

Proyecto Fin de Grado GIERM

Desarrollo e implementación de un Invernadero automatizado con cultivo hidropónico y aplicación móvil para el seguimiento de datos

Autor: Alvaro Domingo Gordo Ruiz

Tutor: Ignacio Alvarado Aldea

**Dept. de Control Automático
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Grado
GIERM

Desarrollo e implementación de un Invernadero
automatizado con cultivo hidropónico y aplicación
móvil para el seguimiento de datos

Autor:

Álvaro Domingo Gordo Ruiz

Tutor:

Ignacio Alvarado Aldea

Profesor contratado doctor

Dept. de Control Automático
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Carrera: Desarrollo e implementación de un Invernadero automatizado con cultivo hidropónico y aplicación móvil para el seguimiento de datos

Autor: Álvaro Domingo Gordo Ruiz

Tutor: Ignacio Alvarado Aldea

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mis profesores y compañeros

A mis amigos

A mi padre y mi hermano

Agradecimientos

En primer lugar, a todos los docentes que he tenido el placer de conocer como alumno, los cuáles han hecho posible que hoy esté aquí, de manera especial a Ignacio Alvarado Aldea, que aun no habiendo sido profesor en mi grado, ha sido una grandísima inspiración para mi desde el momento en que lo conocí, gracias a él he conseguido ensamblar el puzzle que he ido construyendo a lo largo de estos años de estudio.

También, agradecer a mi familia, a mi hermano y mi padre, por transmitirme la constancia y apoyarme con este proyecto, y por el gran esfuerzo que han hecho en educarme cada día desde que tengo uso de razón. Por otra parte agradecerle a mi novia su constante apoyo incondicional y cariño, sin ella tampoco hubiera sido posible completar esta etapa.

En último lugar, a mis amigos, con los que he compartido momentos inigualables y me han hecho crecer como persona, con su afecto y acompañándome en esta y otras muchas andaduras..

Álvaro Domingo Gordo Ruiz.

Sevilla, 2017.

Resumen

En esta memoria se recogen una serie de instrucciones detalladas acerca de como en implementar un invernadero que automatice el proceso de crecimiento de plantas. Para llevarlo a cabo controlaremos temperatura, humedad, y aporte lumínico necesarios para el correcto desarrollo de la planta.

A modo de indicador se ha implementado una aplicación móvil a través del desarrollador de aplicaciones **AppInventor 2** disponible en la página del Massachusetts Institute of Tecnology. En dicha aplicación móvil se recibirán los estados de los actuadores, y la información de cada uno de los sensores.

Abstract

This final project collects a series of detailed instructions on how to implement a greenhouse that automatizes the plant's growth. In order to achieve this process the temperature, humidity levels and necessary light sources are controlled for the optimal development of the plants.

To indicate this, a mobile application has been implemented through the app developer **AppInventor 2**, available in the Massachusetts Institute of Technology website. Said application receives updated data on the state of the actuators, as well as the information on each of the sensors.

Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	x
Índice	xi
1 Objetivos y motivación del proyecto	15
2 Introducción	16
2.1 Contexto	17
2.2 Metodología	17
3 Estado del Arte	18
3.1 Evolución Histórica	19
3.2 Superficie	19
3.3 Cultivos	20
3.4 Importancia económica	21
3.5 Factores influyentes en el crecimiento	21
3.6 Breve historia de la Hidroponía	22
3.7 Clasificación de los cultivos hidroponicos	24
3.7.1 Sistema Hidropónico de mecha o pabilo	24
3.7.2 Técnica de película nutritiva (NFT)	24
3.7.3 Sistema hidropónico de Raíz flotante	25
3.7.4 Aeroponía	25
3.7.5 Sistema Hidropónico de flujo y reflujo (Ebb & Flow)	26
3.7.6 Sistema por goteo (Drip system)	27
3.8 Principales componentes de un invernadero automatizado	28
3.8.1 Growlights	28
3.8.2 Sistema de Ventilación	28
3.8.3 Sensorización	29
3.8.4 Sistema de Humidificación	29
3.8.5 Sistema de Riego	30
3.8.6 Microcontrolador	31
3.9.7 Relé	31
4 Componentes del prototipo	32
Componentes para el montaje del Invernadero	33
4.1 Estructura	33
4.2 Electrónica	36
4.2.1 Arduino mega 2560	37
4.2.2 Modulo Bluetooth HC-05	39
4.2.3 Módulo RTC DS3231	40
4.2.4 Módulo 4-Relay	42
3.2.1 Sensores	43
3.2.2 Actuadores	49
5 Software empleado	55
5.1 Descripción de las variables controlables	56
5.2 Control de humedad y temperatura (LimHT)	57
5.3 Lectura del valor LDR (ReadLDR)	60
5.4 Control de luz espectral (Growlight)	60
5.5 Control de ciclos de riego (CiclosHORA)	61
5.6 Control DIA/NOCHE (DayOrNight)	61
5.7 Control de pH	i Error! Marcador no definido.
5.8 Lectura de pH	61
5.9 Comunicación Arduino/Greenhouse App	61
Transmisión Arduino/Greenhouse	61
Recepción Greenhouse/Arduino	62
5.10 Desarrollo de la Greenhouse App	62

Estado Conectado o de comunicación	69
Modo AT 1	69
Modo AT 2	70
6 Presente y Futuro del Proyecto	72
6.1 <i>Desarrollos Futuros</i>	73
6.2 <i>Limitaciones del Proyecto</i>	73
Anexo de Scripts	74
Referencias	93

1 OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad, el gran avance tecnológico hace posible la implementación de manera artificial de multitud de procesos naturales. Como principal consecuencia se obtiene un mayor rendimiento de los productos que se elaboran en estos procesos, o incluso un fomento del aumento de biodiversidad.

Como alumno del Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica, siempre he estado interesado en la automatización de procesos domésticos, y en implementar un control sobre entornos naturales. Afín a esto, elegí un proyecto que tuviera resultados físicos, que pudiera construir y en el que pudiera aprender a la vez que demostraba todos los conocimientos adquiridos en el grado.

Objetivos principales del proyecto:

- Estudio de los distintos cultivos hidropónicos y elección del óptimo.
- Estudio y construcción del invernadero en el que instalar un sistema que automatice el proceso de crecimiento de plantas.
- Elección de variables controlables.

2 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se llevara a cabo la descripción del marco conceptual en el que se sitúan el contexto y la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto.

2.1 Contexto

Actualmente, el desarrollo de estructuras protegidas para el crecimiento de plantas es una buena práctica que favorece la diversidad natural dentro de distintos ecosistemas. De esta manera es posible llevar y hacer crecer plantas no autóctonas dentro de otros entornos.

Multitud de estudios señalan que la producción de plantas bajo invernadero es realmente beneficiosa, esto es ocasionado por el regular crecimiento de las mismas, teniendo un mayor control sobre los factores que influyen en el correcto desarrollo de la planta. Además se asegura un mejor mantenimiento y un mayor ahorro.

Es de especial mención, que en España, el cultivo bajo invernadero se ha disparado en las últimas décadas, siendo reducidos significativamente los métodos de plantación clásica y desembocando en un mayor desarrollo en cuanto a la tecnología de invernaderos para la producción de cultivos. Gracias a ello, se ha conseguido elevar la producción y aumentar la eficiencia de los procesos, mejorando las condiciones de trabajo.

2.2 Metodología

Una vez definido el contexto, se describirá la metodología llevada a cabo.

- Estudio de los distintos cultivos hidropónicos.
- Estudio de variables influyentes en el proceso de crecimiento de plantas.
- Búsqueda de hardware necesario para la implementación del posible control.
- Diseño y construcción del invernadero.
- Diseño e implementación del Software requerido para el control de variables.
- Descripción de resultados obtenidos, presentando limitaciones y posibles problemas experimentados.

3 ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se procederá a describir una breve historia sobre los invernaderos y las zonas donde se encuentran estos distribuidos, haciendo especial énfasis a los invernaderos en las zonas del mediterráneo y a los cultivos preferentes en España. En segundo lugar se proyectará la idea del cultivo hidropónico y su procedencia, manejando sus ventajas y desventajas, y haciendo un estudio destacado sobre cada uno de los factores que influyen en la planta, pasando más tarde, por una descripción más exhaustiva sobre los tipos de cultivos hidropónicos existentes en la actualidad. Por último se detallarán los elementos necesarios para hacer un invernadero automatizado.

3.1 Evolución Histórica

La idea de cultivar plantas en un entorno con clima controlado se remonta a tiempos de los romanos. Parece ser que los médicos del emperador Tiberio le aconsejaron comer un pepino al día y sus jardineros desarrollaron un método de cultivo para hacerlo llegar a su mesa cada día del año. Las plantas se colocaban bajo estructuras cubiertas con telas impregnadas en aceite, conocidas como 'specularia', o con láminas de mica.

Los primeros invernaderos modernos, cubiertos con vidrio, se construyeron en Italia en el siglo XIII para albergar las plantas exóticas que los exploradores traían de los trópicos. El experimento se extendió rápidamente a Holanda e Inglaterra, junto con las plantas. Estos primeros intentos requerían una gran cantidad de trabajo para cerrarlos por la noche o durante el invierno y tenían serias dificultades para mantener un nivel térmico adecuado. Con el desarrollo de la Ciencia Botánica, los invernaderos pasaron a las universidades. En Inglaterra a veces se conoce a los invernaderos como 'conservatories', porque servían para conservar las plantas. Los franceses llamaron a los primeros invernaderos 'orangeries', porque protegían a los naranjos de las heladas.

La experimentación con el diseño de los invernaderos continuó durante el siglo XVII, mientras se producían cada vez mejores calidades de vidrio y avanzaban las técnicas constructivas. El invernadero del Palacio de Versalles es un buen ejemplo de esta época.

En el siglo XIX se construyeron los mayores invernaderos de vidrio. El invernadero de los Kew Gardens en Inglaterra es un ejemplo de invernadero victoriano, que incluiría también el Crystal Palace de Londres, el Crystal Palace de Nueva York y el Glaspalast de Munich.

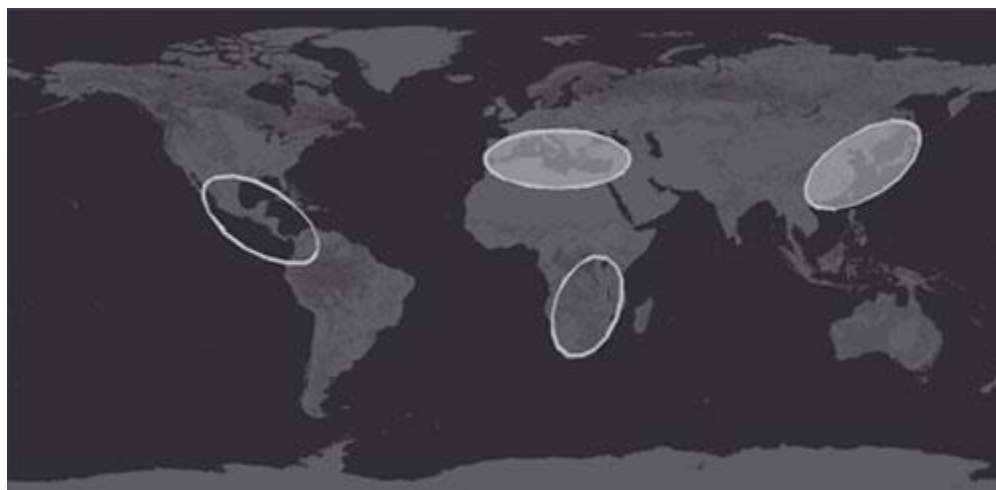
Ya en el siglo XX el desarrollo económico impulsó, especialmente tras la segunda guerra mundial, la construcción de invernaderos de cristal. Holanda superó las cinco mil hectáreas a mediados del siglo XX especialmente dedicadas al cultivo del tomate.

La utilización de los materiales plásticos como cubiertas de invernadero es relativamente reciente. Se inició en el año 1948 en EEUU con el prof. E. M. Emmert de la Universidad de Kentucky, quien tuvo la idea de sustituir el vidrio por celulosa regenerada (papel celofán) para cubrir una estructura de madera. Desde entonces los invernaderos de plástico se han extendido por los cinco continentes y han desplazado al vidrio como material de cerramiento.

En España los primeros invernaderos de plástico se instalaron en 1958 en Canarias y no se extendieron a la península hasta 1965. El crecimiento de la superficie invernada ha sido continuo desde entonces.

3.2 Superficie

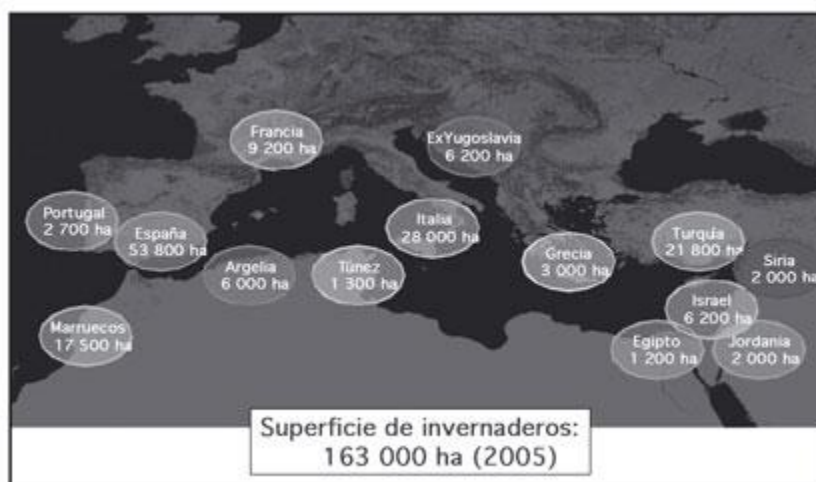
Si consideramos toda la superficie del globo terrestre, los invernaderos están concentrados en dos áreas geográficas: en Extremo Oriente (especialmente China, Japón y Corea) se agrupa el 80% de los invernaderos del mundo y en la cuenca mediterránea cerca de un 15% (figura 1). El crecimiento es lento en Europa, pero en África y en Oriente Medio está siendo del 15 al 20% anual. Cabe destacar China, que ha pasado de tener 4.200 hectáreas en 1981 a 1.250.000 hectáreas en 2002 (30% por año). Excluyendo China, la superficie mundial de invernaderos se puede calcular en 350.000 hectáreas.



Distribución geográfica de los invernaderos en el mundo.

En la cuenca mediterránea (figura 2) destacan las superficies cubiertas en España e Italia, aunque en este último país las cifras varían mucho dependiendo de las fuentes consultadas. Los países que están creciendo más son Marruecos y Turquía, mientras que otros como Francia están en recesión.

Dentro de España los invernaderos se concentran en las comunidades autónomas de Andalucía, donde Almería presenta la mayor concentración de invernaderos del mundo, Murcia y Canarias.



Distribución de los invernaderos en la cuenca mediterránea.

3.3 Cultivos

De la superficie total bajo invernadero existente en España, 53.800 hectáreas (ha), el 88% está dedicada al cultivo de hortalizas (tomate, pimiento, pepino, judía verde, fresa, melón, sandía, berenjena, calabacín y lechuga, en orden descendiente de importancia). La producción de flores (principalmente clavel y rosa) y plantas ornamentales ocupa el 5% del área cubierta. El plátano es el principal cultivo arbóreo bajo plástico y ocupa el resto de la superficie.

—Según cifras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, los principales cultivos en invernadero — en España son los que aparecen en la tabla 1. Nótese que la superficie total de todos los cultivos es superior a la superficie de invernaderos existentes en España. Esto es debido a que en muchos invernaderos se dan dos y hasta tres ciclos de cultivo al año, generalmente combinando cultivos de otoño-invierno (tomate, pimiento, etc.) con otros de primavera (melón, sandía, etc.).

Cultivo	Superficie (hectáreas)	Producción (toneladas)
Tomate	17.938	1.682.441
Pimiento	12.187	798.358
Melón	9.461	315.534
Fresa y fresón	7.541	252.820
Judía verde	6.961	126.739
Pepino	5.676	541.706
Sandía	5.116	335.512
Calabacín	4.452	247.464
Berenjena	1.707	112.952
Lechuga	784	24.986
Otras hortalizas	3.721	—
Total hortalizas	75.544	—
Clavel	1.164	—
Rosa	355	—
Otras flores	694	—
Plantas ornamentales	1.213	—
Total flores y ornamentales	3.427	—
Platanera	2.683	—
Total frutales	2.683	—
TOTAL	81.654	—

Principales cultivos bajo invernadero en España en 2006.

3.4 Importancia económica

La producción de hortalizas y flores se ha multiplicado en las últimas décadas gracias a la agricultura bajo plástico. Un buen ejemplo es la provincia de Almería, donde las técnicas de agricultura intensiva han contribuido a una mejora importante del nivel económico local, como muestra la renta per cápita, que ha pasado de ser la segunda más baja en 1970, a ocupar el quinto puesto. Mientras que en 1975 la agricultura almeriense facturaba 9.500 millones de pesetas (57 millones de euros), en la campaña 2006-2007 se alcanzó la cifra de 1.443 millones de euros.

La producción en esta última campaña ascendió a 2.841 millones de toneladas, de los que se exportaron 1.512 millones de toneladas. El 96% de estas exportaciones tuvieron como destino la Unión Europea, destacando Alemania (26,6%), Francia (18,2%), Holanda (14,7%) y Reino Unido (11%). El sector da trabajo de forma directa a 45.100 personas en la provincia

3.5 Factores influyentes en el crecimiento

Para comenzar, debemos saber qué factores influyen en el desarrollo de la planta. La determinación de estos factores ayudará a saber cuál es el modelo más adecuado para el desarrollo del proyecto y qué necesitaremos para automatizar todo el proceso para el correcto crecimiento de la planta.

Factores internos

1. **Fotosíntesis:** Muy ligado a la temperatura, la calidad lumínica y el dióxido de carbono existente en el medio.
2. **Respiración Celular:** Corresponde a la degradación de biomoléculas (glucosa, lípidos, proteínas) para que se produzca la liberación de energía necesaria, y así el organismo pueda cumplir sus funciones vitales. Mediante esta degradación se produce el ácido pirúvico, que permite desdoblarse a dióxido de carbono y agua, generando 36 moléculas de ATP (trifosfato de adenosina, nucleótido fundamental para la obtención de energía celular). Este proceso se lleva a cabo en las mitocondrias. En resumen, llamamos respiración celular al proceso mediante el cual las células de los organismos oxidan nutrientes de los alimentos para que liberen energía.
3. **Fitohormonas:** Son las llamadas hormonas vegetales, son producidas por células vegetales en sitios estratégicos de la planta, y son capaces de regular de manera predominante los fenómenos fisiológicos de las plantas. Dentro de ellas, encontramos las auxinas, que son un grupo de fitohormonas que funcionan como reguladoras de crecimiento vegetal. Esencialmente provocan la elongación de las células.

Factores externos

1. Factores **climáticos:** Totalmente dependientes de la geografía donde se desarrolla el cultivo agrícola. Desde el régimen de lluvias, las temperaturas mínimas y máximas, los vientos, la humedad del aire hasta otros factores que influyen en la actividad fisiológica de la planta.
2. Factores **bióticos:** Los seres vivos influyen de forma positiva y negativa en la planta.
3. Factores **abióticos:** La calidad del suelo en cuanto a nutrientes, la cantidad y calidad de la humedad dentro del mismo también influyen en el desarrollo de las plantas.
4. Factores **sociales y económicos:** La demanda, la renta disponible para alimentos de los consumidores, la política en cuanto a subvenciones, los hábitos alimentarios de los consumidores, influyen enormemente en la elección y el desarrollo de plantas a la hora de comercializar y sacar partido de ellas.

3.6 Breve historia de la Hidroponía

Los primeros antecedentes que se tienen sobre el uso de prácticas con hidroponía datan desde la época prehispánica, ya que se tiene conocimiento que los aztecas, con el uso de la chinampa (método mesoamericano antiguo de agricultura que consiste en pequeñas áreas de cultivo de hortalizas y flores sobre la superficie de lagos, lagunas y pantanos), fueron la primera civilización humana en usar agricultura hidropónica eficientemente. Las chinampas ocupaban el 100 % de lo que era el lago de Texcoco, que se convirtió después en la ciudad de México. Las chinampas utilizaban tierra de donde se obtienen gran parte de los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, esto es algo que no se considera el concepto actual de esta técnica de producción; sin embargo, el manejo y trabajo con el agua cumple con el principio fundamental en el que se basa la hidroponía. Las soluciones minerales para el aporte de nutrientes requeridos en los cultivos hidropónicos no fueron desarrolladas sino hasta el siglo XIX.

