****

Universidad Nacional de Trujillo

Facultad de Ingeniería

**Escuela de Ingeniería Mecatrónica**

**Diseño de un módulo de software para optimizar parámetros climáticos en un sistema de cultivo doméstico de ambiente controlado**

**INFORME DE PROYECTO DE TESIS**

**Autor:**

Pereyra Gonzáles, Irvin Jair

**Asesor:**

Mg. Ing. León Lescano, Edward Javier

**Trujillo, Perú**

**2018**

# GENERALIDADES

# Título

## Diseño de un módulo de software para optimizar parámetros climáticos en un sistema de cultivo doméstico de ambiente controlado

# Autor

## Bachiller, Pereyra Gonzáles, Irvin Jair.

# Asesor

## Ms. Ing. León Lescano, Edward Javier.

# Tipo de investigación

# De acuerdo a la orientación

## Investigación aplicada.

# De acuerdo a la técnica de contrastación

## Investigación Experimental.

# De acuerdo al régimen de investigación

## Investigación Orientada.

# Localidad

## Ciudad de Trujillo.

# Duración del proyecto

## Fecha de inicio: Junio del 2018

## Fecha de término: Agosto del 2018

# PLAN DE INVESTIGACIÓN

# Realidad problemática

## La falta de educación, la desorganización y el uso inadecuado de los recursos naturales por parte de muchos agricultores genera desequilibrios en el ecosistema que afectan a la agricultura sostenible. Así también, la casi nula transferencia tecnológica y la continua aparición de nuevos minifundios limitan la explotación de terrenos; entorpeciendo los procesos logísticos y en general, la dinámica del mercado agrícola.

## La agricultura debe proveer los alimentos en la cantidad y la calidad necesarias para una vida sana; no obstante, el tema de la seguridad alimentaria implica no sólo mayor producción y productividad sino también una clara conciencia en los consumidores sobre como alimentarse mejor. La insuficiencia de alimentos en cantidad y calidad asociado con malos hábitos alimenticios repercuten sobre la calidad de vida del habitante peruano, es por ello que los trabajos en materia de seguridad alimentaria tienen aún mucho por delante. (Problemas en la agricultura peruana, MINAGRI, 15 de abril de 2018, Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/?id=190&start=3>).

## Desde un enfoque más global, es necesario darse cuenta que el mundo actual necesita dejar de lado muchos sistemas socioeconómicos que van mostrando signos de obsolescencia. En torno a la agricultura, a parte de los procesos propios de cultivo respecto de algún vegetal; existen muchos más factores a considerar para garantizar el bienestar de los productores primarios y establecer una agricultura sostenible a largo plazo. Por ejemplo, los más beneficiados con la comercialización de los productos de primera necesidad, no son necesariamente los agricultores, y sus ganancias siempre son afectadas por los costos elevados del transporte. Y a pesar de que se planteen distintas reformas que puedan aliviar un poco esta situación, la sobrepoblación y la escasez de recursos naturales en los próximos años, como el agua o el petróleo, terminará por obligar a las sociedades a plantearse soluciones que la tecnología actual ya permite hacer realidad.

## En tal sentido, puesto que dichas soluciones demuestran ser incluso más eficientes que nuestros sistemas agrícolas tradicionales, sería oportuno precisar los rangos de los parámetros ambientales en sistemas de Agricultura de Ambiente Controlable desde ahora, para poder ir mejorando los procesos de cultivo en nuestra realidad.

# Formulación del problema

## ¿Cómo determinar mejores condiciones climáticas para un cultivo en sistemas

## agrícolas de ambiente controlado?

# Justificación

# Relevancia Tecnológica

## En centros de investigación, desarrollo e innovación alrededor del mundo se están implementando nuevas alternativas como la presentada en este trabajo, que cambian y demuestran resultados prometedores respecto del sistema con el que se ha venido manejando la agricultura tradicional. Por lo tanto, es conveniente aprovechar la gran variedad de opciones tecnológicas disponibles en el mercado para comenzar a explorar los beneficios de su aplicación en nuestra realidad.

# Relevancia Institucional

## El presente trabajo tiene la capacidad de atraer equipos de investigación multidisciplinarios. Por ejemplo, que conlleven la participación de interesados en los campos de la física, matemática, ciencias de la computación, ingeniería, gestión, economía, etc.

# Relevancia Social

## Con los nuevos métodos agrícolas se pretende también que cada individuo viva participando activamente en un entorno donde las actividades agrícolas sean autosostenibles. Lo que implica, a su vez, una elevación de la cultura alimentaria.

# Relevancia Económica

## La agricultura vertical también implica desligar los procesos logísticos y de transporte que actualmente son imprescindibles para que los agricultores puedan vender sus productos, y que actualmente es común que la variación del costo del petróleo influya negativamente en sus ganancias.

# Relevancia Ambiental

## Kurt Benke y Bruce Tomkins (2017) afirman que las megatendencias mundiales de la disminución del suministro de agua, el aumento de la población, la urbanización y el constante cambio climático han contribuido a la disminución global de las existencias de tierras cultivables por persona. En estas circunstancias, es probable que la sostenibilidad del modelo agrícola tradicional basado en grandes granjas rurales se vea amenazada en las próximas décadas. Un enfoque para abordar este problema desafiante es la agricultura vertical, que se basa en la agricultura de ambiente controlado y diseños de invernadero adecuados para entornos urbanos (p. 12). La agricultura vertical se ha demostrado a escala piloto y también a nivel de producción y tiene ventajas potenciales sobre la agricultura rural, incluido el uso de la hidroponía, que desafía la necesidad de una agricultura basada en el suelo para una variedad de cultivos. Los beneficios potenciales de la agricultura vertical incluyen un modelo sostenible de producción de alimentos con producción de cultivos durante todo el año, mayores rendimientos en un orden de magnitud y ausencia de sequías, inundaciones y plagas (p. 13).

# Antecedentes

## Muhammad Ikhwan y Norashikin M. Thamrin (2018) presentan un proyecto cuyo objetivo principal es construir un sistema para controlar la humedad del suelo y controlar el contenido de agua a través del navegador web en la computadora portátil, el teléfono móvil y otros dispositivos portátiles y compactos (p. 1).

