**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

****

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

**TESIS**

**PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO MECATRÓNICO**

**Autor:**

**Pereyra Gonzáles, Irvin Jair**

**Asesor:**

**Ing. León Lescano, Edward Javier**

**Trujillo - Perú**

**2018**

**Contenido**

[DEDICATORIA 3](#_Toc517797343)

[AGRADECIMIENTO 4](#_Toc517797344)

[RESUMEN 5](#_Toc517797345)

[ABSTRACT 6](#_Toc517797346)

[1. INTRODUCCIÓN 7](#_Toc517797347)

[1.1. Realidad problemática 7](#_Toc517797348)

[1.2. Formulación del problema 8](#_Toc517797349)

[1.3. Justificación del estudio 8](#_Toc517797350)

[1.4. Antecedentes 9](#_Toc517797351)

[1.5. Objetivos 10](#_Toc517797352)

[1.5.1. General 10](#_Toc517797353)

[1.5.2. Específicos 10](#_Toc517797354)

[1.6. Marco teórico 11](#_Toc517797355)

[1.7. Marco conceptual 29](#_Toc517797356)

[2. MARCO METODOLÓGICO 31](#_Toc517797357)

[2.1. Hipótesis 31](#_Toc517797358)

[2.2. Variables 31](#_Toc517797359)

[2.2.1. Variables independientes 31](#_Toc517797360)

[2.2.2. Variables dependientes 31](#_Toc517797361)

[2.3. Metodología 37](#_Toc517797362)

[2.3.1. Tipo de estudio 37](#_Toc517797363)

[2.3.2. Diseño 37](#_Toc517797364)

[2.4. Población y muestra 37](#_Toc517797365)

[2.4.1. Población 37](#_Toc517797366)

[2.4.2. Muestra 37](#_Toc517797367)

[2.4.3. Método de investigación 37](#_Toc517797368)

[2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 37](#_Toc517797369)

[2.5.1. Técnicas 37](#_Toc517797370)

[2.5.2. Instrumentos 37](#_Toc517797371)

[2.6. Métodos de análisis de datos 37](#_Toc517797372)

[3. DESARROLLO Y RESULTADOS 37](#_Toc517797373)

[4. DISCUCIÓN 37](#_Toc517797374)

[5. CONCLUSIONES 37](#_Toc517797375)

[6. SUGERENCIAS 37](#_Toc517797376)

[7. BIBLIOGRAFÍA 37](#_Toc517797377)

[8. ANEXOS 37](#_Toc517797378)

# **DEDICATORIA**

# **AGRADECIMIENTO**

# **RESUMEN**

# **ABSTRACT**

# **CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN**

## **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 Controlado desde ahora, para implementarlos e ir mejorando los procesos de cultivo actualmente utilizados en nuestro país.

## **Formulación del problema**

## ¿Cómo determinar mejores condiciones climáticas en sistemas domésticos de cultivo agrícola de ambiente controlado?

## **Justificación del estudio**

### **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**

### **General**

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

### **Específicos**

* Seleccionar los componentes tecnológicos y diseñar el sistema doméstico que permita medir y manipular parámetros ambientales importantes para la producción de un cultivo agrícola.
* Describir los valores actuales de los parámetros ambientales de un cultivo agrícola.
* Indicar los valores deseados para los parámetros ambientales de un cultivo agrícola.
* Relacionar los valores deseados con los valores actuales.
* Analizar los valores medidos para hallar datos que optimicen el cultivo agrícola.
* Relacionar los valores optimizados con los valores deseados.

## **Marco teórico**

## **Marco conceptual**

# **CAPÍTULO II - MARCO METODOLÓGICO**

## **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.

## **Variables**

### **Variables 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 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 |

## **Metodología**

### **Tipo de estudio**

# Aplicado y exploratorio

### **Diseño**

# Experimental puro.

## **Población y muestra**

### **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).

### **Método de investigación**

# Método heurístico y experimental.

## **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **Técnicas**

# Medición de valores proveniente de sensores.

# Revisión de bibliografía especializada para obtención de rangos recomendados para las condiciones climáticas en distintos cultivos agrícolas.