En 1699, John Woodward cultivó plantas en agua y encontró que el crecimiento de ellas era el resultado de ciertas sustancias en el agua obtenidas del suelo, esto al observar que las plantas crecían peor en agua destilada que en fuentes de agua no tan purificadas.

En 1804, De Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire.

Los primeros en perfeccionar las soluciones con nutrientes minerales para el cultivo sin suelo fueron los botánicos alemanes Julius von Sachs y Wilhelm Knop en la década de 1860. El crecimiento de plantas terrestres sin suelo en soluciones minerales se convirtió rápidamente en una técnica estándar de la investigación y de la enseñanza y sigue siendo ampliamente utilizada hasta hoy.

En 1928, el profesor William Frederick Gericke de la Universidad de Berkeley, California fue el primero en sugerir que los cultivos en solución se utilizasen para la producción vegetal agrícola. Por analogía con el término geopónica (que significa agricultura en el griego antiguo) llamó a esta nueva ciencia hidroponía en 1937, aunque él afirma que el término fue sugerido por el Dr. W.A. Setchell, de la Universidad de California de *hydros* (regar) y *ponos* (trabajo).

En 1940, el Dr. Setchell escribió el libro, *Complete Guide to Soilless Gardening* (Guía Completa del Cultivo sin Suelo). Se pidió a otros dos especialistas en la nutrición de las plantas de la universidad de California que investigasen acerca de las afirmaciones de Gericke. Dennis R. Hoagland y Daniel I. Arnon desarrollaron varias fórmulas para soluciones de nutrientes minerales. Unas versiones modificadas de las soluciones de Hoagland se siguen utilizando hoy en día.

Uno de los primeros éxitos de la hidroponía ocurrió durante la segunda guerra mundial cuando las tropas estadounidenses que estaban en el Pacífico, pusieron en práctica métodos hidropónicos a gran escala para proveer de verduras frescas a las tropas en guerra con Japón en islas donde no había suelo disponible y era extremadamente caro transportarlas.

En 1960, Alen Cooper desarrollo la *Nutrient Film Technique* en Inglaterra. En 1982, el Pabellón de la Tierra, en el Centro Epcot de Disney, puso de relieve diversas técnicas de hidroponía. En décadas recientes, la NASA ha realizado investigaciones extensivas para su CELSS (acrónimo en inglés para Sistema de Soporte de Vida Ecológica Controlada).

En la actualidad, en países como Holanda, los Estados Unidos de Norteamérica, México y otros países se han desarrollado diferentes sistemas con numerosas tecnologías basadas en nuevos medios de cultivo tales como la perlita, la cascarilla de arroz, la fibra de coco, la lana de roca y recientemente la espuma fenólica.

Ventajas y desventajas de la hidroponía

Ventajas técnicas de la hidroponía:

- Balance ideal de agua, oxígeno y nutrientes.
- Control eficiente y fácil del pH y la salinidad.
- Ausencia de malezas.
- Ausencia de plagas y enfermedades en la raíz, al menos inicialmente.
- Eficiencia y facilidad de esterilización.

Ventajas económicas de la hidroponía:

- Mayor calidad en los productos cosechados.
- Mayor uniformidad en la cosecha.
- Ahorro en agua y fertilizantes por kilogramos producido.
- Se puede usar agua dura o de cierta salinidad.
- Mayor limpieza e higiene en los productos obtenidos.
- Posibilidad de varias cosechas al año.
- Altos rendimientos por unidad de superficie.

- En poca superficie se puede lograr un alto rendimiento.
- Sin la limitante del suelo, puede producirse en cualquier sitio incluyendo los ambientes urbanos.

Desventajas de la hidroponia:

- Inversión inicial elevada.
- Desconocimiento de la técnica.
- Delicada (mucho cuidado con los detalles).
- Falta de equipo e insumos nacionales.

3.7 Clasificación de los cultivos hidropónicos

Existen diversos tipos de sistemas hidropónicos. La elección de un sistema hidropónico depende de los recursos disponibles, así como de las plantas que se desean cultivar.

Cultivar hortalizas, hierbas y plantas ornamentales de manera hidropónica tiene muchas ventajas desde un punto de vista tanto económico como ecológico, ya que permite obtener cultivos sanos, uniformes y que se desarrollan con mayor rapidez que aquéllos producidos mediante las técnicas agrícolas convencionales.

A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los cultivos hidropónicos existentes:

3.7.1 Sistema Hidropónico de mecha o pabilo

Esta técnica es una de las más simples, ya que no requiere de bombas para transportar la solución nutritiva desde el depósito hasta las charolas o bandejas de crecimiento. En vez de eso, las plantas reciben la solución nutritiva mediante mechas o pabilos.

El sistema de mecha es muy versátil y puede usar distintos tipos de sustrato, pero sólo puede usarse para plantas que requieren poca agua

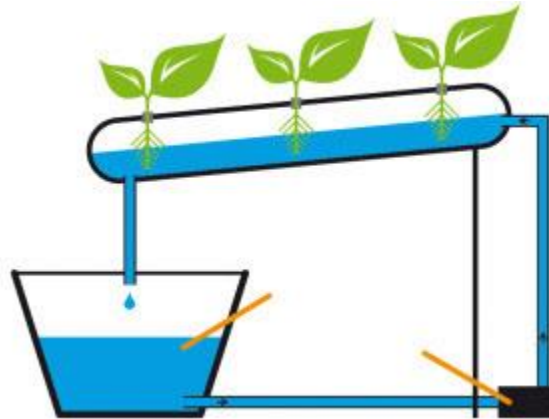


Sistema Hidropónico de Mecha

3.7.2 Técnica de película nutritiva (NFT)

La NFT consiste en crear una película recirculante de solución nutritiva. Dado que el flujo de la solución es constante, no requiere de timers, además de que generalmente no requiere de sustrato. La solución nutritiva es bombeada desde un depósito hacia bandejas de crecimiento o tubos de PVC con plantas,

donde entra en contacto con sus raíces antes de regresar al depósito. Aunque este sistema hidropónico es uno de los más comunes, es muy sensible a fallos en las bombas y en la energía eléctrica.



Sistema Hidropónico NFT

3.7.3 Sistema hidropónico de Raíz flotante

En este método, las plantas se encuentran en una lámina o balsa que flota sobre la solución nutritiva, de modo que sus raíces están sumergidas dentro de la solución. Una bomba de aire le proporciona a las raíces el oxígeno necesario para su óptimo desarrollo.

Éste es uno de los sistemas hidropónicos más simples y baratos y es muy popular en los salones de clases y en actividades con fines didácticos. Sin embargo, muy pocas plantas se desarrollan adecuadamente en este sistema, entre las que destacan la lechuga y otras hojas verdes.

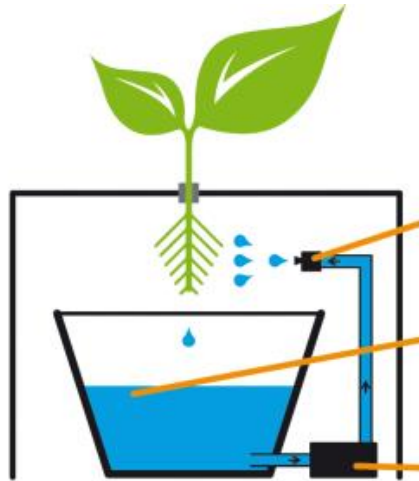


Sistema Hidropónico Raíz Flotante

3.7.4 Aeroponía

Como indica su nombre la aeroponía es una técnica en la que las raíces se encuentran suspendidas en el aire, dentro de un medio oscuro, y se nebulizan con solución nutritiva cada pocos minutos. Aunque es una técnica altamente eficiente, las raíces pueden secarse rápidamente los ciclos de nebulización se

interrumpen.



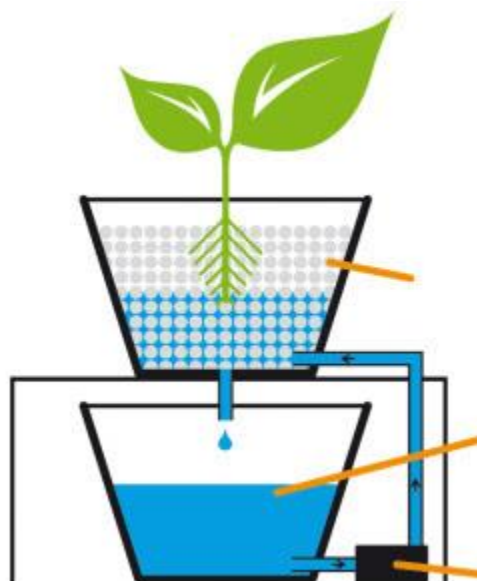
Sistema Hidropónico Aeroponía

3.7.5 Sistema Hidropónico de flujo y reflujo (Ebb & Flow)

En un sistema de flujo y reflujo se inundan temporalmente las charolas de crecimiento con solución nutritiva y luego ésta es drenada de vuelta al depósito.

El flujo se provoca mediante una bomba conectada a un timer que se activa varias veces al día. Cuando ésta deja de funcionar, la solución fluye de vuelta al depósito.

Este sistema hidropónico tiene la gran ventaja de que puede implementarse con muchos tipos distintos de sustrato y que permite el crecimiento de varias especies vegetales. Sin embargo, es importante asegurarse de que la bomba funciona adecuadamente.



Sistema Hidropónico de flujo y reflujo

3.7.6 Sistema por goteo (Drip system)

En estos sistemas de riego, un timer controla una bomba que hace que la solución nutritiva gotee sobre la parte inferior de las plantas. En algunos de estos sistemas, es posible recuperar el exceso de solución nutritiva para reutilizarla, mientras que en otros el exceso de solución se desecha.

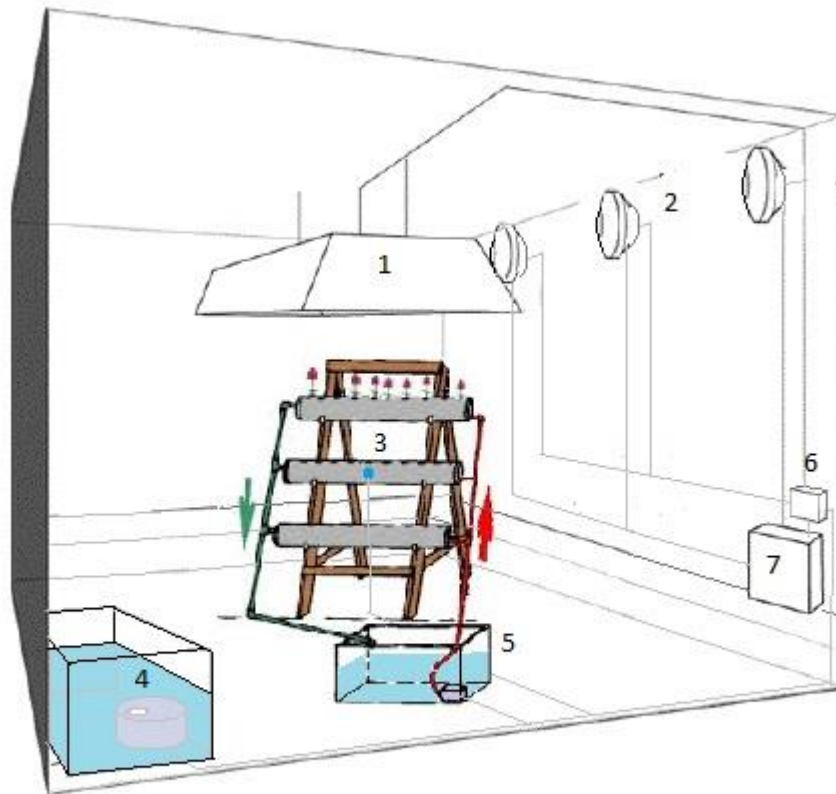
Aunque un sistema hidropónico de recuperación permite aprovechar los nutrientes de manera más eficiente, es más fácil controlar el pH y la concentración de los nutrientes en un sistema sin recuperación de solución nutritiva.



Sistema Hidropónico por goteo

3.8 Principales componentes de un invernadero automatizado

A continuación, se explicará de forma breve los elementos más importantes de un invernadero automatizado:



3.8.1 Growlights

Es una fuente de luz artificial, diseñada para estimular el crecimiento de la planta mediante la emisión de un espectro electromagnético apropiado para la fotosíntesis. Este tipo de fuentes lumínicas se utilizan en aplicaciones donde no hay luz natural o donde se requiere luz suplementaria. Así, en meses de invierno, cuando las horas disponibles de luz del día pueden ser insuficientes para el crecimiento deseado de la planta, las luces se utilizan para extender el tiempo que las plantas reciben luz.

3.8.2 Sistema de Ventilación

La ventilación en los invernaderos es un tema crucial de esencial influencia en los resultados del cultivo. El aumento o decrecimiento de la temperatura y la humedad fuera de los umbrales establecidos (17-30 °C Y 40-60 %HR) causa daños a los cultivos y perjudica su calidad, lo cual, indirectamente provoca el descenso de la producción y de la rentabilidad del invernadero.

Las aberturas laterales y cenitales del invernadero ayudan a la ventilación natural, ya que en realidad el aire caliente sale hacia afuera de la estructura a través de dichas aberturas.

La baja presión de aire dentro del invernadero, así como el viento exterior, provoca que el aire frío penetre dentro del invernadero.

3.8.3 Sensorización

Para el control de variables necesitaremos medir estas mismas para así poder actuar sobre ellas con los sistemas de ventilación y humidificación. Principalmente se medirán las 4 variables más influyentes en el crecimiento de plantas (temperatura, humedad, luminosidad y pH del agua de riego).

3.8.4 Sistema de Humidificación

El control y administración de las condiciones climáticas óptimas dentro de un invernadero, es el factor más importante en la producción en invernaderos, debido a que estas condiciones permiten obtener un mayor crecimiento en el cultivo en un menor tiempo.

Las plantas saludables pueden transpirar grandes cantidades de agua, dando como resultado un incremento en la humedad relativa del aire en un invernadero.

El aumento de la humedad relativa en el invernadero alcanzando los niveles entre el 80 y 85% debe evitarse debido a que este nivel de humedad puede causar enfermedades en las plantas y reduce su transpiración, así también pueden generar precipitaciones que no son deseadas en el invernadero causando que este se puede inundar.

Con una ventilación suficiente o sucesivos calentamientos y ventilación pueden prevenir la condensación en la superficie de los cultivos y en la estructura del invernadero.

Invernaderos localizados en lugares secos como desiertos, benefician en gran medida a los sistemas de enfriamiento por evaporación debido a que grandes cantidades de agua pueden ser evaporadas en el aire que entra al invernadero, dando como resultado caídas de temperatura importantes. Los lugares áridos/secos necesitan de mayores niveles de humedad, por lo que estos invernaderos consumen mayores cantidades de agua. Entre los métodos de actuación para la humedad encontramos:

Ventiladores humidificadores

Con este tipo de humidificadores se puede enfriar o humidificar el invernadero. Estos humidificadores son una opción económica y son sencillos de instalar en invernaderos.

A través de enfriamiento por evaporación y movimiento del aire interior del invernadero, estos sistemas son capaces de disminuir la temperatura hasta en 35° y aumentar la humedad relativa hasta el 100%. No requieren de sistemas de bombeo de alta presión, solo utilizan ventiladores de alta velocidad y fuerza centrífuga para esparcir el vapor de agua.

Ventiladores de niebla

Este equipo se utiliza cuando se requiere mover grandes cantidades de aire. Son utilizados en invernaderos industriales donde la circulación del aire no es la adecuada. Sirven para el control de humedad y ventilación interna. Generan hasta 13000 cfm (cubic feet per minute, pies cúbicos por minuto).

Con el movimiento de estas grandes masas de aire, el invernadero es enfriado y se eliminan los huecos de aire caliente en el interior del invernadero.

Al agregar sistemas de alta presión para niebla se agrega enfriamiento por evaporación, las partículas de agua en la niebla son tan pequeñas que estas se evaporan de forma instantánea.

Este sistema de evaporación consume calor generado en el aire del invernadero, produciendo un gran poder de enfriamiento, debido a que utiliza intercambiadores de calor para evaporar el agua que será utilizada para generar la niebla. La desventaja de estos sistemas es que solo se puede controlar el ventilador o el generador de niebla.

Sistemas de niebla

Este sistema es utilizado cuando se posee un adecuado sistema de ventilación y se requiere de un sistema para humedad y enfriamiento. Funciona mediante enfriamiento evaporativo.

Estos sistemas funcionan mediante el uso de bombas de alta presión, las cuales distribuyen el agua por medio de tuberías colocadas en todo el suelo del invernadero, las cuales contienen salidas especiales para producir diminutas partículas de agua. Con este proceso se crea niebla la cual es evaporada en el invernadero. Cuando el agua es evaporada para generar la humedad necesaria se disminuye la temperatura interior del invernadero.

3.8.5 Sistema de Riego

El objetivo central del riego como componente del invernadero con sistema de cultivo hidropónico es poner la solución nutritiva a disponibilidad de las raíces de las plantas y satisfacer las necesidades hídricas y de nutrientes del cultivo, en el momento adecuado y con la cantidad necesaria.

En la mayoría de los sistemas hidropónicos la solución nutritiva está contenida en tanques de cultivo o en tanques de abastecimiento y es conducida a través de tuberías y mangueras para liberarla lo más cerca de las raíces de cada planta a través de emisores o piquetas. Los criterios para regar van desde los más sencillos como dependiendo de cómo se ve la planta, en base a la radiación acumulada, por básculas, por análisis de curvas de drenaje o por referencias. Independientemente del criterio que se tenga para regar, en los sistemas hidropónicos con sustrato es primordial hacer mediciones de volumen, pH y conductividad eléctrica del agua de riego y drenaje, ya que finalmente son los mejores indicadores de que tan bien o mal se está regando y así poder hacer ajustes en los riegos.

Para evitar oscilaciones importantes de la conductividad eléctrica y un posible estrés hídrico de la planta, se dice que un sustrato con buena capilaridad se debe regar cuando se haya evapotranspirado máximo el 10% del agua que retiene el contenedor, mientras que si la capilaridad es mala se debe regar cuando se haya evapotranspirado el 5% del agua que retiene el contenedor.

En los sistemas hidropónicos donde la solución nutritiva no se recircula, para evitar acumulación de sales en el sustrato con cada riego se debe propiciar un drenaje o sobreriego de un 10 a 30% de lo aplicado con cada riego. La proporción drenada dependerá de las condiciones climáticas, en climas nublados frescos 10% y hasta 30% en climas soleados cálidos o donde se usen aguas que tengan altos niveles de salinidad.

Dependiendo de si las cantidades del drenaje del exceso de la solución nutritiva aplicada en el riego, son recuperadas y reusadas, los sistemas pueden clasificarse en sistemas abiertos o sistemas cerrados. Los sistemas abiertos no recirculan la solución nutritiva, los sistemas cerrados sí.

3.8.6 Microcontrolador

Los invernaderos con un microcontrolador manejan y controlan todos los factores más importantes que son indispensables para el buen y correcto crecimiento y desarrollo de las plantas. De esta manera, podremos mantener controladas todas las variables que queramos dentro de nuestro invernadero. Normalmente se suelen tomar como principales variables la temperatura y la humedad, aunque además se podría controlar el pH y la conductividad de la solución nutritiva, teniendo un control de las sales y los iones de hidrógeno existentes en dicha solución.

También podríamos controlar otras variables, como por ejemplo el índice de dióxido de carbono, indispensable para el crecimiento de la planta.

3.9.7 Relé

Recibe la orden desde el microcontrolador para activar o desactivar cada uno de los actuadores cada uno de los actuadores en función de las señales de entrada que se reciben a través de los sensores. Mas adelante se explicara de forma más detallada su funcionamiento y su importancia en el proyecto.

4 COMPONENTES DEL PROTOTIPO

El capítulo que se desarrollará a continuación detallará los elementos que componen el invernadero en su conjunto, el proceso de montaje y la puesta a punto del mismo.

Componentes para el montaje del Invernadero

A continuación se llevará a cabo una breve descripción sobre los componentes que se han utilizado para el desarrollo y la implementación del invernadero, separándolos en dos subapartados, el primero se referirá al desarrollo y montaje de la estructura, y el segundo subapartado describirá la electrónica usada para el control de variables.