## Deepak Vasisht, Zerina Kapetanovic, Jongho Won, Xinxin Jin, Ranveer Chandra, Ashish Kapoor, Sudipta N. Sinhaand Madhusudhan Sudarshan, Sean Stratman (2017) afirman que las técnicas basadas en datos ayudan a impulsar la productividad agrícola al aumentar los rendimientos, reducir las pérdidas y reducir los costos de los insumos. Sin embargo, estas técnicas han visto una adopción escasa debido a los altos costos de recopilación manual de datos y soluciones de conectividad limitadas (p. 1).

## Yap Shien Chin y Lukman Audah (2017) afirman que la agricultura vertical es difícil de practicar porque los cambios menores en el entorno dejarían un gran impacto en la productividad y la calidad de la actividad agrícola. Por lo que, presentan un estudio con el objetivo de proporcionar un sistema de monitoreo agrícola vertical para ayudar a mantener el seguimiento de las condiciones físicas de los cultivos (p. 1).

## Kurt Benke y Bruce Tomkins (2017) afirman que existe la necesidad de aumentar los fondos para la investigación en genética vegetal para optimizar el rendimiento, ampliando la gama de tipos de cultivos y ajustando para obtener una respuesta óptima a variables controladas como la longitud de onda de la iluminación LED, la temperatura, la humedad y los niveles de CO2 (p. 14).

## Los resultados demuestran claramente que los sistemas de cultivo verticales (VFS) presentan una alternativa atractiva a los sistemas de crecimiento hidropónico horizontal y sugieren que se podrían lograr mayores aumentos en el rendimiento mediante la incorporación de iluminación artificial en el VFS.'' (Dionysios Touliatos, Ian C. Dodd y Martin McAinsh, 2016, p. 1).

## Malek Al-Chalabi (2015) afirma que los hallazgos indican que la agricultura vertical es un concepto que está en su infancia técnica pero que promete para las ciudades futuras. La investigación adicional puede ayudar a continuar con esta idea. Esto incluye desarrollar diseños multifuncionales con aportes de ingenieros, arquitectos y proveedores de tecnología agrícola vertical simultáneamente para ayudar a diseñar estructuras futuras que puedan adaptarse a las necesidades del siglo XXI, desarrollando programas piloto donde se puedan recopilar y analizar datos en tiempo real para examinar dónde existen oportunidades y barreras en comparación con los productos convencionales, el desarrollo de un modelo de energía más grande que pueda tener más factores en cuenta (ventilación, desperdicio, etc.) y la realización de un estudio tecnoeconómico que incorpora los costos de construcción y mantenimiento. La agricultura vertical tiene potencial en las circunstancias correctas. En esos casos y con un poco más de investigación, el cielo es el límite. (p. 4).

# Objetivos

# Objetivo general

## Diseñar un módulo de software para optimizar parámetros climáticos en un sistema de cultivo doméstico de ambiente controlado

# Objetivos específicos

### Seleccionar los componentes tecnológicos y diseñar el sistema que permita medir y manipular parámetros ambientales importantes para la producción de un cultivo.

### Describir los valores actuales de los parámetros ambientales de un cultivo.

### Indicar los valores deseados para los parámetros ambientales de un cultivo.

### Relacionar los valores deseados con los valores actuales.

### Analizar los valores medidos para hallar datos que optimicen el cultivo.

### Relacionar los valores optimizados con los valores deseados.

# Marco Teórico

# Agricultura de ambiente controlado

### La agricultura de ambiente controlado (CEA) es un enfoque basado en la tecnología para la producción de alimentos. El objetivo de CEA es proporcionar protección y mantener condiciones de crecimiento óptimas durante todo el desarrollo del cultivo. La producción se lleva a cabo dentro de una estructura de cultivo cerrada, como un invernadero o un edificio. Las plantas a menudo se cultivan utilizando métodos hidropónicos con el fin de suministrar las cantidades adecuadas de agua y nutrientes a la zona de la raíz. CEA optimiza el uso de recursos como agua, energía, espacio, capital y mano de obra. Las tecnologías de CEA incluyen hidroponía, acuicultura y acuaponia.

### Variables controlables:

### Temperatura (aire, solución nutritiva, zona raíz)

### Humedad (% RH)

### Dióxido de carbono (CO2)

### Luz (intensidad, espectro, intervalo)

### Concentración de nutrientes (PPM, EC)

### PH nutriente (acidez)

### Las instalaciones de CEA pueden variar desde invernaderos totalmente automatizados con controles de computadora para riego, iluminación y ventilación, hasta soluciones de baja tecnología como campanas o película de plástico en cultivos de campo y túneles cubiertos de plástico.

### CEA se utiliza en investigación para que un aspecto específico de la producción se pueda aislar, mientras que todas las demás variables permanezcan iguales. El vidrio tintado se puede comparar con el vidrio simple de esta manera durante una investigación sobre la fotosíntesis. Otra posibilidad sería una investigación sobre el uso de iluminación suplementaria para cultivar lechugas bajo un sistema hidropónico.

### Un artículo de febrero de 2011 en la revista Science Illustrated afirma: "En la agricultura comercial, CEA puede aumentar la eficiencia, reducir plagas y enfermedades, y ahorrar recursos ... Replicar una granja convencional con computadoras y luces LED es costoso, pero resulta rentable en a largo plazo, produciendo hasta 20 veces más productos de alta gama y libres de plaguicidas que una parcela de suelo de tamaño similar. Catorce mil pies cuadrados de plantas estrechamente monitoreadas producen 15 millones de plántulas anualmente en la fábrica de energía solar. será necesario para satisfacer la creciente demanda urbana de China de frutas y verduras de calidad ".

### (Colaboradores de Wikipedia. Controlled-environment agriculture [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Controlled-environment_agriculture>.

# Hidroponía

### La hidroponía o agricultura hidropónica es un método utilizado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola. La palabra hidroponía proviene del griego ὕδωρ [hýdōr] = ‘agua’, y πόνος [ponos] = ‘labor’, ‘trabajo’.1​ Las raíces reciben una solución nutritiva y equilibrada disuelta en agua con algunos de los elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas, que pueden crecer en una solución mineral únicamente, o bien en un medio inerte, como arena lavada, grava o perlita, entre muchas otras.