### **Instrumentos**

# Entorno Node.js.

# Software de muestreo y adquisición de datos de elaboración propia.

# Plataforma Arduino.

# Firmware firmata para Arduino.

# Actuadores.

# Sensores.

# Multímetro.

### **Métodos de análisis de datos**

# Aplicación de filtros digitales sobre los datos provenientes de los sensores para la estimación y validación de los modelos de planta respectivos.

# Selección de valores preliminares a partir de valores aleatorios dentro de los rangos recomendados.

# Utilización de los rangos recomendados en el diseño de un algoritmo genético y visión artificial que permita encontrar valores climáticos más beneficiosos para los cultivos agrícolas.

# **CAPÍTULO III - DESARROLLO Y RESULTADOS**

## **Selección de componentes tecnológicos y diseño de un prototipo de una Personal Food Computer (PFC) como sistema doméstico de cultivo agrícola.**

La revisión de bibliografía especializada permite determinar las siguientes características de trabajo para el sistema:

|  |  |
| --- | --- |
| **CARACTERÍSTICA** | **ESPECIFICACIONES** |
| Humedad relativa | 30 - 90 % |
| Dióxido de carbono | 350 - 1000 ppm |
| Luz | * **Intensidad** 0 - 20 mol/m2-day * **longitudes de onda** 600 a 680 nm (rojo) 380 a 480 nm (azul) |
| Solución nutritiva | * **Mantener** Distribución uniforme Oxigenación * **Conductividad eléctrica** 1.0 - 2.5 dS/m * **Temperatura** 15.5 – 23 °C * **pH** 5.5 - 7.0 |
| Aire | * **Mantener** Distribución uniforme Oxigenación * **Temperatura** 15 – 27 °C |

### **Componentes tecnológicos del software**

El conjunto de elementos listados a continuación se tomó de un universo de alternativas disponibles en internet; sin embargo, serán evaluados por distintos indicadores, cuya finalidad es evaluar la necesidad de su uso en el prototipo para alcanzar el objetivo de este trabajo:

### **Componentes tecnológicos del hardware**

El conjunto de elementos listados a continuación se tomó de un universo de alternativas ofertadas en el mercado peruano; sin embargo, serán evaluados por distintos indicadores, cuya finalidad es evaluar la necesidad de su uso en el prototipo para alcanzar el objetivo de este trabajo:

### **Software del prototipo de la PFC**

### **Hardware del prototipo de la PFC**

## **Descripción de valores actuales de los parámetros ambientales de un cultivo agrícola.**

## **Indicación de los valores deseados para los parámetros ambientales de un cultivo agrícola.**

## **Relación de los valores deseados con los valores actuales.**

## **Análisis de los valores medidos para hallar datos que optimicen el cultivo agrícola.**

## **Relación de los valores optimizados con los valores deseados.**

# **CAPÍTULO IV – DISCUCIÓN**

## **Selección de componentes tecnológicos y diseño del sistema doméstico de cultivo agrícola.**

## **Descripción de valores actuales de los parámetros ambientales de un cultivo agrícola.**

## **Indicación de los valores deseados para los parámetros ambientales de un cultivo agrícola.**

## **Relación de los valores deseados con los valores actuales.**

## **Análisis de los valores medidos para hallar datos que optimicen el cultivo agrícola.**

## **Relación de los valores optimizados con los valores deseados.**

# **CAPÍTULO V – CONCLUSIONES**

## **Selección de componentes tecnológicos y diseño del sistema doméstico de cultivo agrícola.**

## **Descripción de valores actuales de los parámetros ambientales de un cultivo agrícola.**

## **Indicación de los valores deseados para los parámetros ambientales de un cultivo agrícola.**

## **Relación de los valores deseados con los valores actuales.**

## **Análisis de los valores medidos para hallar datos que optimicen el cultivo agrícola.**

## **Relación de los valores optimizados con los valores deseados.**

# **CAPÍTULO VI - SUGERENCIAS**

# **CAPÍTULO VII - BIBLIOGRAFÍA**

# **CAPÍTULO VIII - ANEXOS**