4.1 Estructura

Tomando como principal objetivo, el de construir una estructura que permita el correcto funcionamiento del invernadero y el uso eficiente de los recursos de los que dispondremos. Tendremos en cuenta los siguientes criterios:

Materiales de cubierta

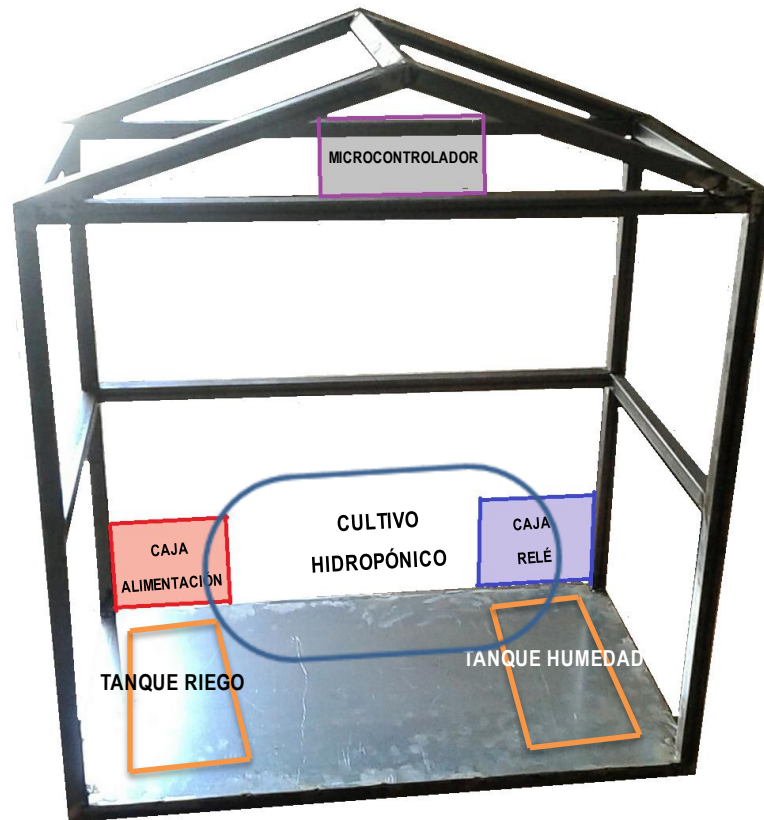
Estos detalles básicos deben tomarse en cuenta al momento de seleccionar la tecnología del invernadero, ya que en su momento pueden causar serios problemas de operación. Otra de las disyuntivas, es seleccionar la cubierta y el ancho del invernadero, lo cual está directamente relacionado con los factores de la temperatura, y en última instancia con la calidad del agua.

Tamaño.

Una solución para rentabilizar el enfriamiento, es utilizar una medida de profundidad que sea entorno a 1/2 del ancho del invernadero, para tener una adecuada ventilación natural y evitar los cambios bruscos de temperatura.

En este caso, este invernadero denominado “pasivo” puede dar un buen resultado si se combina con una mayor densidad del cultivo y ciclos cortos de producción. De esta forma, las plantas pueden ofrecer mayor resistencia a los cambios del clima e incluso desarrollar mecanismos de defensa contra bajas temperaturas.

En algunos experimentos realizados en este tipo de invernaderos, se ha demostrado que es posible obtener rendimientos elevados con menores costos de producción en pequeñas escalas.



Estructura y distribución de componentes del Invernadero

De esta manera, los elementos usados en la anterior estructura una vez soldados son:

- 5 barras de metal hueco 97cm (Ancho)
- 7 barras de metal hueco 55cm (Profundidad)
- 4 barras de metal hueco 101cm (Altura)
- 4 barras de metal hueco 55cm (Cúpula)

La idea principal es la de dejar espacio suficiente para 3 cajas que contengan los circuitos de alimentación, los relés (para que no haya ningún tipo de interferencia electromagnética), y por último, el microcontrolador.

De la misma forma también dejaremos espacio para un tanque de riego y otro para el agua que humidificaremos. Siempre teniendo en cuenta donde colocaremos el cultivo.

En cuanto a la cubierta del invernadero se ha utilizado un tipo de PVC rígido transparente de 0.25mm de grosor, buscando la máxima transparencia posible y abarcando así los exteriores más luminosos.



Cubierta de PVC rígido de 25mm de grosor

Una vez colocado el PVC rígido, se han utilizado tiras de plástico junto con remaches para poder sujetar el PVC, dejando de esta manera adherido el PVC a la estructura.



Sujecion remachada de la cubierta de PVC rígido con tiras de plástico de cobertura

De igual manera, la construcción de la estructura de PVC referente al cultivo necesitará agujeros donde introducir las macetas hidropónicas, que llevarán consigo las plantas, y otros secundarios, que favorecerán la respiración de la planta a través de sus raíces.



Estructura del cultivo hidropónico

Para la estructura del cultivo hidropónico se han utilizado:

- 3 tubos PVC de 90mm diámetro
- 4 codos PVC de 90mm diámetro
- 2 barras huecas aluminio 50cm
- 2 barras huecas aluminio 30cm

Asimismo, cada una de las macetas deberá tener una serie huecos, con la finalidad de hacer llegar la solución nutritiva a la planta, tal y como se observa en la figura.



Maceta hidropónica

4.2 Electrónica

Para la implementación de un sistema apto para el control se utilizarán diversos sensores y actuadores que permita tener un manejo eficaz sobre las variables que influyen en el proceso de crecimiento de plantas. El hardware utilizado ha sido el siguiente:

4.2.1 Arduino Mega 2560.

4.2.2 Módulo Bluetooth HC-05.

4.2.3 Módulo RTC DS3231.

4.2.4 Módulo 4-Relay.

4.2.5 Sensores

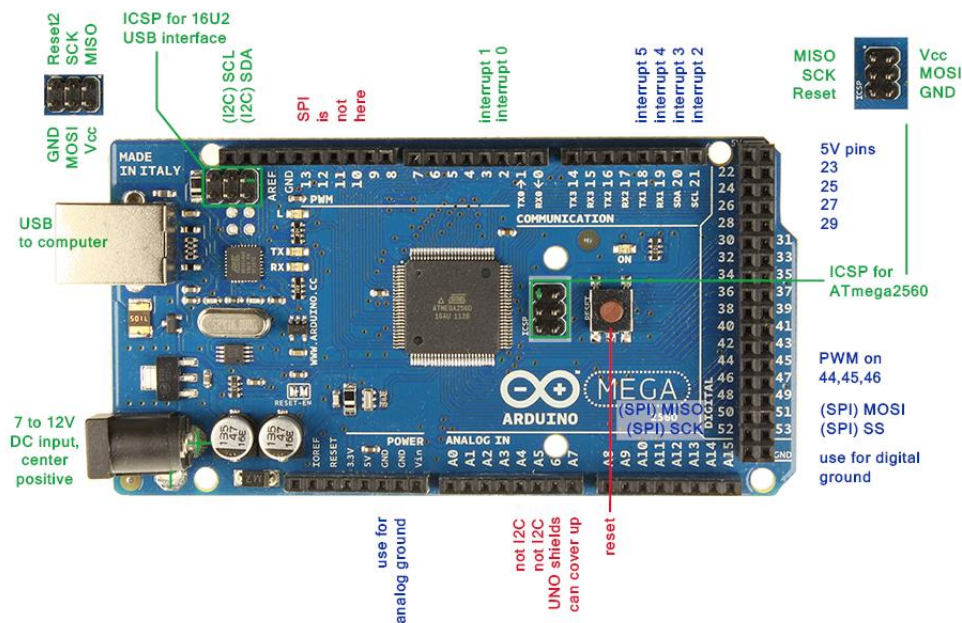
- 4.2.5.1 Sensor de temperatura y humedad DHT11.
- 4.2.5.2 Sensor de pH Atlas Scientific (pH circuit 5.0).
- 4.2.5.3 Sensor de luminosidad fotoresistor o LDR.

4.2.6 Actuadores

- 4.2.6.1 Bomba de Riego XFK-15P
- 4.2.6.2 Ventiladores Aric F12 PWM
- 4.2.6.3 Resistencia Calefactora
- 4.2.6.4 LE LED Grow light
- 4.2.6.5 Ultrasonic Mist Maker Humidifier
- 4.2.6.6 Servomotor Parallax.

4.2.1 Arduino mega 2560

Arduino es una marca de microcontroladores mundialmente conocida por los amantes de la electrónica, la programación y la robótica. Es un proyecto Open Source que pone a disposición de sus usuarios una amplia gama de dispositivos basados en el microcontrolador AtMega.



Pines Arduino mega 2560

El Arduino mega es una versión mejorada del microcontrolador Arduino uno, con un micro más potente y bastante capaz dentro de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reseteo y una entrada para la alimentación de la placa.

La comunicación entre nuestro computador y Arduino se produce a través del Puerto Serie. Posee un convertidor usb-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras.



De esta manera, el Arduino mega posee las siguientes especificaciones:

- **Microcontrolador:** ATmega2560
- **Voltaje Operativo:** 5V
- **Voltaje de Entrada:** 7-12V
- **Voltaje de Entrada(límites):** 6-20V
- **Pines digitales de Entrada/Salida:** 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- **Pines análogos de entrada:** 16
- **Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida:** 40 mA
- **Corriente DC entregada en el Pin 3.3V:** 50 mA
- **Memoria Flash:** 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- **SRAM:** 8KB
- **EEPROM:** 4KB
- **Clock Speed:** 16 MHz

En cuanto a alimentación, Arduino mega puede ser alimentado mediante el puerto USB o con una fuente externa. La alimentación es seleccionada de manera automática.

Cuando se trabaja con una fuente externa se debe utilizar un convertidor AC/DC y regular dicho voltaje en el rango operativo de la placa. De igual manera se puede alimentar el micro mediante el uso de baterías. Preferiblemente el voltaje debe estar en el rango de los 7V hasta los 12V.

—Arduino mega posee algunos pines para la alimentación del circuito aparte del adaptador para la —
alimentación:

- **VIN:** A través de este pin es posible proporcionar alimentación a la placa.
- **5V:** Podemos obtener un voltaje de 5V y una corriente de 40mA desde este pin.
- **3.3V:** Podemos obtener un voltaje de 3.3V y una corriente de 50mA desde este pin.
- **GND:** El ground o tierra (0V) de la placa.

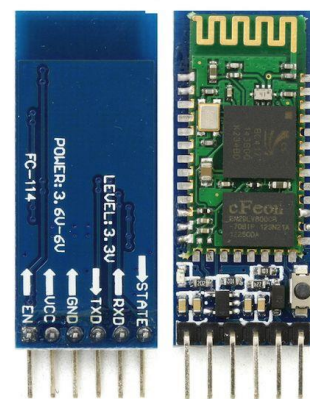
La función principal del Arduino en el proyecto Greenhouse es la de procesar toda la información proveniente de los sensores y actuar en función del código implementado.

4.2.2 Modulo Bluetooth HC-05

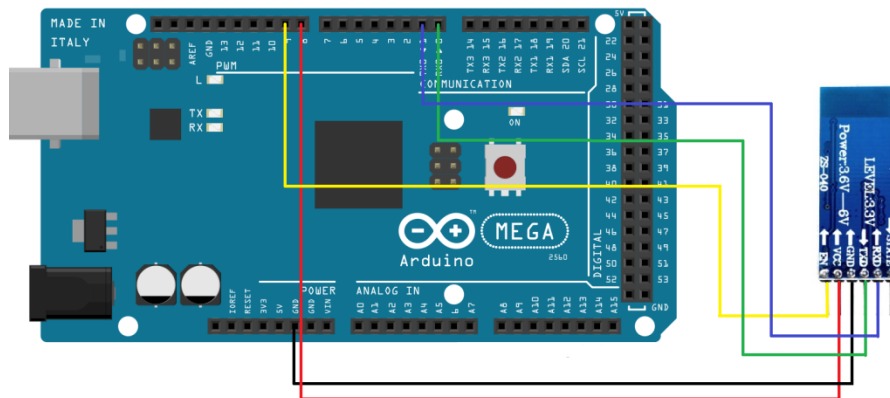
Este módulo puede configurarse tanto como Master que como Slave, además dispone de bastantes más parámetros de configuración y capacidades de interrogación que otros modelos, como por ejemplo el HC-06.

Para otorgarle al HC-05 el modo comandos requiere una cierta manera de arrancado, concretamente requiere que el pin EN, esté en HIGH después de haber encendido el modulo.

HC-05



Conexión Arduino mega/HC-05



//////POSIBLE ANEXO//////////

Para hacer posible la comunicación deberemos enlazar nuestro modulo Bluetooth HC-05 con nuestro móvil, para ello tomaremos los siguientes pasos:

1. Enlace Arduino con Android

Tomaremos la ruta Ajustes -> Bluetooth -> Activar Bluetooth -> Dispositivos disponibles -> HC-05 -> Enlazar

Otorgaremos la contraseña "1234", enlazando de esta manera nuestro móvil a nuestro módulo HC-05, y por ende a nuestro Arduino Mega 2560.

2. Instalación de Greenhouse App

Para la instalación de nuestra aplicación primeramente deberemos arrastrar la app desarrollada desde AppInventor 2, de la que en apartados posteriores de hablará, hacia la memoria interna del móvil, habiendo conectado anteriormente nuestro móvil al computador.

Una vez tengamos nuestra Greenhouse App en la memoria del móvil tomaremos la siguiente ruta Archivos -> Aplicaciones -> Apps -> Greenhouse App -> Aceptar.

De este modo habremos instalado nuestra App en el Android y podremos buscarla entre nuestras aplicaciones. Ya sólo faltará enlazar la aplicación con nuestra Greenhouse App.

3. Enlace Greenhouse App con HC-05

Abriendo la Greenhouse App pulsaremos sobre el botón Connect en el menú de la pantalla HOME.

(FOTO PANTALLA PRINCIPAL)

Luego accionaremos 00:14:03:06:1F:80 HC-05.

(FOTO PANTALLA ENLACE CONNECT)

Y ya nuestro móvil ya estará listo para recibir la información de los sensores y modificar el estado de nuestros actuadores.

4.2.3 Módulo RTC DS3231

Un reloj de tiempo real (RTC) es un dispositivo electrónico que permite obtener mediciones de tiempo en las unidades temporales que empleamos de forma cotidiana.

El término RTC se creó para diferenciar este tipo de relojes de los relojes electrónicos habituales, que simplemente miden el tiempo contabilizando pulsos de una señal, sin existir relación directa con unidades temporales.

Por el contrario los RTC son más parecidos a los relojes y calendarios que usamos habitualmente, y que funcionan con segundos, minutos, horas, días, semanas, meses y años.

Los RTC normalmente están formados por un resonador de cristal integrado con la electrónica necesaria para contabilizar de forma correcta el paso del tiempo. La electrónica de los RTC tienen en cuenta las peculiaridades de nuestra forma de medir el tiempo, como por ejemplo el sistema sexagesimal, los meses con diferentes días, o los años bisiestos.

Los RTC aportan la ventaja de reducir el consumo de energía, aportar mayor precisión y liberar a Arduino de tener que realizar la contabilización del tiempo. Además, frecuentemente los RTC incorporan algún tipo de batería que permite mantener el valor del tiempo en caso de pérdida de alimentación.

En el mundo de la electrónica casera y Arduino existen dos RTC habituales el DS1307 y el DS3231, ambos fabricados por Maxim (anteriormente Dallas Semiconductor). El DS3231 tiene una precisión muy superior y puede considerarse sustituto del DS1307.



En el modelo DS1307 las variaciones de temperatura que afectan a la medición del tiempo de los cristales resonadores se traducen en errores en un desfase acumulado. Esto hace que el DS1307 sufra de un desfase temporal, que puede llegar a ser 1 o 2 minutos al día.

Para solucionarlo, el DS3231 incorpora medición y compensación de la temperatura garantizando una precisión de al menos 2ppm, lo que equivale a un desfase máximo 172ms/día o un segundo cada 6 días. En el mundo real normalmente consiguen precisiones superiores, equivalente a desfases de 1-2 segundos al mes.

La comunicación en ambos modelos se realiza a través del bus I2C, por lo que es sencillo obtener los datos medidos. La tensión de alimentación es 4.5 a 5.5 para el DS1307, y 2.3 a 5.5V para el DS3231.

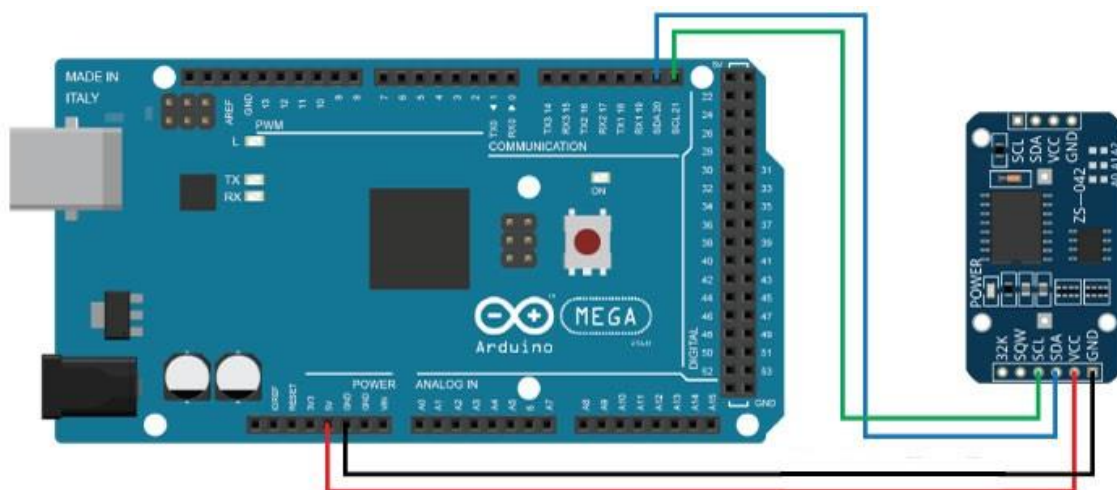
Frecuentemente estos módulos también incorporan una pequeña EEPROM AT24C32, que puede ser empleada para almacenar registros y mediciones. En el caso del DS3231, la medición de temperatura también está disponible, aunque tiene una precisión baja $\pm 3^{\circ}\text{C}$, y el tiempo de adquisición puede durar hasta 1 segundo.

También incorporan una batería CR2032 para mantener el dispositivo en hora al retirar la alimentación. Esta batería debería ser capaz de mantener alimentado durante varios años al DS1307, y durante meses al DS3231. La tensión de alimentación de batería es de 2.0 a 3.5 para el DS1307 y de 2.3 a 5.0 para el DS3231.

Los RTC son dispositivos ampliamente utilizados en electrónica. Todos los ordenadores personales, servidores, tablets, y smartphone incorporan uno. También son muy frecuentes en sistemas embebidos y, en general, en multitud de dispositivos que requieren realizar un registro del tiempo.

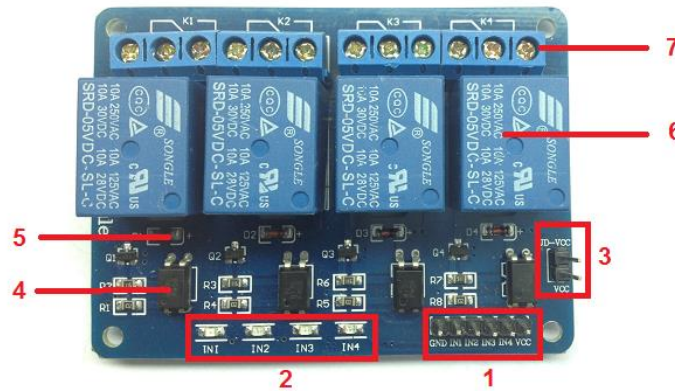
En nuestro caso, el módulo RTC DS3231 será clave para el encendido y apagado del sistema de iluminación Growlight y del sistema de riego del cultivo hidropónico. De esta forma no se derivará el reloj biológico de la planta.