### Las plantas absorben los minerales esenciales por medio de iones inorgánicos disueltos en el agua. En condiciones naturales, el suelo actúa como reserva de nutrientes minerales, pero el suelo en sí no es esencial para que la planta crezca. Cuando los nutrientes minerales de la tierra se disuelven en agua, las raíces de la planta son capaces de absorberlos. Cuando los nutrientes minerales son introducidos dentro del suministro de agua de la planta, ya no se requiere el suelo para que la planta prospere. Casi cualquier planta terrestre puede crecer con hidroponía, aunque algunas pueden hacerlo mejor que otras. La hidroponía es también una técnica estándar en la investigación biológica y en la educación, y un popular pasatiempo.

### Hoy en día, esta actividad está alcanzando un gran auge en los países donde las condiciones para la agricultura resultan adversas. Combinando la hidroponía con un buen manejo del invernadero se llegan a obtener rendimientos muy superiores a los que se obtienen en cultivos a cielo abierto.

### Es una forma sencilla, limpia y de bajo costo para producir vegetales de rápido crecimiento y generalmente ricos en elementos nutritivos. Con esta técnica de agricultura a pequeña escala se utilizan los recursos que las personas tienen a mano, como materiales de desecho, espacios sin utilizar y tiempo libre.

### La hidroponía o cultivo sin suelo ha conseguido estándares comerciales, y que algunos alimentos, plantas ornamentales y jóvenes plantas de tabaco se cultivan de esta manera por diversas razones que tienen que ver con la falta de suelos adecuados; por suelos contaminados por microorganismos que producen enfermedades a las plantas o por usar aguas subterráneas que degradaron la calidad de esos suelos.

### Al no usar suelo, ya no se cuenta con el efecto amortiguador o buffer que brinda un suelo agrícola. Tiene también diversos problemas con la oxigenación de las raíces y no es algo que pueda llamarse limpio cuando se realiza a escala comercial. Para gente con tiempo libre que quiere divertirse, para investigación, para demostraciones a alumnos sobre la esencialidad de ciertos elementos químicos, aún para quien quiera cultivar en un contenedor o una pequeña tina, para cultivar en naves espaciales o para cultivos a gran escala, presentará diversos niveles de complejidad, sobre todo si se quiere que sea una actividad económica y tenga bajo impacto ambiental.

### La clasificación de los cultivos hidropónicos ha evolucionado más recientemente hacia formas abiertas o cerradas, dependiendo de si vuelcan el efluente o reutilizan la solución nutritiva como forma de protección ambiental y una mayor economía en su utilización.

### (Colaboradores de Wikipedia. Hidroponía [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidropon%C3%ADa>).

Figura2.1: Técnicas hidropónicas

### 

<https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/tecnicas/>

### Técnicas estacionarias

### Técnica de raíz flotante:

### Se utilizan piscinas opacas sobre las que flota una lámina de poliespán en las que se alojan las plantas con las raíces directamente sumergidas en la solución nutritiva. La oxigenación de la solución se hace de forma automatizada con una bomba sopladora y un temporizador para programar los periodos de aireación.

### Técnicas Recirculantes

### Técnica de Película de Nutrientes (Nutrient Film Technique, NFT):

### El sistema comprende una serie de tubos o canales de cultivo de PVC con aberturas donde se colocan las plantas dentro de canastillas con un medio de sostén. Dentro de los canales de cultivo discurre una película de solución nutritiva que riega las raíces (2 L/min), la cual es bombeada desde el depósito en el que se almacena, se ajustan los parámetros y se realiza la oxigenación forzada (bombas sopladoras o bombeo de agua). Los canales de cultivo no deben superar los 6 m de longitud para evitar la pérdida de oxígeno en la solución nutritiva y se sitúan en bancadas dispuestas en paralelo con una inclinación (1,5 – 4%) para recoger la solución nutritiva por gravedad. Es idóneo para el cultivo de hortícolas de ciclo corto (lechuga, berro, espinaca, aromáticas…).

# Computadora alimentaria personal (Personal Food Computer – PFC)

### La iniciativa OpenAg acuñó el término "Food Computer" o Computadora Alimentaria en idioma español para describir su principal producto. Originalmente desarrollado en el proyecto del CityFARM del MIT, las "Food Computer" son plataformas de agricultura con ambiente controlado utilizando para ello tecnologías agrícolas sin uso de suelo como la hidroponía y la aeroponía que facilitan el crecimiento de cultivos en lugares cerrados.​ La Computadora Alimentaria también utiliza una variedad de sensores que sirven para monitorizar el clima interno dentro de una cámara de crecimiento especializado y así poder crear las condiciones ambientales requeridas para el desarrollo óptimo del cultivo.3

### El interior de la cámara de crecimiento de la Computadora Alimentaria tiene un alto control y análisis del desarrollo del cultivo a través de tecnología como Arduino, Raspberry Pi y sensores de humedad, detectores de carbono y nitrógeno así como niveles de PH, toda esta información es generada y almacenada durante todo el ciclo del cultivo. Con estos datos se pueden crear "climate recipe" (Recetas de clima) que afectan directamente en el fenotipo de los cultivos (características observables de un cultivo). Estas Recetas de Clima pueden ser almacenadas y accesibles a otros usuarios que podrían descargarlas para su uso o adaptación dentro de las Computadoras Alimentarias con las que cuenten.

### El término Computadora Alimentaria podría aplicarse en general a cualquier iniciativa de Agricultura Abierta que contenga un sistema de ambiente controlado o también el término podría aplicarse específicamente al modelo más pequeño que tiene el nombre de "Personal Food Computer" (Computadora Personal Alimentaria). Que es del tamaño de un refrigerador de oficina (Mini-bar) y puede ser instalado en casas, salones de escuelas, y lugares para la experimentación a pequeña escala.​ El siguiente tamaño tiene el nombre de "Food Server" (Servidor Alimentario) y tiene una medida de contenedor estándar, su estructura está desarrollada para granja vertical.

