenta” (Infoagro Systems S.L.).

Definitivamente el crecimiento y desarrollo de los cultivos depende muchísimo del nivel de humedad relativa que haya en el entorno, Infoagro Systems S.L afirma:

Cuando ésta es excesiva, las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el

contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse. El exceso puede reducirse mediante ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo.

Mantener los niveles de humedad que se requieren para productos específicos evitaría posibles enfermedades y perjuicios al desarrollo de los mismos.

La humedad relativa está relacionada con el rendimiento de los vegetales. Cuando es elevada, los vegetales reducen la transpiración, y consecuentemente reducen su crecimiento, pudiendo ocurrir incluso abortos florales por aumento de las enfermedades causadas por hongos o bacterias. Por otro lado, cuando la humedad relativa es baja los vegetales transpiran en exceso, lo que causa deshidratación (Roja & De Paul Cortes , 2007).

Para determinar si el nivel de humedad está en los niveles adecuados se pueden usar distintas técnicas. Algunas van desde métodos antiguos como el método del tacto, mientras otras técnicas más sofisticadas han sido creadas y que son capaces de proveer información más precisa. Otros métodos de medición de la humedad son la “sonda de neutrones, la resistencia eléctrica, la tensión del suelo, entre otras” (Martin, 2010).

Por su parte, el CO₂ junto con la temperatura y la humedad es considerado como otro factor determinante en el crecimiento y desarrollo de cultivos en invernaderos.

Las plantas consumen CO₂ en la reacción de fotosíntesis y lo combinan con agua para formar azúcares y oxígeno. La concentración de CO₂ en el invernadero afecta en gran medida la tasa de crecimiento de las plantas y, por lo tanto, el nivel de CO₂ debe monitorearse y controlarse para alcanzar un nivel óptimo de crecimiento (Vaisala, 2013).

Por último, otro parámetro interno de un invernadero es el pH. Este parámetro se refiere a la acidez o alcalinidad del suelo, y “mide la actividad de los H⁺ libres en la solución del suelo (acidez actual) y de los H⁺ fijados sobre el complejo de cambio (acidez potencial). La acidez total del suelo es la suma de las dos, porque cuando se produce la neutralización de los H⁺ libres se van liberando H⁺ retenidos, que van pasando a la solución del suelo” (GeneratePress, 2013).

Como todos los parámetros mencionados anteriormente el pH o grado de acidez juega un papel vital en desarrollo de cultivos agrícolas. Evidentemente si no se toma en consideración en este parámetro, el crecimiento y calidad de los cultivos sería afectado directamente. Para determinar qué tan ácido es el suelo donde se desea plantar, existe el pH-Metro. Además, bajo el mismo concepto existen sensores que ayudan a calcular el nivel de pH en el suelo.

5.2 Marco conceptual

CO₂.

El dióxido de carbono es un gas incoloro, denso y poco reactivo.

TEMPERATURA DEL AMBIENTE.

“Es la temperatura de la atmosfera que rodea a un cuerpo; normalmente esta expresión se refiere a la temperatura ordinaria” (Española, 1997).

TERMÓMETRO

Tradicionalmente el termómetro consiste en un delgado tubo de cristal, que contiene en su interior mercurio, y a medida que la temperatura aumenta o baja el mercurio se

desplaza hacia arriba o hacia abajo, señalando a través de unas líneas métricas el nivel de temperatura.

HUMEDAD

“La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire” (Infoagro Systems S.L.).

pH.

El pH o grado de acidez del suelo, “mide la actividad de los H⁺ libres en la solución del suelo (acidez actual) y de los H⁺ fijados sobre el complejo de cambio (acidez potencial).

6. Hipótesis

El desarrollo de un sistema de medición de parámetros en invernaderos usando un drón terrestre, podrá suministrar información esencial y precisa de los cultivos sin la intervención de un personal humano.

7. Diseño metodológico

7.1 Método

Considerando que este proyecto de investigación se encargará de medir parámetros específicos dentro de un invernadero, para con ello determinar el estado general o apropiado; entonces el método usado sería el método inductivo.

7.2 Tipo de estudio

Se podría decir que el tipo de investigación a emplearse en este proyecto es la aplicada, ya que para el desarrollo de ésta serán utilizados los conocimientos obtenidos en las investigaciones en la práctica, y con ello se quiere traer beneficios a la comunidad.

8. Fuentes de documentación

Barrera, E. M., Herrero N., R. V., & Meraz G., A. R. (2014). Invernaderos Inteligentes. *Tesis de pregrado*. México, México.

Española, R. A. (1997). Diccionario de la Lengua Española. *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid, Madrid, España: Espasa Calpe, S.A.

GeneratePress. (Miércoles de febrero de 2013). <http://www.tecnicoagricola.es/>. Obtenido de <http://www.tecnicoagricola.es/>: <http://www.tecnicoagricola.es/ph-de-un-suelo/>

Martin, E. C. (Septiembre de 2010). <http://extension.arizona.edu/>. Obtenido de <http://extension.arizona.edu/>: <http://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1220s.pdf>

Polanco, M. (25 de Octubre de 2011). <http://www.elcaribe.com.do/>. Obtenido de <http://www.elcaribe.com.do/>: <http://www.elcaribe.com.do/2011/10/25/ocoa-meca-de-los-invernaderos-en-rd>

Roja, H. P., & De Paul Cortes , M. (2007). Simulación y Control de la Temperatura dentro de un Invernadero. *Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica*. Bogotá, Bogotá, Colombia.

S.L, I. S. (s.f.). <http://www.infoagro.com/>. Obtenido de <http://www.infoagro.com/>: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm

Vaisala. (2013). www.vaisala.com . Obtenido de www.vaisala.com : <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Application%20notes/CEN-BAU-Greenhouse-Climate-Application-Note-B211142ES-A.pdf>

9. Esquema preliminar del contenido del Trabajo de Grado

- I. Portada
- II. Dedicatoria
- III. Agradecimientos
- IV. Índice Temático
- V. Introducción

Capítulo I: La automatización en el interior de los invernaderos

- 1.1 Los invernaderos
- 1.2 Tipos de invernaderos
- 1.3 El clima dentro del invernadero
 - 1.3.1 La temperatura
 - 1.3.2 La humedad
 - 1.3.3 La iluminación
- 1.4 El suelo

1.5 Mediciones de parámetros dentro del invernadero

1.5.1 Mediciones manuales

1.5.2 Mediciones automáticas

1.6 Sistemas sensores

1.6.1 Sensor de temperatura

1.6.2 Sensor de humedad

1.6.3 Sensor de pH

1.7 Sistemas autónomos y autómatas

1.7.1 Drones

1.7.1.1 Drón terrestre

1.8 Plataforma Arduino aplicada a mediciones de parámetros climáticos

Capítulo II: Diseño y sistematización

2.1 Selección y programación del drón terrestre

2.2 Sistemas sensores

2.3 Monitoreo de factores ambientales

2.4 Interfaz gráfica de monitoreo

2.4.1 Tipo de interfaz gráfica

2.4.2 La interfaz gráfica y el usuario

2.5 Procesos de comunicación

2.5.1 Implementación de comunicación entre sensores y el drón

2.5.2 Implementación de comunicación entre drón e interfaz

Capítulo III: Ejecución y Simulación

3.1 Simulación en una plantación de ambiente controlado

3.2 Verificación del cumplimiento de los objetivos planeados

Conclusiones

Recomendaciones

Fuentes bibliográficas

Anexos