Conexión Arduino mega/DS3231



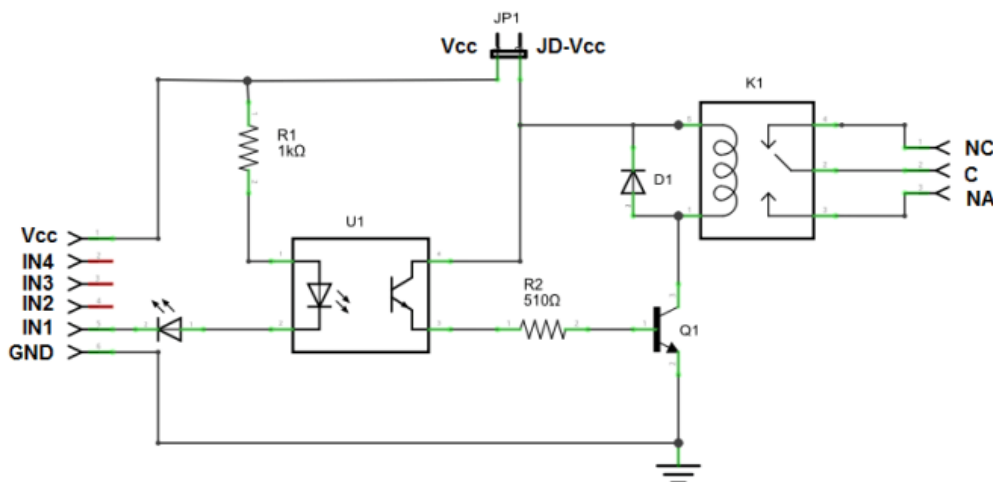
4.2.4 Módulo 4-Relay

Este módulo de 4 relés, que es alimentado con 5 voltios, es capaz de manejar cargas de hasta 10 amperios en 250 voltios en su salida, de esta forma, las entradas están aisladas de las salidas mediante el uso de optoacopladores.



Como se puede apreciar, la placa tiene un conector de entradas (IN1 a IN4), uno a alimentación (Vcc) y otro de tierra (GND) [1]. Además, también posee cuatro leds que indican el estado de las entradas [2], un jumper selector para la alimentación de los relés [3], cuatro optoacopladores del tipo FL817C [4], cuatro diodos de protección [5], cuatro relés marca SONGLE con bobinas de 5V de excitación y contactos capaces de controlar hasta 10 A en una tensión de 250V [6] y cuatro bornas, con tres contactos cada una (Común, Normal abierto y Normal cerrado), para las salidas de los relés [7].

En la imagen de más abajo se puede apreciar el circuito esquemático de un canal, el resto de los canales repite la misma configuración.



A partir del esquemático analicemos el funcionamiento del circuito: la entrada IN1 está conectada al cátodo del diodo del optoacoplador a través del led indicador. El ánodo del diodo del optoacoplador se conecta a Vcc (positivo) por intermedio de R1, una resistencia de 1000 ohms. Estos tres componentes, el diodo indicador, el diodo del opto y la R1 forman un circuito serie por el cual circula la corriente cuando la entrada está a un nivel BAJO (conectada a GND) y no circula si la entrada está a un nivel ALTO (conectada a Vcc).

El transistor del opto tiene su colector a JD-Vcc y su emisor conectado a Q1 a través de una resistencia de 510 ohms. Este es otro circuito serie por el cual circula corriente cuando el transistor del opto conduce al ser "iluminado" por su diodo, con lo que se introduce corriente en la base de Q1 a través de R2.

~~Finalmente, Q1 está conectado en una típica configuración emisor común, con su emisor a masa (GND) y la bobina del relé como carga en el colector. Cuando circula corriente por la base desde el opto, Q1 se satura permitiendo el paso de la corriente a través de la bobina del relé, lo que produce que se cierren los contactos del mismo (común con normal abierto). El diodo D1 protege al transistor de la tensión que aparece en la bobina del relé cuando deja de circular corriente por la misma.~~

En síntesis, al ponerse la entrada a nivel **BAJO** se pone a la saturación el transistor Q1 a través del optoacoplador con lo que se cierra el contacto normal abierto del relé.

En cuanto a alimentación y consumo, la forma mas sencilla de alimentar este módulo es desde Vcc y GND de la placa Arduino, manteniendo el Jumper en su lugar, con lo que $JD-Vcc = Vcc$.

Esta conexión tiene dos limitaciones importantes:

- Se pierde la aislación eléctrica que brindan los optoacopladores, lo que aumenta la posibilidad de daño al Arduino si hay algún problema con las cargas de los relés.
- La corriente consumida por las bobinas de los relés debe ser provista por la placa Arduino. Cada bobina consume unos 90 mA y las cuatro juntas suman 360 mA. Si a esto le sumamos los consumos que pueden tener otras salidas, estamos muy cerca de los 500 mA que puede suministrar un puerto USB. En este caso se debería alimentar al Arduino con una fuente externa, lo que aumenta el límite de corriente a 1 A (en el caso de la Arduino UNO).

La forma más segura es quitar el jumper y alimentar la placa de relés con dos fuentes: la de la placa Arduino conectada a Vcc y una segunda fuente, con el positivo a JD-Vcc y el negativo a GND, sin estar éste unido a la placa Arduino.

Esta conexión tiene como ventajas:

- Hay completa aislación entre la carga y el Arduino.
- Todo el consumo de los relés es tomado de la segunda fuente y no del Arduino o el puerto USB.

Para la puesta a punto de este componente no ha hecho falta esta ultima configuración, ya que el consumo de nuestra placa no es muy elevado, y puede surtir a todos los componentes sin problemas.

3.2.1 Sensores

- **Sensor de temperatura y humedad DHT11**

Este sensor se caracteriza por tener la señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un microcontrolador de 8 bits integrado. Está constituido por dos sensores resistivos (NTC y humedad). Tiene una excelente calidad y una respuesta rápida en las medidas. Puede medir la humedad entre el rango 20% – aprox. 95% y la temperatura entre el rango 0°C – 50°C.

Cada sensor DHT11 está estrictamente calibrado en laboratorio, presentando una extrema precisión en la calibración. Los coeficientes de calibración se almacenan como



programas en la memoria OTP, que son empleados por el proceso de detección de señal interna del sensor.

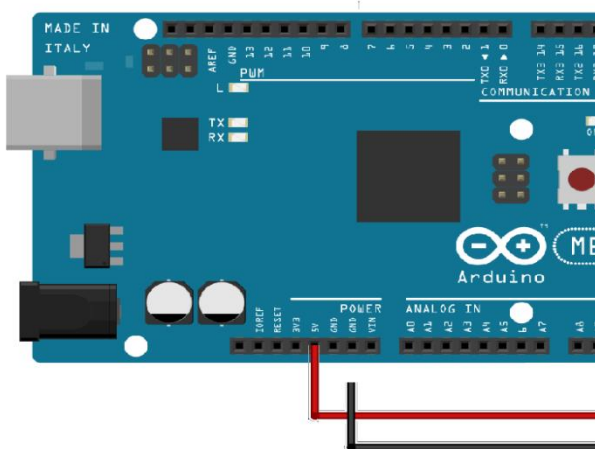
El protocolo de comunicación es a través de un único hilo (protocolo 1-wire), por lo tanto hace que la integración de este sensor en nuestros proyectos sea rápida y sencilla. Además presenta un tamaño reducido, un bajo consumo y la capacidad de transmitir la señal hasta 20 metros de distancia, además tiene un valor muy económico.

Lo malo de este sensor es que solo nos va a dar medidas enteras, es decir sin decimales, ya que la resolución que presenta es de 1% para la humedad relativa y de 1°C para la temperatura.

Algunas características de este sensor son:

Model	DHT11	
Power supply	3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer resistor	
Measuring range	humidity 20-90%RH; temperature 0-50 Celsius	
Accuracy	humidity +-4%RH (Max +-5%RH); temperature +-2.0Celsius	
Resolution sensitivity	humidity 1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH;	temperature +-1Celsius
Humidity hysteresis	+-1%RH	
Long-term Stability	+-0.5%RH/year	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	size 12*15.5*5.5mm	

Conexión Arduino mega/DHT11



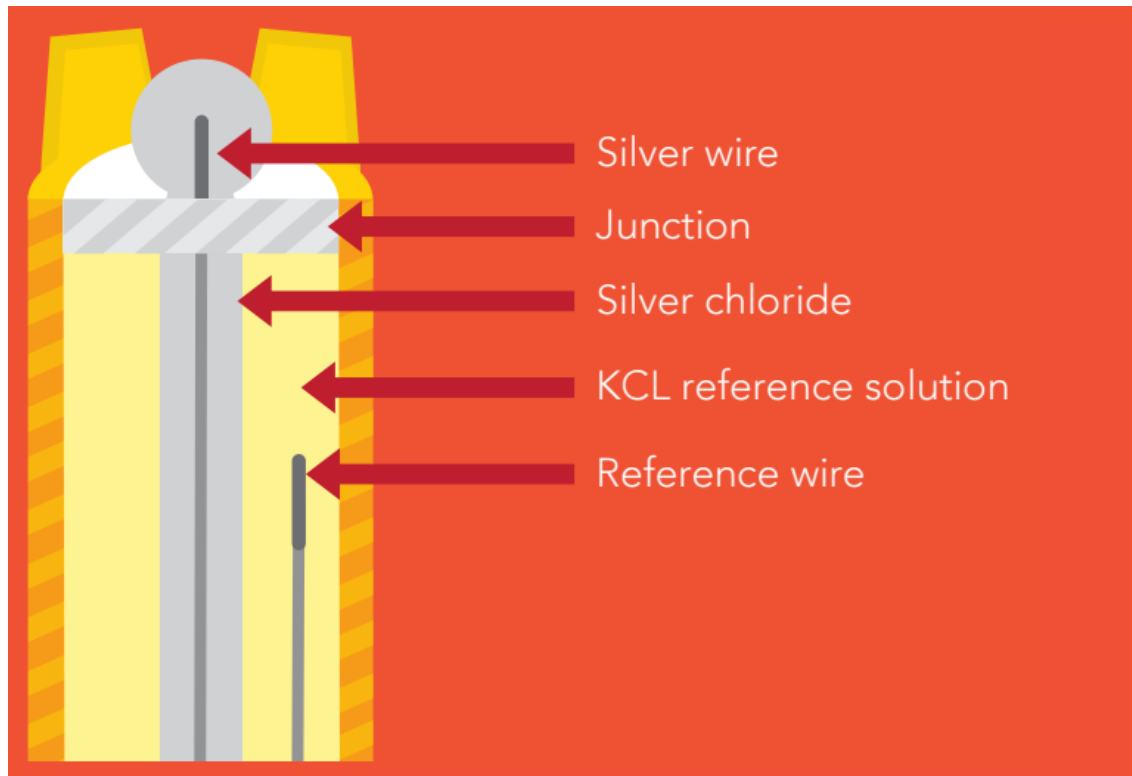
- Sensor pH Atlas Scientific (pH circuit 5.0)



El principio de operación de la sonda de pH (potencial de hidrógeno) es el de medir la actividad del ion-hidrógeno en un líquido.

En la punta de la sonda de pH hay una membrana de vidrio que permite a los iones de hidrógeno del líquido que se está midiendo desactivar la capa externa del vidrio, mientras los iones más grandes permanecen en la solución.

La diferencia en la concentración de iones de hidrógeno (fuera de la sonda vs. dentro de la sonda) crea una corriente MUY pequeña. Esta corriente es proporcional a la concentración de iones hidrógeno en el líquido que se está midiendo.



Entre las características más destacables de la probeta encontramos:

- Rango: 0-14
- Tiempo de respuesta: 95% en 1s
- Presión máxima: 100 PSI
- Rango de temperatura (°C): 1-99 ° C
- Sensor de temperatura interno: No.
- Tiempo antes de la recalibración: alrededor de 1 año.
- Esperanza de vida: 2.5 Años aproximadamente.

En cuanto al circuito de pH es un sistema de monitorización del pH muy compacto que se adapta a cualquier tabla de pruebas. Esta configuración de diseño permite al usuario monitorear con precisión el pH sin tener que agregar circuitos o componentes adicionales a su diseño. La comunicación con el circuito de pH se realiza utilizando sólo 14 comandos ASCII de un solo carácter.

El circuito de pH proporciona lecturas científicas de grado a cualquier sistema embebido que tenga una interfaz de conexión en serie asíncrona (oscilación de tensión 0-VCC, no +/- 12 voltios). En nuestro caso, solo

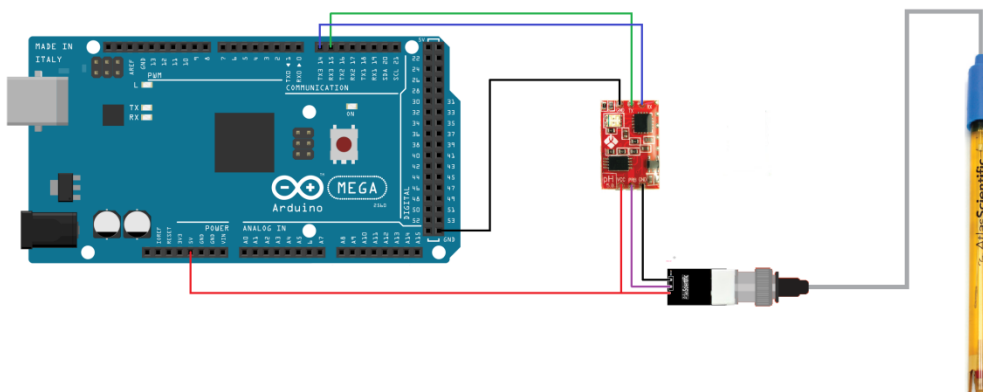


utilizamos el carácter de lectura discontinua 'R' a través del puerto serie número 3, pero la hacemos cada vez que se recorre el programa.

Algunas de las características de este circuito son:

- Lectura de pH de rango completo de 0.01 a 14.00
- Precisión dentro de dos cifras significativas (XX.XX)
- Lectura única o modos de lectura continua
- Lecturas dependientes de la temperatura o independientes
- Protocolo de calibración simple
- Conectividad serial asíncrona simple (voltaje oscilante 0-VCC)
- Conectividad serial asíncrona simple con 8 velocidades diferentes
- Detección automática de velocidad en baudios
- Juego de instrucciones sencillo que consta de sólo 14 comandos
- Tensión de funcionamiento de 3.3V a 5.5V
- Bajo consumo de energía

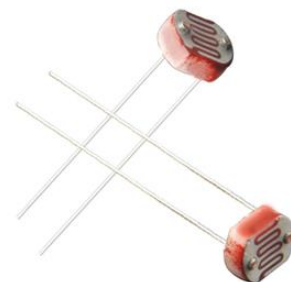
Conexión Arduino mega/pH circuit 5.0/pH probe



- **Sensor de luminosidad fotoresistor o LDR.**

Un fotoresistor, o LDR (light-dependent resistor) es un **dispositivo cuya resistencia varía en función de la luz recibida**. Podemos usar esta variación para medir, a través de las entradas analógicas, una estimación del nivel del luz.

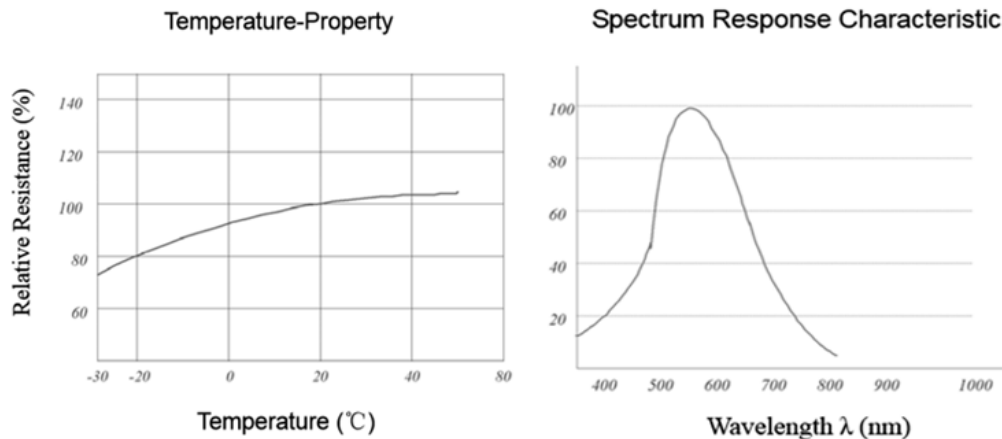
Un fotoresistor está formado por un semiconductor, típicamente sulfuro de cadmio CdS. Al incidir la luz sobre él algunos de los fotones son absorbidos, provocando que electrones pasen a la banda de conducción y, por tanto, disminuyendo la resistencia del componente.



Por tanto, **un fotoresistor disminuye su resistencia a medida que aumenta la luz sobre él**. Los valores típicos son de 1 MΩ en total oscuridad, a 50-100Ω bajo luz brillante.

Por otro lado, la variación de la resistencia es relativamente lenta, de 20 a 100 ms en función del modelo. Esta lentitud hace que no sea posible registrar variaciones rápidas, como las producidas en fuentes de luz artificiales alimentadas por corriente alterna. Este comportamiento puede ser beneficioso, ya que dota al sensor de una gran estabilidad.

Finalmente, los fotoresistores no resultan adecuados para proporcionar una medición de la iluminancia, es decir, para servir como luxómetro. Esto es debido a su baja precisión, su fuerte dependencia con la temperatura y, especialmente, a que su distribución espectral no resulta adecuada para la medición de iluminancia. Aun así, como vamos a trabajar en un rango de temperatura de entre 14 y 30 °C, no tendremos problemas a la hora de usar este dispositivo como sensor de luminosidad.



Por lo tanto, **el fotoresistor o LDR será un sensor que resultará adecuado para proporcionar medidas cuantitativas sobre el nivel de luz, para así poder activar o desactivar el sistema de iluminación Growlight.**

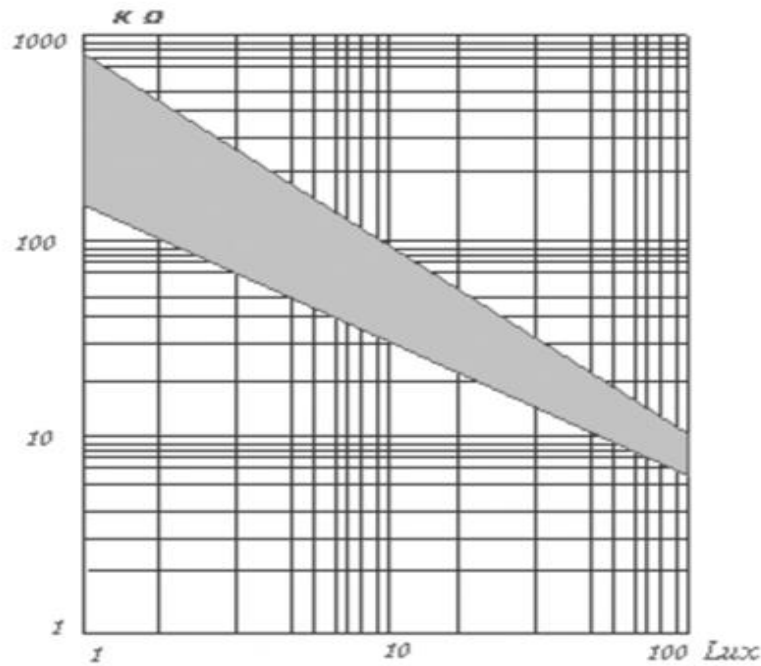
En cuanto a su funcionamiento, matemáticamente hablando, la relación entre la iluminancia y la resistencia de una LDR sigue una función potencial.

$$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{R}{R_0} \right)^{-\text{gamma}}$$

Siendo R_0 la resistencia a una intensidad I_0 , ambas conocidas.

La constante gamma es la pendiente de la gráfica logarítmica, o la pérdida de resistencia por década. Su valor típicamente 0.5 a 0.8.

Por este motivo, frecuentemente las gráficas que relacionan ambos valores se representan en escalas logarítmicas para ambos ejes. Bajo esta representación, la relación se muestra como una gráfica lineal.