## 

### (Colaboradores de Wikipedia. Agricultura abierta [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Agricultura_abierta>).

# Control PID

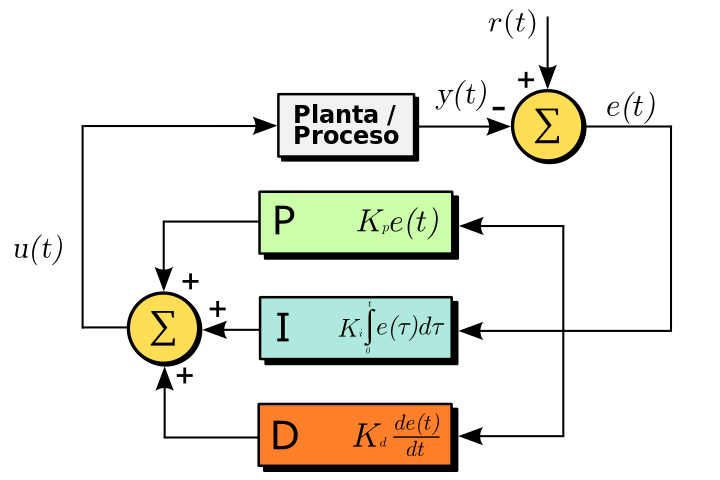
### Un controlador PID (Controlador Proporcional-Integral-Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado.

### El algoritmo del control PID consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional depende del error actual. El Integral depende de los errores pasados y el Derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso por medio de un elemento de control como la posición de una válvula de control o la potencia suministrada a un calentador.

### Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

### (Colaboradores de Wikipedia. Controlador\_PID [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_PID>).

Figura2.2: Controlador PID



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d9/PID_es_updated_feedback.svg/720px-PID_es_updated_feedback.svg.png>

# Control On / Off

Los controladores «sí/no», también llamados de «encendido/apagado» o «todo/nada», son los sistemas de control más básicos. Estos envían una señal de activación («sí», «encendido» o «1») cuando la señal de entrada es menor que un nivel de referencia (definido previamente), y desactivan la señal de salida («no», «apagado» o «0») cuando la señal de entrada es mayor que la señal de referencia.

(Colaboradores de Wikipedia. Control Sí No [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Control_S%C3%AD/No>).

# Desarrollo web

Desarrollo web es un término que define la creación de sitios web para Internet o una intranet. Para conseguirlo se hace uso de tecnologías de software del lado del servidor y del cliente que involucran una combinación de procesos de base de datos con el uso de un navegador web a fin de realizar determinadas tareas o mostrar información.

Tradicionalmente un software departamental o incluso un ambicioso proyecto corporativo de gran envergadura es desarrollado en forma stand alone, es decir, usando lenguajes ya sea compilados(C, C++, Delphi), semicompilados(.NET, Mono, Java), o interpretados (Python, PHP) para crear tanto la funcionalidad como toda la interfaz de los usuarios, pero cabe perfectamente un desarrollo orientado a web para dichos propósitos, siendo más homogéneo y multiplataforma, y dependiendo de las tecnologías utilizadas, más rápido y robusto tanto para diseñar, implementar y probar, como para su uso una vez terminado.

Funcionalmente, el desarrollador web, que es quien realiza esta labor, normalmente sólo se preocupa por el funcionamiento del software, es tarea del diseñador web preocuparse del aspecto final(layout) de la página y del webmaster el integrar ambas partes. En ocasiones el webmaster también se encarga de actualizar los contenidos de la página.

(Colaboradores de Wikipedia. Desarrollo web [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_web>).

# Base de datos

Una base de datos es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso. En este sentido; una biblioteca puede considerarse una base de datos compuesta en su mayoría por documentos y textos impresos en papel e indexados para su consulta. Actualmente, y debido al desarrollo tecnológico de campos como la informática y la electrónica, la mayoría de las bases de datos están en formato digital, siendo este un componente electrónico, por tanto se ha desarrollado y se ofrece un amplio rango de soluciones al problema del almacenamiento de datos.

Existen programas denominados sistemas gestores de bases de datos, abreviado SGBD (del inglés Database Management System o DBMS), que permiten almacenar y posteriormente acceder a los datos de forma rápida y estructurada. Las propiedades de estos DBMS, así como su utilización y administración, se estudian dentro del ámbito de la informática.

Las aplicaciones más usuales son para la gestión de empresas e instituciones públicas; También son ampliamente utilizadas en entornos científicos con el objeto de almacenar la información experimental.

* **Bases de datos relacionales**

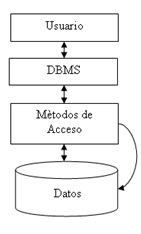
En este modelo, el lugar y la forma en que se almacenen los datos no tienen relevancia (a diferencia de otros modelos como el jerárquico y el de red). Esto tiene la considerable ventaja de que es más fácil de entender y de utilizar para un usuario esporádico de la base de datos. La información puede ser recuperada o almacenada mediante "consultas" que ofrecen una amplia flexibilidad y poder para administrar la información.

El lenguaje más habitual para construir las consultas a bases de datos relacionales es SQL, Structured Query Language o Lenguaje Estructurado de Consultas, un estándar implementado por los principales motores o sistemas de gestión de bases de datos relacionales.

Durante su diseño, una base de datos relacional pasa por un proceso al que se le conoce como normalización de una base de datos.

(Colaboradores de Wikipedia. Base de datos [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos>).

Figura2.3: Base de datos

*https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/Componentes\_de\_un\_base\_de\_datos.jpg*

# Websocket

WebSocket es una tecnología que proporciona un canal de comunicación bidireccional y full-duplex sobre un único socket TCP. Está diseñada para ser implementada en navegadores y servidores web, pero puede utilizarse por cualquier aplicación cliente/servidor. La API de WebSocket está siendo normalizada por el W3C, mientras que el protocolo WebSocket ya fue normalizado por la IETF como el RFC 6455. Debido a que las conexiones TCP comunes sobre puertos diferentes al 80 son habitualmente bloqueadas por los administradores de redes, el uso de esta tecnología proporcionaría una solución a este tipo de limitaciones proveyendo una funcionalidad similar a la apertura de varias conexiones en distintos puertos, pero multiplexando diferentes servicios WebSocket sobre un único puerto TCP (a costa de una pequeña sobrecarga del protocolo).