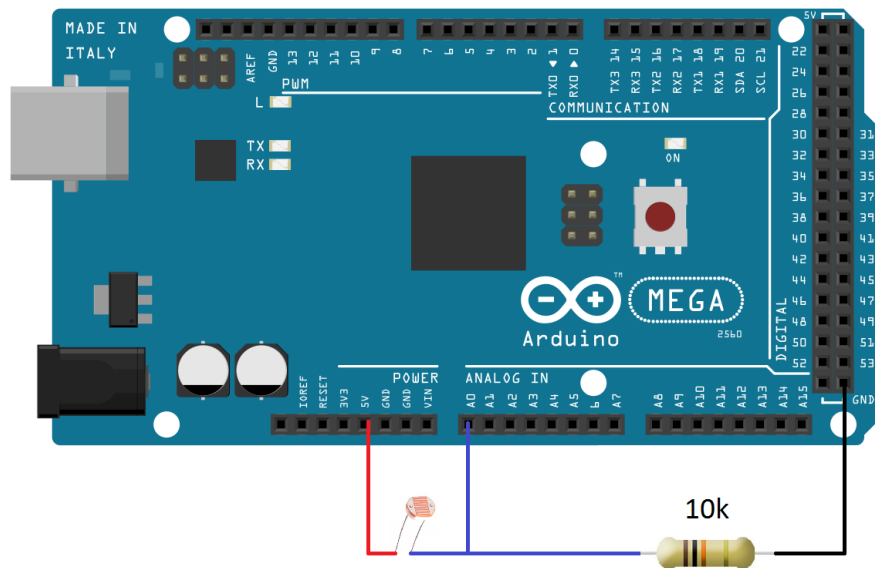
Estos valores pueden ser obtenidos del datasheet del componente. Por ejemplo, para la familia GL55 de fotoresistores son los siguientes:

Modelo	Voltaje (V)	Temperatura (°C)	Pico espectral (nm)	Resistencia oscuridad (KΩ)	Resistencia luz brillante (KΩ)	gamma	Tiempo respuesta (ms)
GL5516	150	-30°+70°	540	5-10	500	0.5	30
GL5528	150	-30°+70°	540	10-20	1000	0.6	25
GL5537-1	150	-30°+70°	540	20-30	2000	0.6	25
GL5537-2	150	-30°+70°	540	30-50	3000	0.7	25
GL5539	150	-30°+70°	540	50-100	5000	0.8	25
GL5549	150	-30°+70°	540	100-200	10000	0.9	25

Sin embargo, siempre existirán pequeñas variaciones entre dispositivos, incluso dentro de la misma familia, debidos a la fabricación del componente.

El comportamiento potencial hace que estas pequeñas diferencias supongan grandes variaciones en la medición, por lo que no es posible, en general, emplear estos valores de forma absoluta sin un proceso de calibración.

Conexión Arduino mega/fotorresistor (LDR)



3.2.2 Actuadores

- **Bomba de Riego XKF-15P**

Esta bomba sumergible se utiliza para hacer fluir la solución con nutrientes a través de los conductos de PVC que contienen las plantas eliminando los problemas de aspiración cuando la altura de aspiración es elevada. Este modelo XKF-15P tiene un consumo 15W. Posee una capacidad para ofrecer la solución a una altura máxima de 1m, teniendo una velocidad de flujo máximo 850 l/h, y una temperatura máxima 35°C.



Esta bomba se accionará cada una o dos horas, según sea el valor que se le otorgue desde la app móvil. Por defecto, el relé ordenará a la bomba que cada hora se programe un riego cuya duración vendrá en función de la estación del año que anteriormente hayamos otorgado desde la app móvil (Not specified, Spring, Summer, Autumn, Winter), de esta forma no desvirtuaremos el ciclo interno de la planta.

- **Ventiladores PWM F12 Arctic-Cooling**

El PWM F12 Arctic-Cooling es un ventilador PWM para la refrigeración de los componentes del PC. Lleva hasta 96,8 m³ de aire por hora. Su alimentación es de 12V, 0.25A, y a través del conector PWM el ventilador puede funcionar a una velocidad 0 y 1.500 rpm.

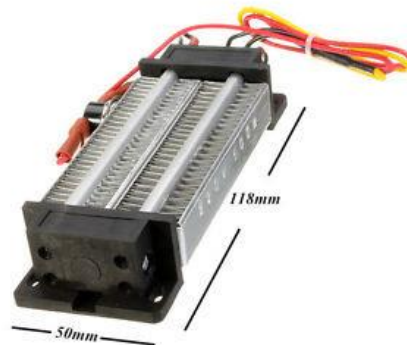
Posee además una conexión a través de la cual es posible conectar mas ventiladores de este tipo en paralelo. Sus dimensiones son de 120x120x25 mm. Para el correcto funcionamiento de la señal PWM deberemos conectar la tierra del Arduino a la tierra del ventilador y por ende, a la tierra de la fuente de alimentación.



Se utilizaran 3 para la ventilación y el control de humedad, disminuyendo, expulsando humedad del invernadero, y un ultimo, que se utilizara para el sistema de humidificación, pudiendo de esta manera controlar el aumento de la humedad.

- **Resistencia calefactora**

Esta resistencia es capaz de calentar aire hasta 5 grados en un periodo de 15 minutos. Funciona a 220V AC, y está programada para el control de temperatura, en el caso de que el la temperatura sea menor a la umbral de 17 °C.



Ademas, en siguientes versiones del proyecto es posible implementar la activación de esta resistencia a través del relé para el control de humedad en caso de tener una humedad mayor en el exterior del invernadero.

- **LED Grow light**

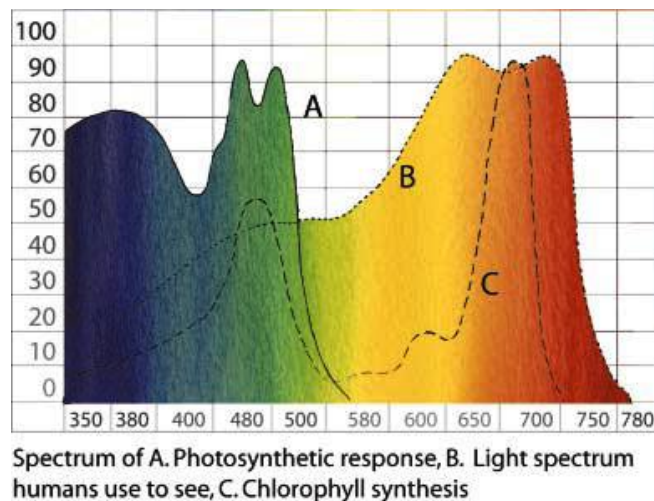
Para el proceso de fotosíntesis, todas las plantas utilizan rangos de longitud de onda (luz de crecimiento) de luz de



—400nm hasta los 700nm. El espectro de la radiación recibida puede afectar tanto el crecimiento de la planta, como su floración; y en el caso de las plantas con aplicaciones medicinales, puede afectar el sabor, olor e incluso el valor farmacéutico y nutricional.

Esta irradiación fotosintética responsable de la excitación de la clorofila, es mayor en la franja roja del espectro que en la azul, de modo que los vegetales emplean de forma más eficiente la radiación de la región del rojo. La mayor parte de la luz solar que captan las plantas es convertida en calor y solamente la luz roja y azul es esencial para su crecimiento.

En este gráfico se puede observar las partes del espectro “visibles” o utilizables por el ser humano (B) y por las plantas, la línea de respuesta a la fotosíntesis (A) y la línea que marca los espectros dónde mejor se desarrollan las plantas (C).



Básicamente los LEDs que necesitaría una planta para vivir y desarrollarse con plenitud serían los siguientes:

- LEDs blancos: Simulan la luminosidad
- LEDs rojos: Encargados de aportar rayos infrarrojos necesarios para el florecimiento
- LEDs azules: Aportan rayos UV necesarios para el crecimiento

En una lámpara tener componentes de color amarillo o no, tener más rojos o naranjas o cualquier otro pequeño detalle, va a marcar la diferencia entre la lámpara óptima y la de rendimiento precario.

Las tecnologías de iluminación utilizadas hasta el momento para cultivos han sido poco eficientes. Las luminarias tradicionales de alta presión de Sodio, halogenuros metálicos, fluorescentes y fluorescentes compactos tipo Agrolite o domésticos (CFL) primordial, son mucho menos eficientes energéticamente y lumínicamente que las luminarias LED. Sólo alrededor del 35% de la potencia y el 10% de la luz emitida de halogenuros metálicos es utilizada por las plantas; en caso de las luces LED el 90% de la luz de las lámparas puede ser absorbido por las plantas.

Entre algunas de las características de la LE LED Grow light encontramos:

1. Voltaje de entrada: 220V.
2. Frecuencia: 50/60Hz.
3. Espectro: Azul (460nm, 3pcs) y Rojo (630nm, 6pcs/660nm,3pcs).
4. Consumo: 12W.
5. Esperanza de vida: 50000h.
6. A prueba de agua.

- **Ultrasonic Mist Maker Humidifier**

Los humidificadores ultrasónicos, producen una nebulización del agua a través de vibraciones de muy alta frecuencia, son silenciosos, con caudal regulable y de muy bajo consumo (24W). Por otra parte sólo puede utilizarse agua y está absolutamente prohibido el uso de cualquier aditivo. Su uso típico es la restauración de la humedad relativa durante largos períodos de tiempo. Es necesario limpiarlos convenientemente cada cierto tiempo.



Este actuador vendrá implementado junto con uno de los ventiladores Artic F12 PWM. En cuanto a la actuación de este sistema de humidificación, es capaz de aumentar en cuestión de un minuto hasta un 40% más de humedad relativa, Lo que hace que sea un actuador muy rápido.

- **Servomotor Parallax**

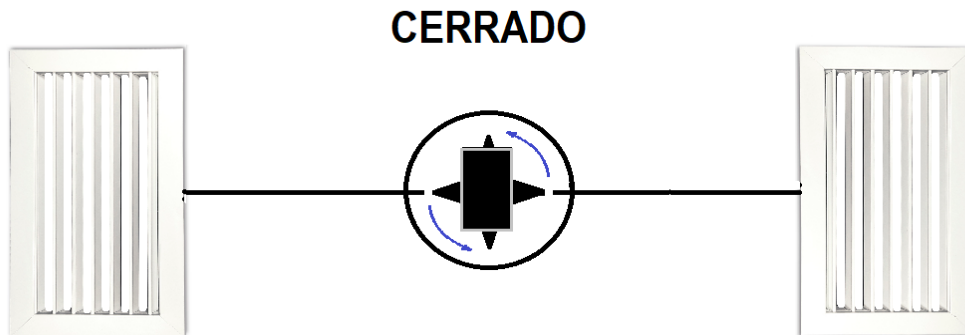
El Parallax Standard Servo es ideal para movimientos básicos. Puede mantener cualquier posición sobre una gama de 180 grados y es posible conectarlo fácilmente con cualquier microcontrolador.



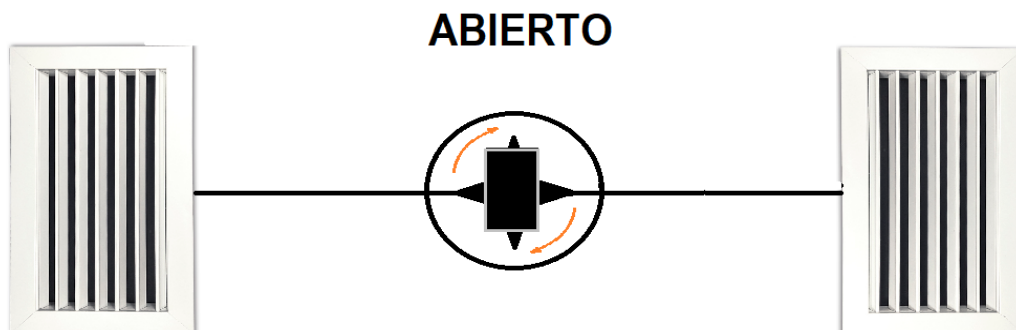
— Características principales: —

- Posición: entre 0 y 180 grados
- Engranaje de la alta precisión.
- Pesa: sólo 44 g

Este servo se implementara para el control de la corriente convectiva natural, siendo las posiciones CERRADO Y ABIERTO las que dominan su dinámica:



En la posición CERRADO, no se creará la corriente convectiva natural, esa será la posición por defecto del Servomotor.



La posición ABIERTO se activará una vez la humedad relativa sea mayor que el 65 %, no cerrándose así hasta que el invernadero no posea una humedad interna del 60%.

5 SOFTWARE EMPLEADO

Es importante recalcar que en este capítulo se hace mención a cada una de las funciones del programa que comanda el control y el envío de datos hacia la app móvil, cuyo código se encuentra en el *Anexo de Scripts*. También se detallará como se ha implementado dicha app móvil y como actúa esta.

5.1 Descripción de las variables controlables

Primeramente, para poder explicar cada una de las funciones del control automático sobre el invernadero, se hará mención a que variables controlaremos y porqué, detallando de forma exhaustiva la influencia de dichas variables sobre el crecimiento y el desarrollo de la planta.

Luz

La energía solar es el factor ambiental más influyente sobre el crecimiento de las plantas, pues de ella depende la mayoría de los procesos biológicos, incluyendo la fotosíntesis, que es el proceso de conversión de la materia inorgánica en orgánica, constituyendo la base de todas las cadenas alimenticias de la tierra. La luz también interviene en los procesos de movimiento y formación de las plantas en los tropismos, que son los fenómenos biológicos que indican el crecimiento o cambio direccional de un organismo, como respuesta a un estímulo medioambiental, la orientación, el alargamiento del tallo, la formación de pigmentos y la clorofila. Al transformarse de energía luminosa en energía calorífica, la luz, interviene en todos los procesos bioquímicos de los vegetales. Así la luz actúa sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas verdes, como fuente energética para la asimilación fotosintética de dióxido de carbono así como fuente primaria de calor y estímulo para la regulación del desarrollo de todos los tejidos vegetales. Cada especie requiere de una cantidad específica de radiación luminosa para desarrollar la fotosíntesis y expresar su potencial productivo. Si falta luz, las plantas tienden a alargarse y crecen con tallos y ramas débiles. Por el contrario, si una planta tiene más iluminación de la requerida, crecerá lentamente, presentará tallos duros, hojas arrocetadas y sus flores serán de colores pálidos.

CONTROL IMPLEMENTADO.

Temperatura

La temperatura afecta directamente a las funciones de la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas, etc. Las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura está por debajo de 0°C, o por encima de 50°C. El límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas. La temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 14° y 30°C. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante períodos cortos de tiempo, pero debe evitarse acercarse a este valor letal.

CONTROL IMPLEMENTADO.

Humedad relativa

Es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la que tendría si estuviera completamente saturada. Se expresa en porcentaje. La humedad ambiental afecta el metabolismo de la planta, ya que si la humedad es demasiado alta, por ejemplo, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, y si es demasiado baja se cierran los estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta también tiene influencia sobre la presencia de enfermedades principalmente fungosas.

CONTROL IMPLEMENTADO.

Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂ es el nutriente más importante de los cultivos, ya que contiene aproximadamente un 44 % de carbono y una cantidad similar de oxígeno. El aire es la única fuente de CO₂ para las plantas y su contenido no excede el 0,03 % (300 ppm).

A pesar de la importancia del CO₂, se ha prestado poca atención a la denominada nutrición carbónica. Se sabe que la velocidad de crecimiento de la planta decrece considerablemente cuando la concentración mínima de CO₂ desciende por debajo de 300 ppm y además la mayoría de los cultivos producen mucho más cuando la concentración de CO₂ disponible excede de este nivel. Un ejemplo es el caso del tomate

que se estima que la tasa de crecimiento bajo condiciones normales de luz disminuye el 80 % cuando la concentración de CO₂ disponible cae por debajo de 100 ppm y aumenta

al 20 % cuando la concentración alcanza 1.000 ppm. Aun así, esta no será una de las variables controlables. En futuras versiones del proyecto se tomará en cuenta un control del dióxido de carbono existente dentro del invernadero.

Salinidad/Conductividad

Se refiere a la concentración total de sales solubles presentes en la disolución del sustrato. En los sustratos inertes es nula o casi nula. Valores superiores a los 3 mS son excesivamente altos.

En versiones futuras del proyecto se podrá controlar esta variable.

Índice de iones Hidrogeno (pH)

Su valor afecta la disponibilidad de los iones para la planta. Si tenemos un pH menor a 5 pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg y con valores superiores a 6.5 de Fe, P, Mn, B, Zn y Cu.

Los minerales de los que se ha demostrado la esencialidad son los siguientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo). Se ha demostrado también que varios otros minerales como el sodio (Na), silicio (Si), aluminio (Al), cobalto (Co) níquel (Ni) y selenio (Se), sin ser esenciales, pueden estimular el crecimiento de varias especies vegetales.

La clasificación de estos nutrimentos por su concentración en el tejido vegetal es la siguiente,

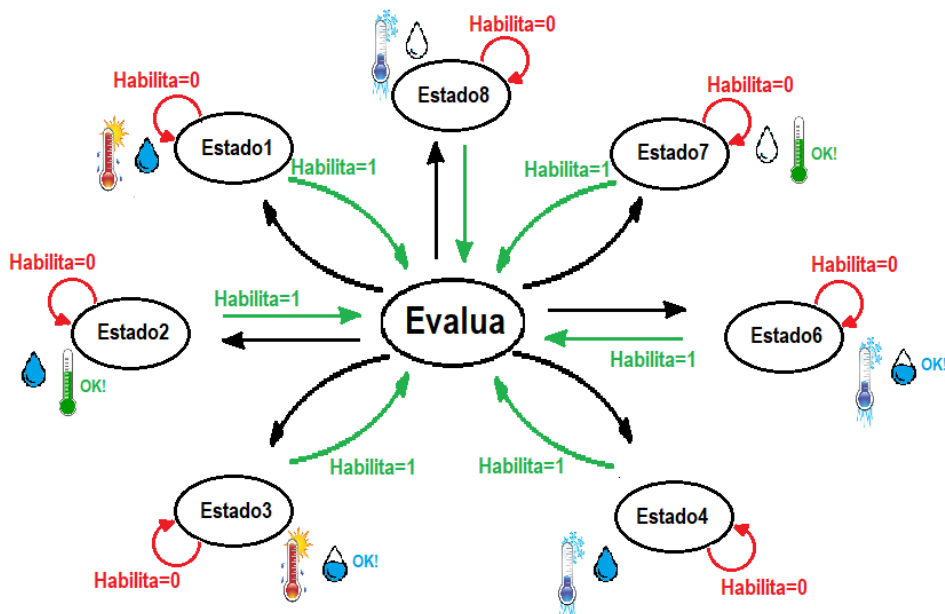
Macronutrimentos: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S

Micronutrimentos: B, Cl, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Si, Co, Ni.

5.2 Control de humedad y temperatura (LimHT)

Para el control de temperatura y humedad se ha implementado una maquina de estados, de manera que si la temperatura o la humedad esta por encima o por debajo de los valores umbrales, los actuadores se activan para llevar estas dos medidas al valor medio del rango en el que queremos que opere nuestro invernadero.

De esta manera, la maquina de estados implementada es la siguiente:



En esta maquina, la variable que se toma para evaluar o no la medida de temperatura y humedad es *Habilita*. De esta forma, cada uno de los estados decide en su código interno si se cumple la condición que habilita una nueva evaluación, en caso afirmativo otorga un 1 a la señal booleana *Habilita*, de lo contrario, la señal seguirá en un 0 lógico que hará mantenerse el estado hasta que se cumpla la condición de habilitación..

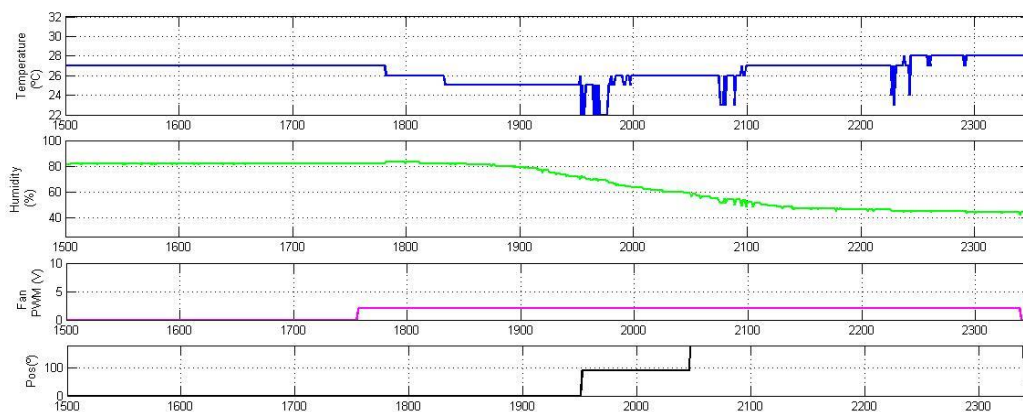
A continuación se procederá a explicar cada estado de actuación, teniendo en cuenta el rango que requerimos para el correcto funcionamiento del cultivo (14-30°C, 40-60% HR):

- Estado 0 o **Evalua (Humedad y Temperatura dentro de rango):**

Este estado es en el que comienza la maquina por defecto, y evalua constantemente si la temperatura o la humedad está en los rangos requeridos para el buen funcionamiento del cultivo, estando la señal *Habilita* en un '1' lógico. De esta manera, en el caso de estar alguna de las dos variables fuera del rango, se da paso a alguno de los otros estados.

- Estado 1 (**Max. Humedad < Humedad y Max. Temperatura < Temperatura**):

Este estado de actuación reduce la humedad, accionando la señal PWM de los ventiladores focalizados en la pared trasera del invernadero, a la vez que se acciona el Servomotor (180°) creando una corriente convectiva natural que libera las excedencias de humedad. Una vez cumplido este proceso, y siempre que la humedad relativa quede en un 40%, se accionará la señal *Habilita*, quedará paso al Estado 3 para reducir la temperatura.

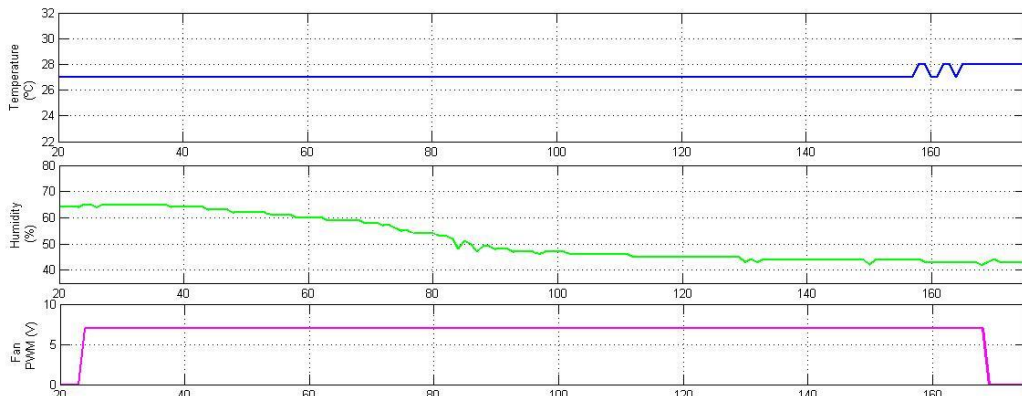


Comportamiento temporal del sistema en función de la acción del Sistema de Ventilación

Tal y como se puede observar en la anterior figura, la influencia del ventilador de expulsión de aire es mas que notable sobre la temperatura y la humedad, reduciéndolas significativamente. Analogamente, podemos observar que la apertura de la rejilla por la posición del Servomotor hace que se cree esa convección natural, aumentando la temperatura notablemente por ese intercambio de temperaturas entre el invernadero y el medio exterior. Asimismo también es posible ver que se produce un decrecimiento considerable en la humedad.

- Estado 2 (**Max. Humedad < Humedad y Temperatura dentro de rango**):

Aquí, tomamos accionamos la señal PWM de los ventiladores traseros, expulsando la humedad, además, en caso de tener una medida de humedad muy por encima de lo requerido, otorgaremos al Servomotor una señal que lo haga girar hasta 180 grados, a partir de la entrada en el rango el Servo volverá a la posición de CERRADO. Actuando con los ventiladores únicamente y con una señal PWM menor para implementar un control mas suave que lleve la medida a la mitad del rango (50%).



Comportamiento temporal del sistema en función de la acción de la señal PWM de Ventiladores de expulsión

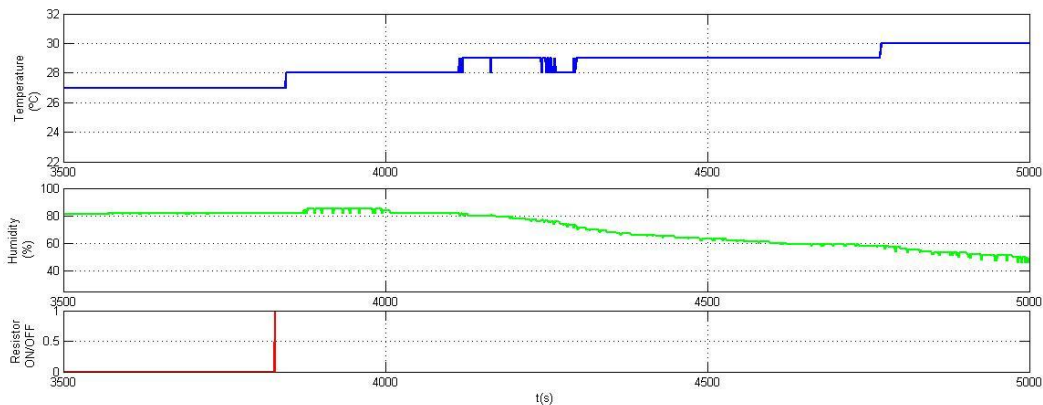
En esta figura se observa el decrecimiento producido en la humedad por la acción de una fuerte señal PWM en los ventiladores de expulsión, que simula una señal alrededor de los 7.5V.

- Estado 3 (**Max. Temperatura < Temperatura y Humedad dentro de rango**):

El estado de actuación número 3 activa el humidificador en caso de que el invernadero tenga una HR menor al 35%, en caso de tener una HR > 55%, se liberará el aire caliente y cargado de humedad hasta llegar al 35%, generando un “pseudobucle” que, a través de un estudio exhaustivo realizado, es capaz de reducir la temperatura en 5 grados al menos, siendo esta condición de decrecimiento la que coloque un ‘1’ lógico en la señal Habilita, dando paso a una nueva evaluación de rango.

- Estado 4 (**Max. Humedad < Humedad y Min. Temperatura > Temperatura**):

Este estado acciona la salida del relé perteneciente al resistor, hasta llegar a una temperatura de 25°C, una vez llegados a los 25°C, la señal booleana Habilita se activará, dando paso a una nueva evaluación que nos llevará al estado 7, que se encargará de aumentar la humedad del interior del invernadero.



Comportamiento temporal del sistema en función de la acción de la resistencia calefactora

La acción de la resistencia calefactora se observa en un incremento de la temperatura del aire en 3°C en cuestión de 10 minutos, asimismo, también se observa que se reduce la humedad con una pendiente menor, lo que propiciará un control más suave sobre la humedad del invernadero.

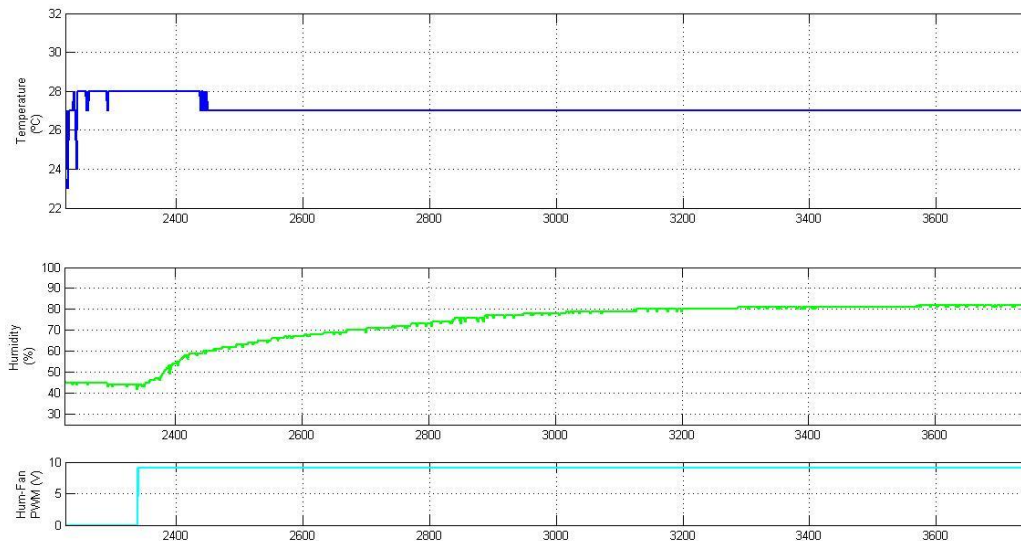
- Estado 6 (**Min. Temperatura > Temperatura y Humedad dentro de rango**):

Para este estado accionaremos el pin perteneciente al resistor (23), aumentando la temperatura del invernadero hasta los 25°C, una vez llegados a este punto volveremos a evaluar en que estado estará

nuestra maquina, activando la señal Habilita. Posee una acción similar al estado 7, sin evaluar la humedad, y la influencia de su acción se puede observar en la figura del estado de actuación numero 7.

- Estado 7 (**Min. Humedad > Humedad y Temperatura dentro de rango**):

Una vez evaluada la temperatura y la humedad, llegamos a este estado de actuación, que hará llegar una señal de 5V al pin del relé perteneciente al accionador del humidificador, a la vez que generaremos una señal PWM destinada al accionamiento del ventilador que está en contacto con el Tanque de Humedad, haciendo fluir aire en su interior y expulsando la humedad necesaria para aumentar hasta un 1% de HR por cada segundo. De esta manera tendremos un control suave de humedad.



Comportamiento temporal del sistema en función de la acción del Sistema de Humidificación

En cuanto a la acción del sistema de humidificación, observamos que la humedad aumenta en notablemente con una señal fuerte PWM (simulación de 8.5V) en el ventilador que distribuye la humedad por el invernadero, incrementando hasta en un 50% de HR en cuestión de 10 minutos dentro de nuestro invernadero.

- Estado 8 (**Min. Humedad > Humedad y Min. Temperatura > Temperatura**):

El estado 8, activará el resistor, hasta llegar a los 25°C dentro del invernadero, una vez conseguida esa temperatura se volverá a activar la señal Habilita, generando una nueva evaluación, y llevando nuestra maquina al estado numero 7, que aumentará la humedad.

5.3 Lectura del valor LDR (ReadLDR)

En esta función se evaluará la señal procedente del sensor que se encuentra en la parte trasera del microcontrolador. Esta señal variará entre 1024 valores, tomando como umbral el valor 900 para el accionamiento de las Growlights.

Asimismo, este valor se ha tomado tras exhaustivos ensayos que han permitido otorgar el valor 900 como índice mínimo de luz ultravioleta incidente sobre el invernadero para el buen funcionamiento del cultivo.

5.4 Control de luz espectral (Growlight)

La función principal que cumple este apartado es la de activar o desactivar la luz LED. Dicha función evaluará tres valores, el primero será si desde la Greenhouse App hemos otorgado el estado ON a las

Growlights, de ser así, evaluaremos a través la función de reloj si estamos entre las 7h y las 22h, una vez evaluada esta variable, haremos una llamada a la función LDR, si el valor que leemos esta por debajo del umbral que necesitamos, entonces, y solo entonces, se enviará un '1' lógico al pin perteneciente a la Growlight en el relé, que cerrará el circuito, activando las Growlight. En caso de cualquiera de las tres valores no cumplieran las condiciones anteriormente nombradas, las Growlight no se encenderían.

5.5 Control de ciclos de riego (CiclosHORA)

La función CiclosHORA actúa otorgando la primera hora desde la que se transmite desde el módulo RTC3231 hacia el Arduino como primera hora de riego. Una vez otorgada la primera hora de riego, se introducirá en que estación del año se sitúa nuestro cultivo, de esta manera, tendremos la posibilidad de no desvirtuar el comportamiento de las plantas que crecen en nuestro invernadero. El riego actuará los últimos minutos de cada hora, dentro del intervalo que va desde las 7h hasta las 22h. Los estados anteriormente mencionados, pertenecientes a las estaciones del año se enviarán a través de la Greenhouse App. Los minutos de riego para cada estación del año son:

- **Not Specified**, modo por defecto. Actúa los 15 últimos minutos de cada hora.
- **Spring**. Actúa los 12 últimos minutos de cada hora.
- **Summer**. Actúa los 11 últimos minutos de cada hora.
- **Autumn**. Actúa los 16 últimos minutos de cada hora.
- **Winter**. Actúa los 18 últimos minutos de cada hora.

5.6 Control DIA/NOCHE (DayOrNight)

Este control cambia principalmente una variable que después es mandada a la Greenhouse App para saber si es de día o de noche en nuestro invernadero. Este valor es un valor indicativo que modifica la interfaz de la App, eligiendo un fondo de noche o de día. Además, en caso de ser verano el horario de envío del valor cambia, otorgando la señal que cambia de modo diurno a nocturno una hora más tarde que la que lleva por defecto, que son las 21h.

5.7 Lectura de pH

El programa, que viene detallado en el Anexo de Scripts, mandará desde el TX el puerto serie 3 del Arduino el comando 'R', que detalla una única lectura al pH circuit 5.0, este procesa la solicitud, y realiza una lectura a través del sensor de pH, procesándola a través del mismo circuito y mandándola al RX del puerto serie número 3 del Arduino.

5.8 Comunicación Arduino/Greenhouse App

Transmisión Arduino/Greenhouse

Para la comunicación se utilizará el puerto serie cero del Arduino mega 2560, se transmitirá un paquete con el

comando `sprintf (buffer "%d, %d, ...", valor1, valor2,...)`, de esta forma se almacenará en la variable **buffer** los enteros **valor1, valor2,...** luego daremos paso a transmitir a través del TX del puerto serie cero el paquete cada segundo, a través del comando `Serial.print (buffer)`, que más tarde se procesará en la Greenhouse App para sacar los valores por la pantalla móvil.

Recepción Greenhouse/Arduino

Por otro lado, la comunicación desde la App hacia el Arduino la realizaremos utilizando el comando `Serial.available()`, de esta manera observaremos si hay algún dato disponible en el RX del puerto serie. Los datos disponibles que se enviarán desde la app hacia el microcontrolador serán transferidos para que luego sean interpretados por el programa principal, otorgando los estados correspondientes a los actuadores en función de los datos recibidos a través de la app.

5.9 Desarrollo de la Greenhouse App

Tal y como se dijo al comienzo de este documento, la aplicación se ha desarrollado con App Inventor, que es un entorno de desarrollo de software creado por Google Labs para la elaboración de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android. El usuario puede, de forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. Las aplicaciones creadas con App Inventor están limitadas por su simplicidad, aunque permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil.

De esta forma, la implementación se ha dividido en dos partes principalmente, el desarrollo de la interfaz visual, y el desarrollo de la programación interna que recoge los datos vía Bluetooth, y los coloca en sus lugares correspondientes, pudiendo llegar a mandar notificaciones como es para el caso de no estar la medida de pH dentro del rango requerido.

Interfaz

Se asignará cada variable a cada indicador o botón de cada pantalla. La app tiene hasta tres pantallas, una primera (**Home**) obtiene los datos más destacados, otra donde apareceren los datos de todos los sensores (**Sensors**), y una última (**Actuators**) donde es posible cambiar el estado de algunos actuadores.

Programacion interna

Este apartado comprende las variables internas que utiliza la app móvil para implementar cada uno de sus cambios entre pantallas, menús deslizantes, etc. Principalmente podemos dividir este subapartado en cuatro partes:

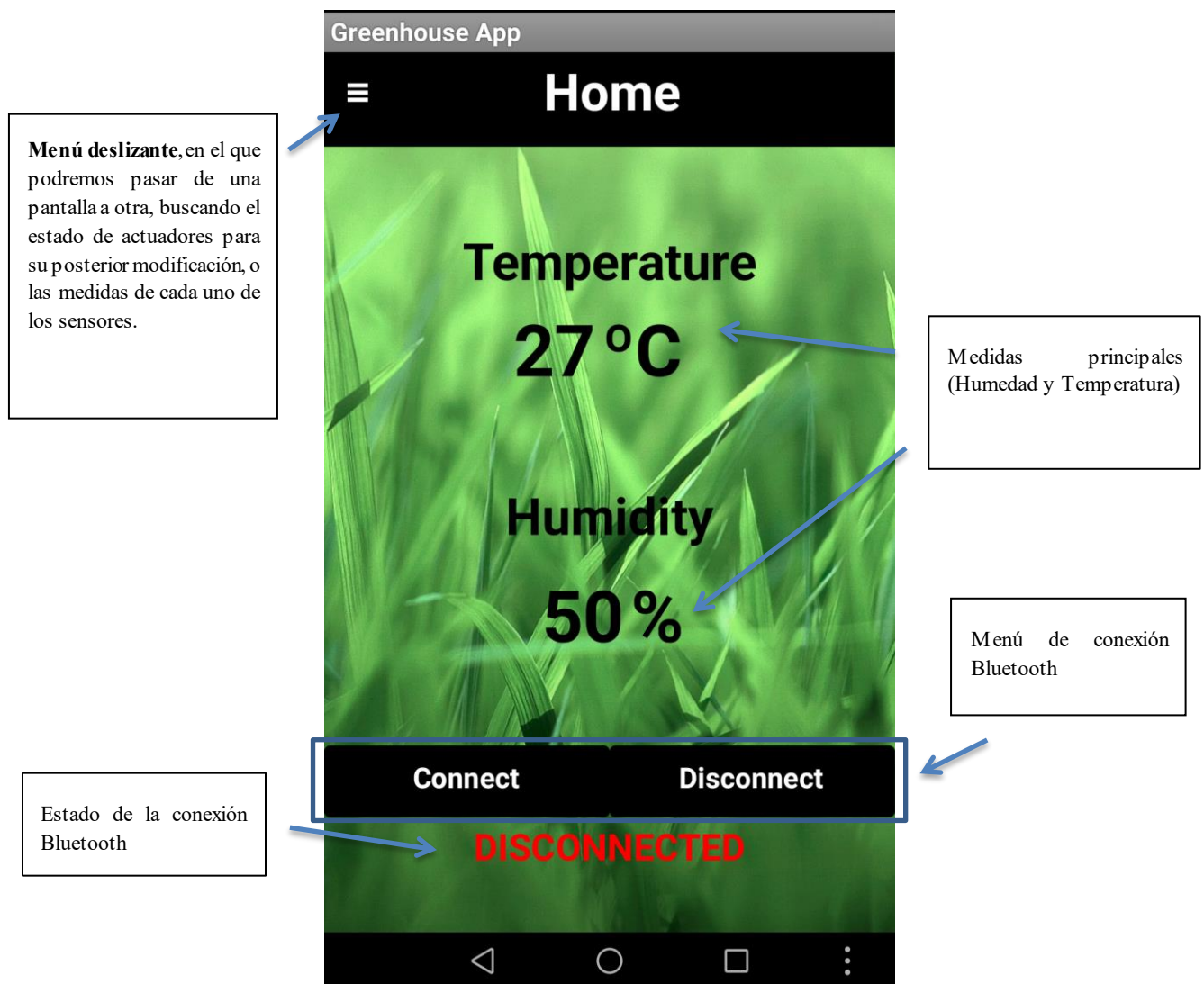
- Recepcion de datos via Bluetooth
- Envío de datos correspondiente al estado de los actuadores
- Conexión Arduino/App Movil

Interfaz

La interfaz comprende una principal (con los datos más destacados), otra donde aparecen los datos de todos los sensores, y una última donde es posible cambiar el estado de algunos actuadores.