En el lado del cliente, WebSocket está ya implementado en Mozilla Firefox 8, Google Chrome 4 y Safari 5, así como la versión móvil de Safari en el iOS 4.2.1​ y en Internet Explorer 10.2​

(Colaboradores de Wikipedia. Websocket [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/WebSocket>).

# Protocolo MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de transporte de mensajes Cliente/Servidor basado en publicaciones y subscripciones a los denominados “tópicos”. Cada vez que un mensaje es publicado será recibido por el resto de dispositivos adheridos a un tópico del protocolo.

El protocolo MQTT funciona sobre TCP/IP o sobre otros protocolos de red con soporte bi-direccional y sin pérdidas de datos. Sus principales características son:

* Uso de mensajes “broadcast” para subscripción y publicación de datos con independencia de la aplicación.
* Transporte de mensajes transparente y con un flujo de datos optimizado lo cual permite reducir el tráfico en la red.
* Define tres calidades de servicio:

“A lo sumo una vez”, es básicamente el protocolo TCP pero con pérdida de mensajes. Este nivel podría ser usado, por ejemplo, para aplicaciones de sensorizado en las que no es crítica la pérdida de una lectura que tarde o temprano se llegará a publicar.

“Al menos una”, donde la llegada de los mensajes está asegurada pero considerando duplicidades.

“Exactamente una vez”, dónde la llegada de los mensajes está asegurada exactamente una vez. Este nivel puede ser usado, por ejemplo, con sistemas de pago donde la duplicidad o la perdida de mensajes es más crítica y podría dar lugar a cargos incorrectos.

* Posee un mecanismo de notificación de desconexiones inesperadas.

El protocolo MQTT es idóneo para aplicaciones de Internet de las Cosas en las cuales se envían cantidades pequeñas de información y por tanto no se necesita un gran ancho de banda. TST implementa MQTT de forma nativa en sus dispositivos, haciendo los datos disponibles en un MQTT broker, que no es más que un servidor de traducción y almacenamiento de datos.

(MQTT - Protocolo de conectividad M2M / IoT [En línea]. España: TST. [Fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Recuperado de <http://www.tst-sistemas.es/mqtt/>).

# Protocolo Firmata

Firmata es un protocolo para comunicarse con microcontroladores desde el software en una computadora (o teléfono inteligente / tableta, etc.). El protocolo se puede implementar en firmware en cualquier arquitectura de microcontrolador, así como también en cualquier paquete de software (ver lista de bibliotecas de clientes a continuación).

El protocolo Firmata podría implementarse teóricamente para cualquier plataforma de microcontroladores. Actualmente, sin embargo, la implementación más completa es para Arduino (incluidos los microcontroladores compatibles con Arduino).

(Firmata/protocol. [En línea] [Fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Recuperado de <https://github.com/firmata/protocol/>).

# Programación reactiva

La programación reactiva es un paradigma enfocado en el trabajo con flujos de datos finitos o infinitos de manera asíncrona. Su concepción y evolución ha ido ligada a la publicación del Reactive Manifesto, que establecía las bases de los sistemas reactivos, los cuales deben ser:

* **Responsivos:** aseguran la calidad del servicio cumpliendo unos tiempos de respuesta establecidos.
* **Resilientes:** se mantienen responsivos incluso cuando se enfrentan a situaciones de error.
* **Elásticos:** se mantienen responsivos incluso ante aumentos en la carga de trabajo.
* **Orientados a mensajes:** minimizan el acoplamiento entre componentes al establecer interacciones basadas en el intercambio de mensajes de manera asíncrona.

La motivación detrás de este nuevo paradigma procede de la necesidad de responder a las limitaciones de escalado presentes en los modelos de desarrollo actuales, que se caracterizan por su desaprovechamiento del uso de la CPU debido al I/O, el sobreuso de memoria (enormes thread pools) y la ineficiencia de las interacciones bloqueantes.

(¿Qué es la programación reactiva? [En línea] [Fecha de publicación: 10 de marzo de 2017] [Fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Recuperado de <https://profile.es/blog/que-es-la-programacion-reactiva-una-introduccion/>).

# Visión Artificial

La visión artificial o visión por computador es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes del mundo real con el fin de producir información numérica o simbólica para que puedan ser tratados por un computador. Tal y como los humanos usamos nuestros ojos y cerebros para comprender el mundo que nos rodea, la visión por computador trata de producir el mismo efecto para que las computadoras puedan percibir y comprender una imagen o secuencia de imágenes y actuar según convenga en una determinada situación. Esta comprensión se consigue gracias a distintos campos como la geometría, la estadística, la física y otras disciplinas. La adquisición de los datos se consigue por varios medios como secuencias de imágenes, vistas desde varias cámaras de video o datos multidimensionales desde un escáner médico.

Hay muchas tecnologías que utilizan la visión por computador, entre las cuales se encuentran el reconocimiento de objetos, la detección de eventos, la reconstrucción de una escena (mapping) y la restauración de imágenes.

(Colaboradores de Wikipedia. Visión artificial [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n_artificial>).

# Modelo RGB

RGB es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios. El modelo de color RGB no define por sí mismo lo que significa exactamente rojo, verde o azul, por lo que los mismos valores RGB pueden mostrar colores notablemente diferentes en distintos dispositivos que usen este modelo de color. Aunque utilicen un mismo modelo de color, sus espacios de color pueden variar considerablemente.

**Percepción y sensación de color**

Los ojos humanos tienen dos tipos de células sensibles a la luz o fotorreceptores: los bastones y los conos. Estos últimos son los encargados de aportar la información de color.

Para saber cómo es percibido un color, hay que tener en cuenta que existen tres tipos de conos con respuestas frecuenciales diferentes, y que tienen máxima sensibilidad a los colores que forman la terna RGB. Aunque los conos, que reciben información del verde y el rojo, tienen una curva de sensibilidad similar, la respuesta al color azul es una veinteava (1/20) parte de la respuesta a los otros dos colores. Este hecho lo aprovechan algunos sistema de codificación de imagen y vídeo, como el JPEG o el MPEG, "perdiendo" de manera consciente más información de la componente azul, ya que el ser humano no percibe esta pérdida.