- **Pantalla principal**

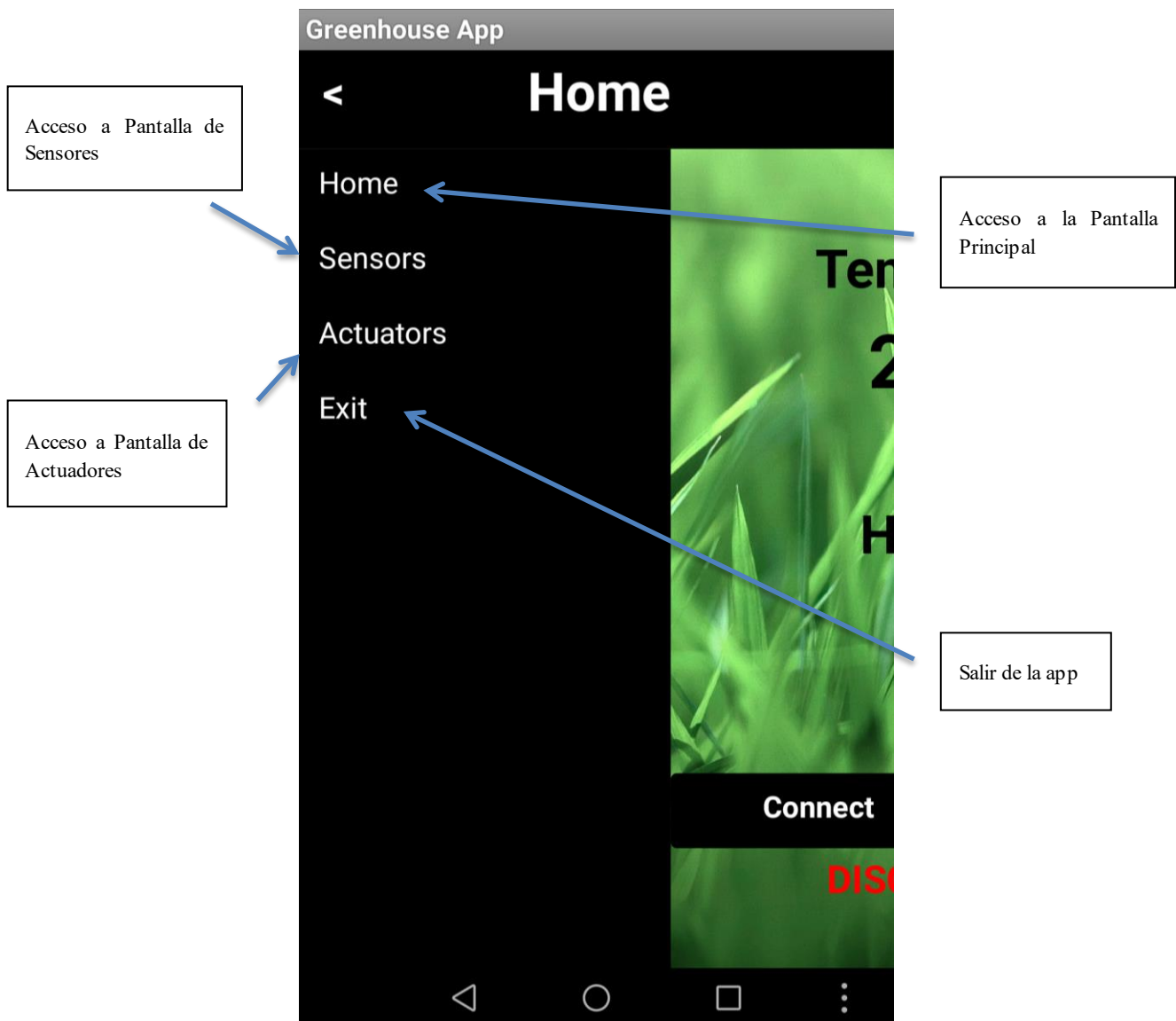
A continuación se hará una descripción detallada de la pantalla principal



- **Menu deslizable**

Este menú se acciona al ser pulsado, contiene una variable booleana llamada Menú que se comprende un '1' lógico cuando es accionado el botón de Menú deslizable, acto seguido, se activa un Timer llamado Reloj1 que hace deslizar el menú incrementando 50 pixeles en cada ciclo del timer hasta llegar a la mitad de la pantalla.

En caso de ser accionado el mismo botón, una vez deslizado el menú, el menú haría la misma acción pero en sentido opuesto.



○ Pantalla de Sensores

En la pantalla de sensores se pueden observar todas las medidas de los sensores implementados en el invernadero, estos estarán en constante cambio, siendo la frecuencia de muestreo de 1 Hz.

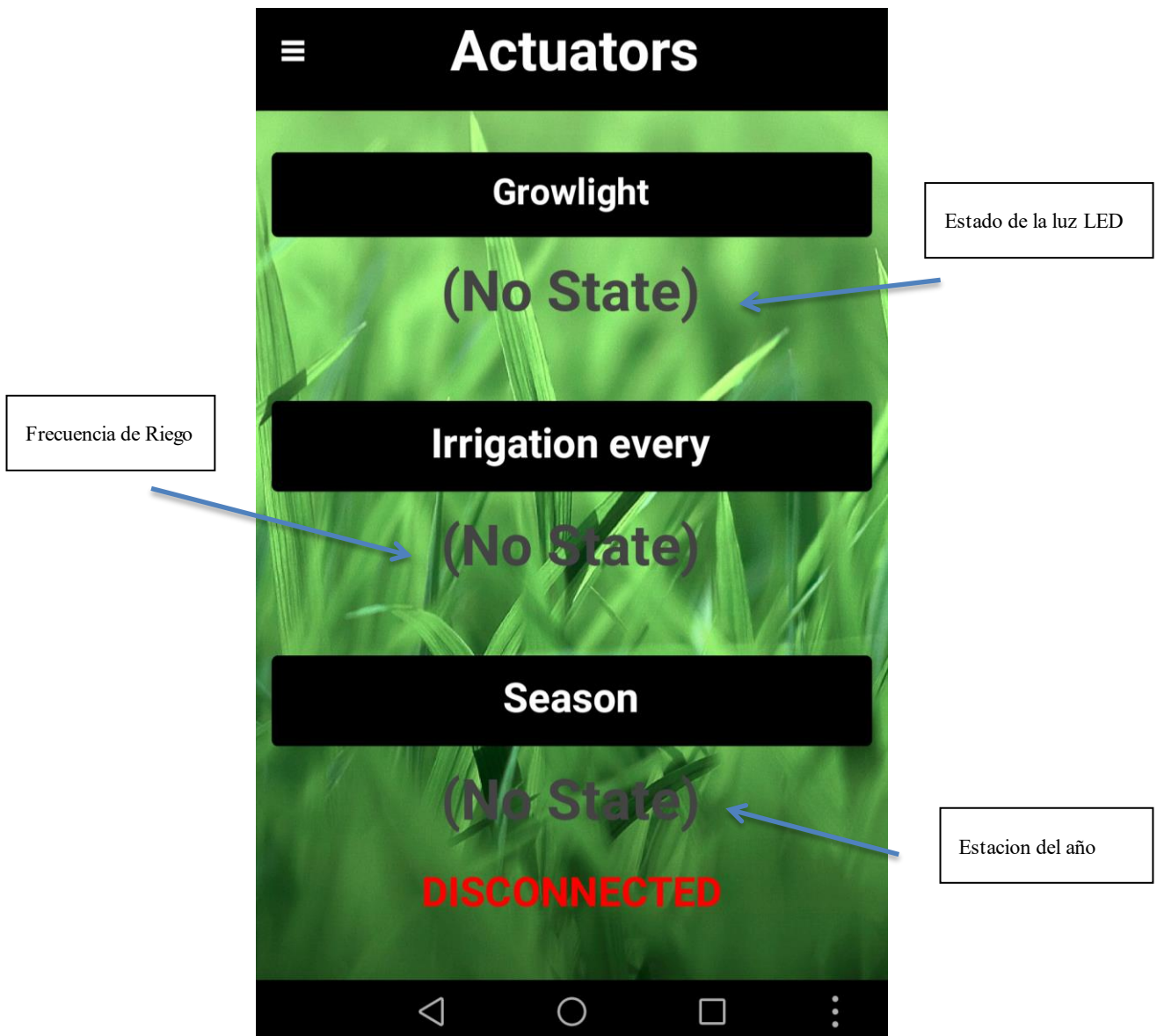
The screenshot shows the 'Sensors' screen of the 'Greenhouse App'. The background is a green field of crops. The screen is divided into four main sensor sections, each with a black header and white text. Callout boxes with arrows point to specific data points:

- DHT11 Sensor**:
 - Temperature: 24 °C (Callout: Medida del sensor de temperatura)
 - Humidity: 51 % (Callout: Medida del sensor de humedad)
- pH Sensor 5.0**:
 - pH Measure: 5.48 (Callout: Medida del sensor de pH)
- PhotoSensor UV Index**:
 - UV Index: Low (Callout: Índice de Ultravioleta otorgado por el sensor LDR)

The bottom of the screen shows the Android navigation bar with back, home, and recent apps icons.

○ Pantalla de Actuadores

En esta pantalla podremos cambiar el estado de algunos actuadores. Pudiendo habilitar o inhabilitar las luces LED para el crecimiento de las plantas, cambiar la frecuencia de irrigación, y por último, la estación del año, que influirá principalmente en el sistema de riego.



En la pantalla de Actuadores podemos observar, que al estar desconectado no es posible modificar los estados, apareciendo en estos la expresión “No State”, encontrándose en sus estados por defecto, así quedarían los estados por defecto:

- ❖ Growlight: OFF (Por defecto).
- ❖ Irrigation every: 1 hour (Por defecto).
- ❖ Season: Not Specified (Por defecto).

Programación interna

En cuanto a la descripción de la programación interna de la app, tal y como se ha mencionado al principio del apartado, esta dividida en cuatro partes, las cuales se explicarán a continuación.

- **Recepcion de datos via Bluetooth**

El microcontrolador, a través del modulo HC-05 envía el paquete de datos cada segundo, el móvil los recibe y lo desempaqueta con la función Split, especificando que entre dato y dato existe un comando que lo separa, en nuestro caso hemos utilizado la coma “,”, almacenando de esta manera cada una de las variables según el orden que las hayamos enviado.

El paquete de datos comprenderá 6 variables (temperatura, humedad, pHentero, pHdecimal, PhotoSensor, DiaNoche).

The screenshot shows the 'Greenhouse App' interface with a 'Sensors' screen. The screen displays data from four sensors: DHT11 Sensor (Temperature: 24 °C, Humidity: 51%), pH Sensor 5.0 (pH Measure: 5.48), and PhotoSensor UV Index (Low). Callouts provide detailed explanations for each variable.

Temperatura: Variable controlable.

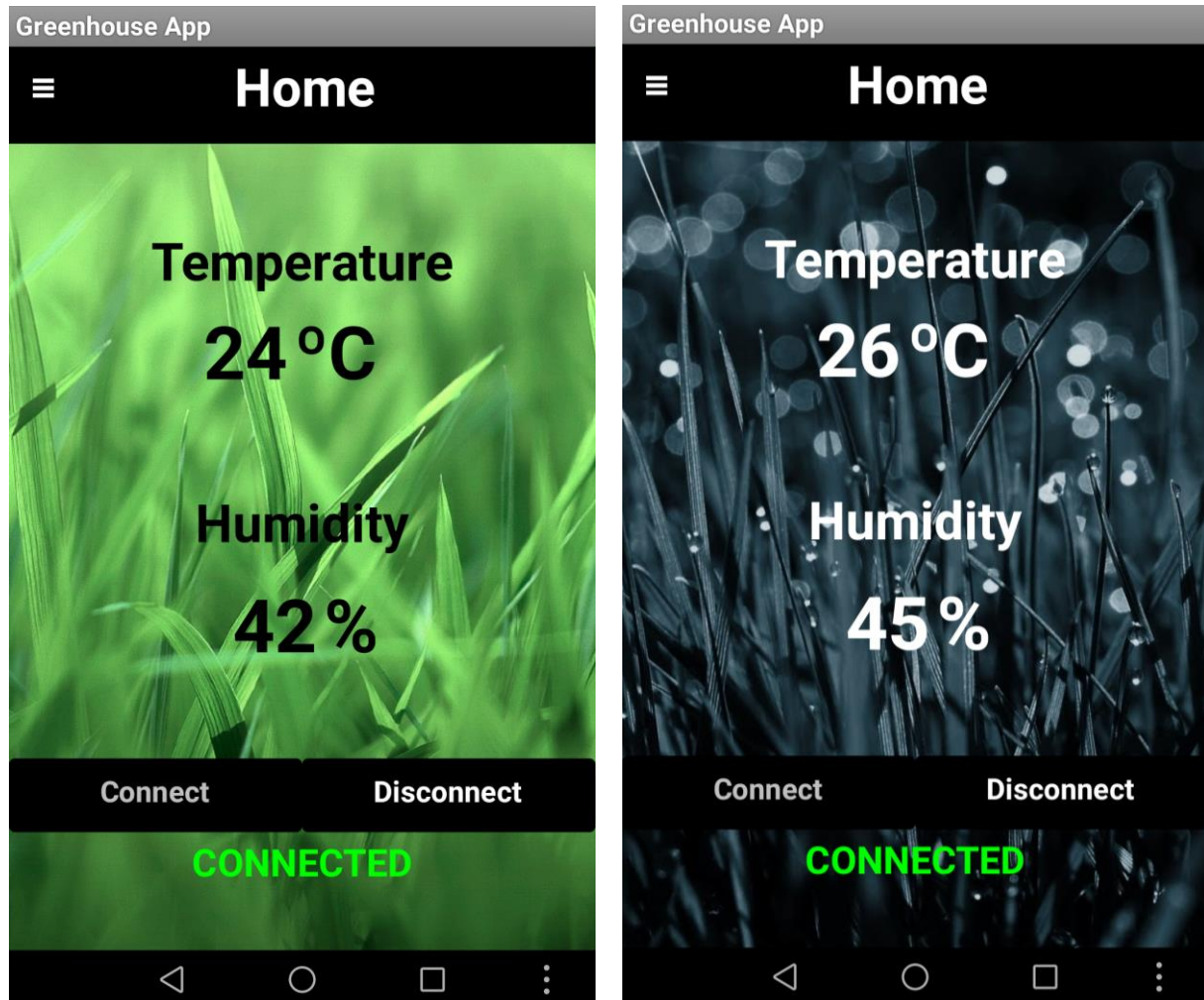
Humedad: Variable controlable.

pHentero: Representa la parte entera que nos manda la función de lectura del sensor de pH, esta medida, se entrega así a la app móvil ante la imposibilidad de mandar flotantes.

pHdecimal: Representa la parte decimal que nos manda la función de lectura del sensor de pH.

PhotoSensor: La variable PhotoSensor es la que informa sobre el valor LDR, siendo interpretada desde la app con tres estados Low (cuando el valor de la luz incidente es bajo), Medium (cuando el valor de la luz incidente está cercano a lo requerido para el buen funcionamiento del cultivo), y High (cuando el valor de la luz incidente es suficiente para el crecimiento de la planta).

DiaNoche: Representa una variable que cambia la imagen de fondo de la app en función de si es horario diurno o nocturno, otorgando un mayor impacto visual en la Greenhouse App.



- **Envío de datos correspondientes a los actuadores via Bluetooth**

A través de la Greenhouse App, y una vez enlazado y conectado el móvil con el modulo HC-05, mandamos los estados de la Growlight LED, de la frecuencia de ciclos de riego, y de la estación del año via Bluetooth (pueden tardar varios segundos en llegar al Arduino).

La comunicación se implementa de una forma muy sencilla, si el estado de Growlight LED es OFF (que es el que viene por defecto), al cambiarlo a ON, mandaremos un carácter, '1', distinto al que se envía cuando está en OFF, al que le corresponde el carácter '9'. Análogamente ocurre con los otros dos actuadores.

Los caracteres mandados desde la app hacia el módulo Bluetooth son los siguientes:

Actuador	Estado del actuador	Carácter enviado desde Greenhouse App
Growlight LED	OFF	'9'
	ON	'1'
Irrigation every	1 hour	'2'
	2 hours	'3'
Season	Not Specified	'4'
	Spring	'5'
	Summer	'6'
	Autumn	'7'
	Winter	'8'

Estos valores caracteres son interpretados desde el microcontrolador, que otorga internamente los valores a cada función.

• **Conexión Arduino/Greenhouse App**

Lo primero que hay que configurar es el módulo HC-05, otorgándole un Modo de comunicación que nos permita la comunicación. Para ello, debemos saber que el módulo HC-05 posee 4 estados.

Estado Desconectado:

- Entra a este estado tan pronto como se alimenta el módulo, y cuando no se ha establecido una conexión Bluetooth con ningún otro dispositivo.
- El LED del módulo en este estado parpadea rápidamente.
- En este estado a diferencia del HC-06, el HC-05 no puede interpretar los comandos AT.

Estado Conectado o de comunicación

- Entra a este estado cuando se establece una conexión con otro dispositivo Bluetooth.
- El LED hace un doble parpadeo.
- Todos los datos que se ingresen al HC-05 por el Pin RX se transmiten por Bluetooth al dispositivo conectado, y los datos recibidos se devuelven por el pin TX. La comunicación es transparente.

Modo AT 1

- Para entrar a este estado después de conectar y alimentar el módulo es necesario presionar el botón del HC-05.
- En este estado, podemos enviar comandos AT, pero a la misma velocidad con el que está configurado.
- EL LED del módulo en este estado parpadea rápidamente igual que en el estado desconectado.

Modo AT 2

- Para entrar a este estado es necesario tener presionado el botón al momento de alimentar el módulo, es decir el módulo debe encender con el botón presionado, después de haber encendido se puede soltar y permanecerá en este estado.
- En este estado, para enviar comandos AT es necesario hacerlo a la velocidad de 38400 baudios, esto es muy útil cuando nos olvidamos la velocidad con la que hemos dejado configurado nuestro módulo.
- El LED del módulo en este estado parpadea lentamente.

Una vez configurado el módulo HC-05, enlazaremos nuestro dispositivo móvil al módulo, para que una vez instalada la app, podamos comunicarnos con el microcontrolador. Para ello seguiremos los siguientes pasos

1. Enlace Arduino con Android

Tomaremos la ruta Ajustes -> Bluetooth -> Activar Bluetooth -> Dispositivos disponibles -> HC-05 -> Enlazar

Otorgaremos la contraseña “1234”, enlazando de esta manera nuestro móvil a nuestro módulo HC-05, y por ende a nuestro Arduino Mega 2560.

2. Instalación de Greenhouse App

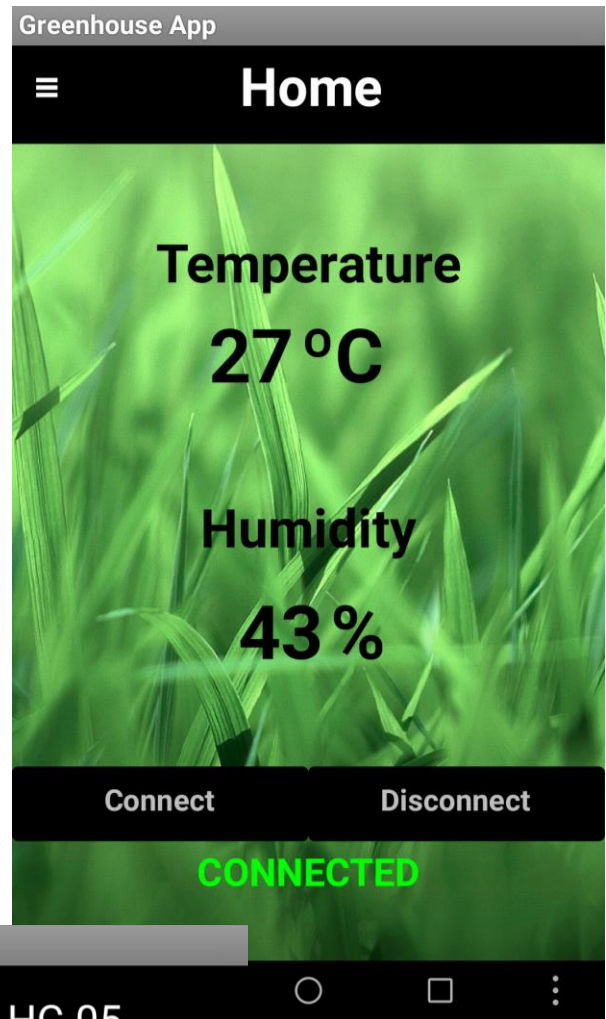
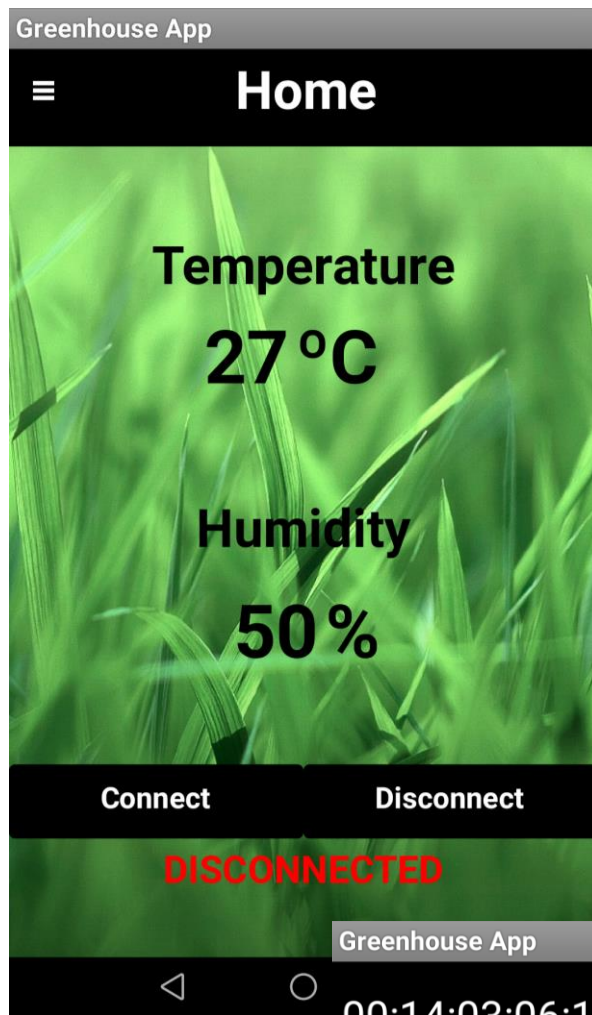
Para la instalación de nuestra aplicación primeramente deberemos arrastrar la app desarrollada desde AppInventor 2, hacia la memoria interna del móvil, habiendo conectado anteriormente nuestro móvil al computador.