La sensación de color se puede definir como la respuesta de cada una de las curvas de sensibilidad al espectro radiado por el objeto observado. De esta manera, obtenemos tres respuestas diferentes, una por cada color.

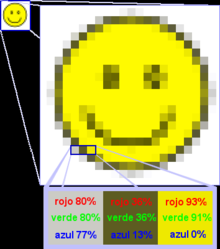
El hecho de que la sensación de color se obtenga de este modo, hace que dos objetos observados, radiando un espectro diferente, puedan producir la misma sensación. Y en esta limitación de la visión humana se basa el modelo de síntesis del color, mediante el cual podemos obtener a partir de estímulos visuales estudiados y con una mezcla de los tres colores primarios, el color de un objeto con un espectro determinado.

**Uso de RGB en HTML y en lenguajes de programación**

Para indicar con qué proporción es mezclado cada color, se asigna un valor a cada uno de los colores primarios (intensidad de cada una de las componentes) y se mide según una escala que va del 0 al 255 y cada color es definido por un conjunto de valores escritos entre paréntesis (correspondientes a valores "R", "G" y "B") y separados por comas.

De este modo, el rojo se obtiene con (255,0,0), el verde con (0,255,0) y el azul con (0,0,255), obteniendo, en cada caso un color resultante monocromático. La ausencia de color, es decir el color negro, se obtiene cuando las tres componentes son 0: (0,0,0). La combinación de dos colores a su máximo valor de 255 con un tercero con valor 0 da lugar a tres colores intermedios. De esta forma, aparecen los colores: amarillo (255,255,0), cian (0,255,255) y magenta (255,0,255). El color blanco se forma con los tres colores primarios a su máximo valor (255,255,255).

Figura2.4: Modelo RGB



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b4/Rgb-raster-image.xcf/220px-Rgb-raster-image.xcf.png>

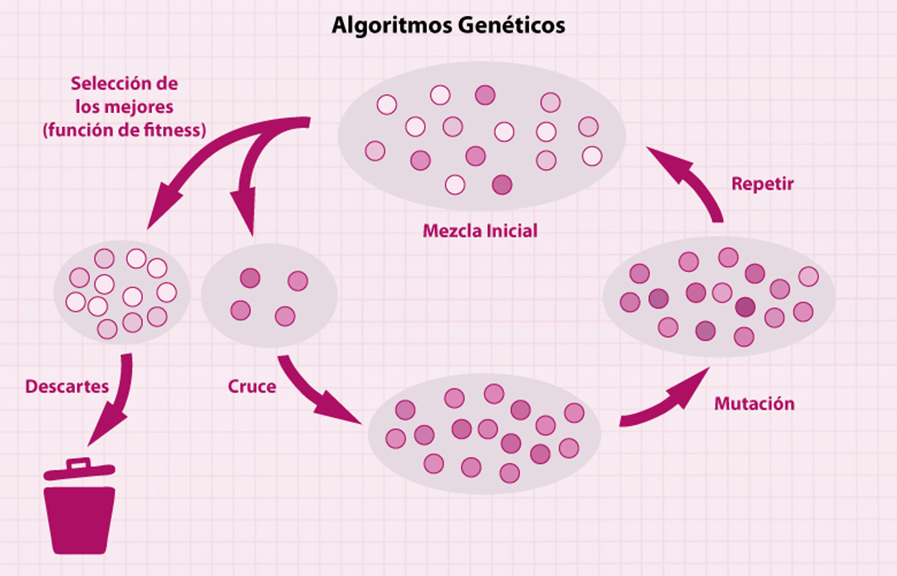
# Algoritmos Genéticos

Son llamados así porque se inspiran en la evolución biológica y su base genético-molecular.

Estos algoritmos hacen evolucionar una población de individuos sometiéndola a acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas), así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos más adaptados, que sobreviven, y cuáles los menos aptos, que son descartados.

(Colaboradores de Wikipedia. Algoritmo genético [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_gen%C3%A9tico>).

Figura2.4: Algoritmos Genéticos



<https://www.miguelvedoya.com/wp-content/uploads/2017/06/Proceso.png>

# Marco conceptual

# Library

En informática, una biblioteca o librería (del inglés library) es un conjunto de implementaciones funcionales, codificadas en un lenguaje de programación, que ofrece una interfaz bien definida para la funcionalidad que se invoca.

(Colaboradores de Wikipedia. Biblioteca informática [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Biblioteca_(inform%C3%A1tica)>).

# Framework

En el desarrollo de software, un framework o entorno de trabajo es una estructura conceptual y tecnológica de asistencia definida, normalmente, con artefactos o módulos concretos de software, que puede servir de base para la organización y desarrollo de software. Típicamente, puede incluir soporte de programas, bibliotecas, y un lenguaje interpretado, entre otras herramientas, para así ayudar a desarrollar y unir los diferentes componentes de un proyecto.

(Colaboradores de Wikipedia. Framework [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Framework>).

# Histograma de color

En los campos procesamiento de imagen y fotografía, un histograma de color es una representación anterior de la distribución del color en una imagen. En las imágenes digitales, un histograma de color representa el número de píxeles que tienen colores en cada una de las listas fijas de rangos de colores, que se extienden sobre el espacio de color de la imagen, es decir, el conjunto de todos los posibles colores.

(Colaboradores de Wikipedia. Histograma de color [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Histograma_de_color>).

# SCADA

SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

(Colaboradores de Wikipedia. SCADA [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/SCADA>).

# Concentración

En química, es la magnitud que expresa la cantidad de una sustancia por unidadde volumen, y cuya unidad en el sistema internacional es el mol por metrocúbico (mol/m3).

(Colaboradores de Wikipedia. Concentración [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Concentraci%C3%B3n).

# PH de nutriente

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. La sigla significa potencial de hidrógeno o potencial de hidrogeniones.

(Colaboradores de Wikipedia. Ph [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/PH).

# Píxel

Un píxel o pixel,1​ plural píxeles (acrónimo del inglés picture element, ‘elemento de imagen’), es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital.