Una vez tengamos nuestra Greenhouse App en la memoria del móvil tomaremos la siguiente ruta Archivos -> Aplicaciones -> Apps -> Greenhouse App -> Aceptar.

De este modo habremos instalado nuestra App en el Android y podremos buscarla entre nuestras aplicaciones. Ya sólo faltará conectar la aplicación con nuestra Greenhouse App.

3. Enlace Greenhouse App con HC-05

El estado de conexión aparecerá, tal y como hemos descrito, justo debajo del menú de conexión, que por defecto será “DISCONNECTED”, haciendo mención a la desconexión entre la app y el microcontrolador. Para conectarlos pulsaremos sobre el botón Connect en el menú de la pantalla **Home**, que nos direccionará a una lista donde se encontrarán todos los dispositivos enlazados disponibles para la conexión.



Greenhouse App
00:14:03:06:1F:80 HC-05



Luego accionaremos
00:14:03:06:1F:80 HC-05.



De esta manera, se otorgará al estado de conexión "CONNECTED", quedando nuestro móvil listo para enviar y recibir la información de los sensores, y modificar el estado de nuestros actuadores.

6 PRESENTE Y FUTURO DEL PROYECTO

Una vez se ha terminado de exponer los resultados y explicado como funciona el software, se procederá, por un lado a explicar en detalle los posibles desarrollos futuros, es decir aplicaciones podrían originarse y las posibles mejoras. Por otro lado, en la parte final de este capítulo se definen las limitaciones que se han encontrado a la hora de llevar a cabo el proyecto.

6.1 Desarrollos Futuros

En el desarrollo del proyecto se ha podido observar de manera exitosa, que se cumplen las especificaciones para el crecimiento de plantas, aun así, existen múltiples posibles mejoras, entre ellas, una buena continuación del proyecto podría llevar consigo las siguientes mejoras:

- **Control automático sobre solución nutritiva.** Con un sensor de conductividad podríamos medir la cantidad de sales que tendría la solución de riego. Asimismo, se podría implementar un compartimento que llevara consigo la solución nutritiva, abriéndolo y depositando la solución en el agua de riego hasta llegar a la concentración de sales adecuada.
- **Control automático desacoplado de la humedad y la temperatura.** Como hemos podido observar a lo largo del desarrollo de este proyecto, la temperatura y la humedad están acopladas. Ideal sería establecer un control desacoplado, haciendo un control multivariable con desacoplo.
- **Control automático sobre humedad y temperatura de manera aislada al medio exterior.** Constantemente hemos topado con que a la hora de controlar las variables de temperatura y humedad, influye notablemente el medio exterior, como solución a este posible problema, sería de gran interés colocar un sensor de humedad y temperatura en el exterior, pudiéndonos servir de esta medida del aire exterior para controlar, o constatar como establecer un posible control inteligente.
- **Control del nivel de dióxido de carbono.** El comportamiento de la planta depende mucho del nivel de dióxido de carbono dentro del invernadero, una manera de controlar este parámetro sería introducir aire exterior hacia el interior del invernadero, renovando el aire, y en consecuencia el nivel de dióxido de carbono.

A su vez, los actuadores también podrían mejorarse, utilizando actuadores que desacoplen las medidas de temperatura y humedad, utilizando un mecanismo relativo al que se utiliza en aire acondicionado por ejemplo, de esta manera seríamos capaces de introducir aire frío y seco a la vez, como consecuencia podríamos tener un control más exhaustivo sobre la temperatura sin afectar a la humedad, desacoplando las medidas, e incluso llegando a aislar el medio exterior con el medio interno del invernadero.

De esta manera, se puede divisar que el proyecto es evolucionable, y que con ciertas mejoras se podría dar un gran salto de calidad en el mismo.

6.2 Limitaciones del Proyecto

En el desarrollo del proyecto nos hemos encontrado con muchas limitaciones. La creación de un proyecto desde cero es un proceso que lleva muchísimo tiempo, requiere un estudio exhaustivo sobre el medio exterior y los factores influyentes en el crecimiento de las plantas. Entre las limitaciones más importantes encontramos:

- No siempre los primeros actuadores elegidos son los mejores. Para tener un buen control se necesitan buenos actuadores y buenos sensores, y para ello, el primer factor a evaluar es el **económico**.
- El comportamiento interno es muy dependiente de los materiales utilizados, y aislar totalmente dos medios, es sumamente difícil.
- El tiempo resulta ser sumamente importante en el desarrollo de un proyecto de esta envergadura.

ANEXO DE SCRIPTS

A continuación, se muestran los distintos códigos de los que se hace referencia en el Capítulo 5:

Programa principal: Greenhouse Main Program

```
//Libraries

#include<SimpleDHT.h>

#include<Wire.h>

#include<DS3231.h>

#include<Servo.h>

////////States Machine Enable

bool Habilita=1;

////////Intervaldatas

int interval=1000;

// Tracks the time since last event fired

unsigned long previousMillis=0;

////////pH////////

String inputstring="";           //a string to hold incoming data from the PC

String sensorstring="";         //a string to hold the data from the Atlas Scientific product

boolean input_string_complete= false;    //have we received all the data from the PC

boolean sensor_string_complete= false;    //have we received all the data from the Atlas Scientific
product

float pH;                        //used to hold a floating point number that is the pH

int pHentero;
```

```
int pHdecimal;

//long int ilight=0;

//Default States of Sensors

int PhotoSensor=2;

int DayOrNight;

byte LimitedHour;

char val;

//Sensors Measures

byte temperature=0;

byte humidity=0;

byte err;

//Temp2

float temp; //where the final temperature data is stored

int temperature2;

int valorLDR;

//SensorsPIN

byte pinDHT11=36;

int pinLDR = A5;

//ActuatorsPIN

byte fan=3;

byte VentHum=5;

byte ServoApertura=6;
```

```
byte resistor=23;
```

```
byte pinlight=37;
```

```
byte HumUlt=45;
```

```
byte bombaHydro=51;
```

```
byte AlimentacionBluetooth=8;
```

```
byte EnableBluetooth=9;
```

```
//Libraries calls
```

```
SimpleDHT11 dht11;
```

```
DS3231 clock;
```

```
RTCDateTime dt;
```

```
Servo myservo;//create servo object to control a servo
```

```
unsigned int ilight;
```

```
char buffer [24];
```

```
int EstadoLED=0;
```

```
int EstadoRIEGO=1;
```

```
int EstadoSeason=0;
```

```
byte EstadoActuacion;
```

```
byte i=0,j=0;
```

```
//Actuators variables
```

```
String lightState="";
```

```
String Season=" No Season ";

byte SeasonMinutes=44;

byte ciclos=1;

byte aux=8;

bool flag=0;

void setup() {                                //set up the hardware

  clock.begin();

  clock.setDateTime(__DATE__, __TIME__);

  Serial.begin(9600);                          //set baud rate for the hardware serial port_0 to 9600

  Serial3.begin(9600);                         //set baud rate for software serial port_3 to 9600

  inputstring.reserve(10);                     //set aside some bytes for receiving data from the PC

  sensorstring.reserve(30);                    //set aside some bytes for receiving data from Atlas Scientific product

  inputstring="X";

  input_string_complete=true;

//Initialize Clock

// Set sketch compiling time

  clock.begin();

  clock.setDateTime(__DATE__, __TIME__);

  pinMode(EnableBluetooth, OUTPUT);           // Al poner en HIGH forzaremos el modo AT

  pinMode(AlimentacionBluetooth, OUTPUT);     // cuando se alimente de aqui

  digitalWrite(AlimentacionBluetooth, LOW);

  digitalWrite(EnableBluetooth, LOW);        //Enciende el modulo

  delay(300);
```

```
digitalWrite(AlimentacionBluetooth, HIGH);

pinMode(pinlight, OUTPUT);

input_string_complete = false;

pinMode(HumUlt, OUTPUT);

pinMode(fan, OUTPUT);

pinMode(bombaHydro, OUTPUT);

pinMode(VentHum, OUTPUT);

pinMode(resistor, OUTPUT);

myservo.attach(ServoApertura); //attchs the servo on pin 9 to servo object

myservo.write(0); //back to 0 degrees

delay(1000); //Para poder subir correctamente el programa

digitalWrite(EnableBluetooth, HIGH); //Enciende el modulo

}

void serialEvent3() { //if the hardware serialport_3 receives a char

  sensorstring = Serial3.readStringUntil(13); //read the string until we see a <CR>

  sensor_string_complete = true; //set the flag used to tell if we have received a completed string
  from the PC

}

void loop() { //here we go...

  if(pH==0.0)

  {

    inputstring.reserve(10); //set aside some bytes for receiving data from the PC

    sensorstring.reserve(30); //set aside some bytes for receiving data from Atlas Scientific product

    inputstring = "X";

    input_string_complete = true;
```

```
}

unsigned long currentMillis = millis();

dt = clock.getDateTime();//Clock

Day_Night();           //play Day_Night function

ReadLDR();             //Read LDR valor

GrowLight();           //play Grow Light function

input_string_complete = true;

if (input_string_complete == true) {           //if a string from the PC has been received in its entirety

    Serial3.print(inputstring);               //send that string to the Atlas Scientific product

    Serial3.print('\r');                       //add a <CR> to the end of the string

    inputstring = "";                          //clear the string

    input_string_complete = false;             //reset the flag used to tell if we have received a completed string
    from the PC

}

if (sensor_string_complete == true) {         //if a string from the Atlas Scientific product has been received in
its entirety

    //Serial.println(sensorstring);           //send that string to the PC's serial monitor

    if (isdigit(sensorstring[0])) {           //if the first character in the string is a digit

        pH = sensorstring.toFloat();         //convert the string to a floating point number so it can be evaluated
        by the Arduino

        pHintero = int(pH);                   //Split float pH variable in integer pH and decimal pH

        pH = pH - (float(pHintero));

        pHdecimal = (pH * 100);
```

```
if( Serial.available()          //Read Serial Port

val = Serial.read();

if( (val == '9') || (EstadoLED == 0))

{

EstadoLED = 1;    //OFF

}

if( val == '1')

{

//digitalWrite(ledPin12, HIGH);

EstadoLED = 2;    //ON

}

if( (val == '2') || (EstadoRIEGO == 2))

{

EstadoRIEGO = 1;  //1hour

}

if( val == '3')

{

EstadoRIEGO = 2;  //2hour

}

if( (val == '4') || (EstadoSeason == 4))

{

EstadoSeason = 0; //Not Specified

SeasonMinutes = 44;

}

if( val == '5')

{
```

```
EstadoSeason=1; //Spring
```

```
SeasonMinutes=47;
```

```
}
```

```
if( val=='6' )
```

```
{
```

```
EstadoSeason=2; //Summer
```

```
SeasonMinutes=48;
```

```
}
```

```
if( val=='7' )
```

```
{
```

```
EstadoSeason=3; //Autumn
```

```
SeasonMinutes=43;
```

```
}
```

```
if( val=='8' )
```

```
{
```

```
EstadoSeason=4; //Winter
```

```
SeasonMinutes=41;
```

```
}
```

```
}
```

```
//Serial.println(pH);
```

```
}
```

```
CiclosHORA(); //play irrigation function
```

```
sensorstring=""; //clear the string:
```

```
sensor_string_complete = false; //reset the flag used to tell if we have received a completed string  
from the Atlas Scientific product
```

```
if ((unsigned long)(currentMillis - previousMillis) >= interval) {
```

```

// It's time to do something!

if (dht11.read(pinDHT11, &temperature, &humidity, NULL))

    return;

    sprintf(buffer, "%d, %d, %d, %d, %d, %d, ", temperature, humidity, pHentero, pHdecimal, PhotoSensor,
DayOrNight);

    Serial.println(buffer);

// Actualize previousMillis

previousMillis = currentMillis;

}

LimHT();                //Control Aplication
}

void Day_Night()

{

switch(EstadoSeason){

    case 6:

        LimitedHour=22;

        break;

    default:

        LimitedHour=21;

        break;

    }

if(((byte(dt.hour))>LimitedHour)|| (byte(dt.hour)<=7))

    DayOrNight=1;

else if ((byte(dt.hour)>7)&&((byte(dt.hour))<=LimitedHour))

    DayOrNight=0;

}

void LimHT(){                //Humidity and Temperature Control

```

```
//Temperature limits
```

```
byte MaxT=30,MinT=17;
```

```
byte MaxH=60,MinH=40;
```

```
switch(Habilita)
```

```
{case 1:
```

```
  if((MaxT<temperature)&&(MaxH<humidity))
```

```
    EstadoActuacion=1;
```

```
  else if(((MaxT>temperature)&&(MinT<temperature))&&(MaxH<humidity))
```

```
    EstadoActuacion=2;
```

```
  else if(MaxT<temperature)
```

```
    EstadoActuacion=3;
```

```
  else if((MinT>temperature)&&(MaxH<humidity))
```

```
    EstadoActuacion=4;
```

```
  else if((MinT>temperature)&&(MinH<humidity))
```

```
    EstadoActuacion=6;
```

```
  else if(((MaxT>temperature)&&(MinT<temperature))&&(MinH>humidity))
```

```
    EstadoActuacion=7;
```

```
  else if((MinT>temperature)&&(MinH>humidity))
```

```
    EstadoActuacion=8;
```

```
else

    EstadoActuacion=0;

break;

case 0:

    EstadoActuacion=EstadoActuacion;

break;

}

switch(EstadoActuacion){

    case 0://

        analogWrite(VentHum, 5);

        digitalWrite(resistor, LOW);

        analogWrite(fan, 5);

        digitalWrite(HumUlt, LOW);

        myservo.write(0);//back to 0 degrees

        Habilita=1;

    break;

    case 1:

        //((MaxT<temperature)&&(MaxH<humidity))

        digitalWrite(resistor, LOW);

        if(humidity>65)

        {

            analogWrite(fan, 255);

            myservo.write(180);

            digitalWrite(HumUlt, LOW);

            analogWrite(VentHum, 5);

            Habilita=0;
```

```
    }  
  
    if(humidity<40)  
    {  
        {digitalWrite(HumUlt, HIGH);  
        analogWrite(VentHum, 200);  
        analogWrite(fan, 5);  
        myservo.write(0);  
        Habilita=1;  
    }  
    break;  
  
    case 2: //((MaxT>temperature)&&(MaxH<humidity))  
        if(humidity>=60){  
            analogWrite(fan, 200);  
            myservo.write(180);  
            Habilita=0;  
        }  
        if((humidity>50)&&(humidity<60))  
        {  
            analogWrite(fan, 10);  
            myservo.write(0);  
            Habilita=0;  
        }  
        if(humidity<=50)  
        {  
            analogWrite(fan, 5);  
            myservo.write(0);  
            Habilita=1;  
        }  
    }
```

```
break;
```

```
case 3: //((MaxT<temperature)&&(MaxH>humidity))
```

```
if(humidity>=55)
```

```
{digitalWrite(HumUlt, LOW);
```

```
analogWrite(VentHum, 5);
```

```
analogWrite(fan, 250);
```

```
myservo.write(180);
```

```
Habilita=0;
```

```
}
```

```
if(humidity<35)
```

```
{digitalWrite(HumUlt, HIGH);
```

```
analogWrite(VentHum, 20);
```

```
analogWrite(fan, 5);
```

```
myservo.write(0);
```

```
Habilita=0;
```

```
}
```

```
if(temperature<=25)
```

```
{digitalWrite(HumUlt, LOW);
```

```
analogWrite(VentHum, 5);
```

```
analogWrite(fan, 5);
```

```
myservo.write(0);
```

```
Habilita=1;
```

```
}
```

```
break;
```

```
case 4: //((MinT>temperature)&&(MaxH<humidity))Calienta
```

```
if(temperature<25)

    {digitalWrite(resistor, HIGH);

    myservo.write(0);//back to 0 degrees

    Habilita=0;}

if(temperature>=25)

    {digitalWrite(resistor, LOW);

    myservo.write(0);//back to 0 degrees

    Habilita=1;}

break;

case 6:                                     //((MinT>temperature)&&(MinH<humidity))

    if(temperature<25)

        {digitalWrite(resistor, HIGH);

        myservo.write(0);//back to 0 degrees

        Habilita=0;}

    else

        {digitalWrite(resistor, LOW);

        myservo.write(0);//back to 0 degrees

        Habilita=1;}

    break;

case 7:                                     //((MinT<temperature)&&(MinH>humidity))

    if(humidity<55)

        {analogWrite(VentHum,200);

        digitalWrite(HumUlt, HIGH);

        analogWrite(fan,5);
```

```
myservo.write(0);//back to 0 degrees
```

```
Habilita=0;}
```

```
else
```

```
{analogWrite(VentHum,5);
```

```
digitalWrite(HumUlt, LOW);
```

```
analogWrite(fan,5);
```

```
myservo.write(0);//back to 0 degrees
```

```
Habilita=1;}
```

```
break;
```

```
case 8: //((MinT>temperature)&&(MinH>humidity))
```

```
if(temperature<25)
```

```
{digitalWrite(resistor, HIGH);
```

```
myservo.write(0);//back to 0 degrees
```

```
Habilita=0;}
```

```
if(temperature>=25)
```

```
{digitalWrite(resistor, LOW);
```

```
myservo.write(0);//back to 0 degrees
```

```
Habilita=1;}
```

```
break;
```

```
}
```

```
}
```

```
////////////////////////////////PHOTOSENSOR////////////////////////////////
```

```
void ReadLDR(){
```

```
int pinLDR = A5;
```

```
valorLDR= analogRead(pinLDR);
```

```
if(valorLDR>=900)
```

```
PhotoSensor=2;
```

```
else if((valorLDR<900)&&(valorLDR>700))
```

```
PhotoSensor=3;
```

```
else if(valorLDR<=700)
```

```
PhotoSensor=4;
```

```
}
```

```
//////////////////////////////////GROWLIGHT//////////////////////////////////
```

```
void GrowLight()
```

```
{
```

```
ReadLDR();
```

```
// if(valorLDR<900)
```

```
// ilight=ilight+1;
```

```
// else
```

```
// ilight=0;
```

```
switch(EstadoLED)
```

```
{case 2:
```

```
if(valorLDR<900)
```

```
{if((dt.hour>=7)&&(dt.hour<=21))
```

```
digitalWrite(pinlight,HIGH);
```

```
else
```

```
digitalWrite(pinlight,LOW);
```

```
}
```

```
if(valorLDR>=900)
```

```
digitalWrite(pinlight,LOW);
```

```
break;
```

case 1:

```
digitalWrite(pinlight,LOW);
```

```
break;
```

```
}
```

```
}
```

```
/////////////////////////////////IRRIGATION/////////////////////////////////
```

```
void CiclosHORA()
```

```
{if((dt.hour>=7)&&(dt.hour<=LimitedHour)&&(flag!=1))//To initialize parameters
```

```
{aux=dt.hour;
```

```
flag=1;
```

```
}
```

```
if(dt.hour==aux)
```

```
{if(dt.minute>=SeasonMinutes)
```

```
{digitalWrite(bombaHydro,HIGH);
```

```
if(dt.minute==59)
```

```
aux=aux+ciclos;
```

```
else if(dt.minute==0)
```

```
{digitalWrite(bombaHydro,LOW);
```

```
aux=aux;
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
else if(dt.hour!=aux)
```

```
{digitalWrite(bombaHydro,LOW);  
  
  if(aux>LimitedHour)  
  {aux=7;  
  }  
  
  flag=1;  
  }  
else  
  
  {if(aux>LimitedHour)  
  {aux=7;  
  }  
  }  
}
```

////////////////////////////////////

Programación interna de la Greenhouse App.

REFERENCIAS

- [1] Manual de hidroponía Smithers Oasis
 - [2] <https://www.atlas-scientific.com/>
 - [3] <https://notasdehumo.com/>
 - [4] Guía de iniciación de App inventor, EU Code Week
 - [5] Sistemas NFT en lechugas (Nutrient Film Techniques)
 - [6] <http://www.prometec.net/>
 - [7] <http://ai2.appinventor.mit.edu/>
 - [8] Crecimiento de una planta, de Fabricio Namuncura
-