Para poder visualizar, almacenar y procesar la información numérica representada en cada píxel, se debe conocer, además de la profundidad y brillo del color, el modelo de color que se utiliza. Por ejemplo, el modelo de color RGB (Red-Green-Blue) permite crear un color compuesto por los tres colores primarios según el sistema de mezcla aditiva. De esta forma, según la cantidad de cada uno de ellos que se use en cada píxel será el resultado del color final del mismo.

(Colaboradores de Wikipedia. Píxel [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2018 [fecha de consulta: 1 de junio de 2018]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADxel>).

# METODOLOGÍA

# Tipo de estudio

## Aplicado y exploratorio

# Diseño de investigación

## Experimental puro.

# Hipótesis

## Mediante la monitorización, control y registro de los parámetros ambientales de un cultivo se podrá utilizar técnicas de algoritmos genéticos y visión artificial para optimizar la producción del mismo en sistemas agrícolas de ambiente controlado.

# Identificación de variables

# Variables cuantitativas independientes:

# Tamaño de la planta cultivada

# Color de la planta cultivada

# Temperatura del agua

# Monóxido de oxígeno

# Temperatura de aire

# Volumen de agua

# Intensidad de Luz

# Periodo de inyección de aire fresco

# Periodo de inyección de agua fresca

# Periodo de circulación de aire

# Periodo de circulación de agua

# Variables cuantitativas dependientes:

# Salida del controlador de temperatura

# Salida del controlador de nivel de agua

# Salida del controlador del periodo de inyección de agua fresca

# Salida del controlador del periodo de inyección de aire fresco

# Salida del controlador del periodo de circulación de aire

# Salida del controlador del periodo de circulación de agua

# Salida del controlador de la intensidad de luz.

Tabla3.1: Variables

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variable** | **Definición conceptual** | **Definición operacional** | **Indicadores** | **Escala de medición** |
| Temperatura de aire | Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor del aire, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K). | Temperatura del aire dentro del prototipo de PFC, Medible a través de un sensor y alterable por medio de un sistema de control | °C | 15 - 25 |
| Nivel de agua | Altura de agua | Altura de la solución usada dentro del prototipo de PFC, medible a través de un sensor y alterable por medio de un sistema de control | cm | 0 - 20 |
| Intensidad de luz | Magnitud física que expresa el flujo luminoso emitido por una fuente puntual en una dirección determinada por unidad de ángulo sólido. Su unidad en el Sistema Internacional es la candela | Intensidad de luz dentro del prototipo de PFC y medible a través de un sensor | lx | 0 - 1000 |
| Periodo de injección de aire fresco | Espacio de tiempo hasta la próxima adición de aire | Periodo con la que el prototipo de PFC es recibe aire fresco y alterable por medio de un sistema de control | h | 2 - 4 |
| Periodo de injección de agua fresca | Espacio de tiempo hasta la próxima adición de agua | Periodo con la que el prototipo de PFC es recibe aire fresco y alterable por medio de un sistema de control | h | 3 - 4 |
| Periodo de circulación de aire | Espacio de tiempo hasta la próxima circulación de aire | Periodo con la que el prototipo de PFC es recibe agua fresca y alterable por medio de un sistema de control | h | 4 - 4 |
| Periodo de circulación de agua | Espacio de tiempo hasta la próxima circulación de agua | Periodo con la que circula el agua en el prototipo de PFC y alterable por medio de un sistema de control | h | 5 - 4 |
| Color del cultivo | cualidad de las plantas por la cual impresionan la retina de modo diferente según cómo reflejen los rayos luminosos | Periodo con la que circula el aire en el prototipo de PFC y alterable por medio de un sistema de control | RGB | 0 - 255, 0 - 255, 0 - 255 |
| Área del cultivo | Espacio comprendido por el cultivo | Áreas cultivadas en el prototipo de PFC y medible indirectamente a través de la aplicación de algoritmos de visión artificial sobre una imagen digital | m² | 0 - 0.5 |
| Temperatura del agua | Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor del agua, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K). | Temperatura de la solución usada dentro del prototipo de PFC y medible a través de un sensor | °C | 15 - 25 |
| Concentración de monóxido de oxígeno | Magnitud que expresa la cantidad de una sustancia por unidad de volumen | Concentración de monóxido de carbono en el prototipo de PFC y medible a través de un sensor | ppm | 20 - 2000 |
| Salida del controlador de temperatura de aire | Valor resultado del sistema encargado de ejercer el control sobre la temperatura del aire | Valor de salida de un sistema de control en lazo cerrado para variar la temperatura de aire hacia un valor deseado | PWM | 0 - 255 |
| Salida del controlador de nivel de agua | Valor resultado del sistema encargado de ejercer el control sobre el nivel de agua | Valor de salida de un sistema de control en lazo cerrado para variar el nivel de agua hacia un valor deseado | PWM | 0 - 255 |
| Salida del controlador del periodo de inyección de agua fresca | Valor resultado del sistema encargado de ejercer el control sobre el estado de inyección de agua fresca | Valor de salida de un sistema de control en lazo abierto para variar el estado de inyección de agua fresca hacia un valor deseado | V | 0 - 5 |
| Salida del controlador del periodo de inyección de aire fresco | Valor resultado del sistema encargado de ejercer el control sobre el estado de inyección de aire fresco | Valor de salida de un sistema de control en lazo abierto para variar el estado de inyección de aire fresca hacia un valor deseado | V | 0 - 5 |
| Salida del controlador del periodo de circulación de aire | Valor resultado del sistema encargado de ejercer el control sobre el estado de circulación de aire | Valor de salida de un sistema de control en lazo abierto para variar el estado de circulación de aire hacia un valor deseado | V | 0 - 5 |
| Salida del controlador del periodo de circulación de agua | Valor resultado del sistema encargado de ejercer el control sobre el estado de circulación de agua | Valor de salida de un sistema de control en lazo abierto para variar el estado de circulación de agua hacia un valor deseado | V | 0 - 5 |
| Salida del controlador de la intensidad de luz. | Valor resultado del sistema encargado de ejercer el control sobre la intensidad de luz | Valor de salida de un sistema de control en lazo abierto para variar la intensidad de luz hacia un valor deseado | PWM | 0-255 |

# Población, muestra y muestreo

# Población:

# Módulos de software que permitan el registro, supervisión y control de datos.

# Muestra:

# Módulos de software que permitan registrar, supervisar y controlar parámetros ambientales en sistemas de Agricultura de Ambiente Controlado (CEA).

# Unidad de análisis:

# Prototipo propio de una computadora alimentaria personal capaz de registrar, supervisar y controlar parámetros de temperatura, distancia, intensidad de luz y encendido/apagado.

# Criterios de selección

# Criterio de inclusión:

# Sistemas customizables, adaptativos (que permitan cambiar el ambiente alrededor de la planta), de bajo costo e información libre (open-source software/hardware).

# Criterio de exclusión:

# Sistemas no customizables, no adaptativos, con alto costo o con software/hardware privativo.

# Métodos de investigación

Método heurístico y experimental.

# Técnicas de recolección de datos

Los datos serán obtenidos mediante bibliografía especializada.

# Procedimientos de recolección de datos

# Elegir las fuentes de datos de libros y repositorios digitales de artículos científicos.

# Recopilar información sobre sistemas robóticos agrícolas, sistemas de cultivo de ambiente controlado y sistemas hidropónicos.

# Extraer y organizar datos sobre las características ambientales adecuadas que deben conservarse para fines agrícolas.

# Métodos de análisis de datos

## Se analizarán los datos mediante la cuantificación de determinados parámetros ambientales y características del cultivo.

# ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

# Recursos y presupuestos

# Recursos

# Humanos:

* Asesor de tesis.
* Bachiller de ingeniería mecatrónica.

# Materiales y equipos:

* 1 x Sensor de monóxido de carbono MQ7
* 2 x Sensor de temperatura LM35
* 1 x Sensor de distancia HC-SR04
* 1 x Sensor de luz digital BH1750
* 1 x Bomba de aire
* 1 x Bomba de agua sumergible
* 1 x Bomba de agua
* 1 x Humidificador ultrasónico
* 2 x Cinta Led GROW (metro) APA102:
* 1 x Módulo Relay 2CH 5VDC
* 1 x Módulo Relay 4CH 5VDC
* 1 x Driver Mosfet IRF520
* 1 x Driver Puente H L298N
* 2 x Brushless Fan
* 1 x Destornillador estrella
* 1 x Laptop personal
* 1 x Fuente 24V DC
* 1 x Fuente 12V DC
* 1 x Fuente 5V DC
* 1 x Fuente 3V DC
* 20 x Cable Dupont macho a macho 20cm
* 20 x Cable Dupont hembra a macho 20cm
* 6 x Papel Aluminio (metro cuadrado)
* 12 x Perfiles aluminio
* 1 x Contenedor grande de plástico
* 6 x Contenedores pequeños de plástico
* 1kg de cubos de hielo

# Presupuesto

Tabla3.2: Presupuesto

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **N°** | **CANTIDAD** | **COMPONENTE** | **PRECIO** |
|
| 1 | 1 | Sensor de monóxido de carbono MQ7 | S/. 20.00 |
| 2 | 2 | Sensor de temperatura LM35 | S/. 10.00 |
| 4 | 1 | Sensor de distancia HC-SR04 | S/. 8.00 |
| 5 | 1 | Sensor de luz digital BH1750 | S/. 20.00 |
| 6 | 1 | Bomba de aire | S/. 35.00 |
| 7 | 1 | Bomba de agua sumergible | S/. 30.00 |
| 8 | 1 | Bomba de agua | S/. 15.00 |
| 9 | 1 | Humidificador ultrasónico | S/. 40.00 |
| 11 | 2 | Cinta Led GROW (metro) APA102: | S/. 36.00 |
| 12 | 1 | Módulo Relay 2CH 5VDC | S/. 12.00 |
| 13 | 1 | Módulo Relay 4CH 5VDC | S/. 25.00 |
| 14 | 1 | Driver Mosfet IRF520 | S/. 6.00 |
| 15 | 1 | Driver Puente H L298N | S/. 15.00 |
| 16 | 2 | Brushless Fan | S/. 100.00 |
| 17 | 1 | Destornillador estrella | S/. 10.00 |
| 18 | 1 | Laptop personal | - |
| 19 | 1 | Fuente 24V DC | S/. 20.00 |
| 20 | 1 | Fuente 12V DC | S/. 20.00 |
| 21 | 1 | Fuente 5V DC | S/. 20.00 |
| 22 | 1 | Fuente 3V DC | S/. 20.00 |
| 23 | 20 | Cable Dupont macho a macho 20cm | S/. 5.00 |
| 24 | 20 | Cable Dupont hembra a macho 20cm | S/. 5.00 |
| 25 | 6 | Papel Aluminio (metro cuadrado) | S/. 15.00 |
| 26 | 12 | Perfiles aluminio | S/. 20.00 |
| 27 | 1 | Contenedor grande de plástico | S/. 20.00 |
| 28 | 6 | Contenedores pequeños de plástico | S/. 20.00 |
| 29 | 1kg | Cubos de hielo | S/. 2.00 |

# Financiamiento

## Autofinanciamiento.

# Cronograma de ejecución

Tabla3.3: Cronograma



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

# Muhammad Ikhwan y Norashikin M. Thamrin (2018). 2017 International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering (ICEESE). Kanazawa: IEEE.

# Kurt Benke and Bruce Tomkins (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. United Kingdom: Informa UK Limited.

# Yap Shien Chin y Lukman Audah (2017). Vertical farming monitoring system using the internet of things (IoT), Malaysia: Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.

# Deepak Vasisht, Zerina Kapetanovic, Jongho Won, Xinxin Jin, Ranveer Chandra, Ashish Kapoor, Sudipta N. Sinhaand Madhusudhan Sudarshan, Sean Stratman (2017).

# Proceedings of the 14th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI ’17).

# Dionysios Touliatos, Ian C. Dodd y Martin McAinsh (2016). Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics, UK: he Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaste.

# Malek Al-Chalabi (2015). Vertical farming: Skyscraper sustainability?, United Kingdom: Elsevier.