

23 DE DICIEMBRE DE 2022



SISTEMA DE CONTROL PARA INVERNADERO PREDICTIVO CON FINES EN INVESTIGACIÓN DE CULTIVOS EN ESCENARIOS FUTUROS

LUIS E. NEIRA ROPERO
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona



SISTEMA DE CONTROL PARA INVERNADERO PREDICTIVO

LUIS ERNESTO NEIRA ROPERO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
MAESTRÍA EN CONTROLES INDUSTRIALES
PAMPLONA
2022



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



SISTEMA DE CONTROL PARA INVERNADERO PREDICTIVO

LUIS ERNESTO NEIRA ROPERO

TESIS
para optar por el título de
MASTER EN CONTROLES INDUSTRIALES

Director de tesis
ALDO PARDO PARCIA
PhD Electrónica

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
MAESTRÍA EN CONTROLES INDUSTRIALES
PAMPLONA
2022



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Nota de Aceptación

Aldo Pardo García

Jurado

Jurado

Jurado

Pamplona, 23 diciembre del 2022





Escribe aquí tu dedicatoria



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



AGRADECIMIENTOS



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



1. Tabla de contenido

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 OBJETIVO GENERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. JUSTIFICACIÓN	14
4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	14
4.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	14
4.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	15
5. DELIMITACIÓN.....	16
5.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL	16
5.2 DELIMITACIÓN TEMÁTICA.....	17
5.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL	17
6. MARCO DE REFERENCIA	18
6.1 ESTADO DEL ARTE	18
6.2 MARCO TEÓRICO.....	21
6.2.1 Invernadero.....	21
6.2.2 Tipos de invernadero.....	22
6.2.3 Sistemas de control.....	26
6.2.4 Selección del tipo de control.....	27
6.2.5 Variables dentro del invernadero.....	29
6.2.6 Controladores	35
6.2.7 Instrumentación.....	37
6.2.8 Elementos finales de control	41
6.2.9 Cableado.....	43
6.2.10 Python.....	44
6.3 MARCO CONTEXTUAL.....	50



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



6.4	MARCO LEGAL	50
7.	METODOLOGÍA	54
7.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	54
7.2	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	54
7.3	FUENTES DE INFORMACIÓN	54
7.3.1	FUENTES PRIMARIAS.....	54
7.3.2	FUENTES SECUNDARIAS.....	54
7.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	54
7.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	55
7.6	MUESTREO.....	56
8.	LABOR DE CAMPO	59
9.	SISTEMATIZACIÓN O PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	71
9.1	Dióxido de carbono (CO ₂).....	72
9.2	Temperatura, Humedad y CO ₂	72
10.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	77
11.	CONCLUSIONES	78
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	79





TABLA DE ILUSTRACIONES

Imagen 1 Ubicación con referencia GPS	16
Imagen 2 Diseño general del invernadero	17
Imagen 3 Esquema general de un invernadero, (comportamiento energético de invernaderos agrícolas en el estado de chihuahua, mediante simulación dinámica en trnsys y análisis paramétrico)	21
Imagen 4 invernadero tipo capilla (sistemasderiegosv)	23
Imagen 5 Invernadero tipo capilla modificada (sistemasderiegosv)	23
Imagen 6 Invernadero tipo túnel	24
Imagen 7 Invernadero tipo diente de sierra (webnode).....	25
Imagen 8 invernadero tipo techumbre curva.....	25
Imagen 9 invernadero tipo holandés (agropinos).....	26
Imagen 10 Sistema de lazo cerrado (tecnologiagama)	27
Imagen 11 Control PID Clásico	29
Imagen 12 Generación de CO2 (https://datacommons.org/).....	30
Imagen 13 Gráfica del emisiones de CO2 (Toneladas) PER Capita en Colombia	31
Imagen 14 Emisiones de CO2 totales Mt	32
Imagen 15 Espectro de radiación solar	35
Imagen 16 PLC Siemens S7-1200 (wiautomation)	36
Imagen 17 Controlador Arduino uno (linio)	37
Imagen 18 Sensor de Caudal (ferretrónica).....	37
Imagen 19 Electroválvula (ferretrónica)	38
Imagen 20 Sensor de temperatura y humedad RK330-2 (didacticaselectronica).....	39
Imagen 21 Sensor de temperatura y humedad RK330-1(didacticaselectronica).....	39
Imagen 22 Sensor de CO2 Infrarrojo.....	40
Imagen 23 Válvula de 4 vías o inversora (aliexpress).....	42
Imagen 24 esquema del funcionamiento de la válvula inversora	42
Imagen 25 Generador de CO2 a partir de gas propano.....	43



Imagen 26 Cables y alambres (cablesyconductores) 44

Imagen 27 Lenguajes de programación más usados en el mundo (freelancermap) 46

Imagen 28 Algunas librerías de Python (universidad de Alicante) 46

Imagen 29 Neurona Vs perceptron (futurelab)..... 47

Imagen 30 Perceptron (grupoUS)..... 48

Imagen 31 Perceptron Neuronal multilayer..... 49

Imagen 32 Regresión lineal en Python (iartificial))..... 49

Imagen 33 Temperatura Pamplona 2021 (es.climate-data.org) 57

Imagen 34 Humedad Pamplona 2021 (es.climate-data.org)..... 58

Imagen 35 Comportamiento de CO2 en Colombia 1990-219 (bancomundial) 58

Imagen 36 Adecuación del terreno 1 59

Imagen 37 Adecuación del terreno 60

Imagen 38 Vertimiento de concreto 60

Imagen 39 Terminación de los pisos y andenes y/o desagües 61

Imagen 40 Encerramiento en malla 61

Imagen 41 Instalación de cubierta 1 62

Imagen 42 Instalación de cubierta 2 62

Imagen 43 Ampliación de la entrada al invernadero sellado 63

Imagen 44 Vista lateral izquierda del invernadero 63

Imagen 45 Vista lateral derecha del invernadero..... 64

Imagen 46 Aire acondicionado 9000 BTU 64

Imagen 47 Acondicionamiento de la válvula inversora 65

Imagen 48 Construcción de caparazón y soporte del generador de CO2 66

Imagen 49 Vista frontal e interna del generador de CO2 67

Imagen 50 Sistema de riego hibrido 68

Imagen 51 Instalación del tablero de control y distribución 69

Imagen 52 Instalación eléctrica 70



Imagen 53 Distribución y dimensiones del invernadero 71

Imagen 54 Regresión lineal 72

Imagen 55 Gráfica grafica de la temperatura y humedad (datos) 75

Imagen 56 Regresión Lineal con el CO2 76

Imagen 57 Predicciones hasta el año 2035 76

Imagen 58 Imagen principal del sistema de monitoreo 77

Imagen 59 Monitoreo de Variables analógicas 77



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de temperatura adecuada para diferentes cultivos considerados.....	30
Tabla 2 Tabla de clasificación de emisiones de CO2	31
Tabla 3 Histograma de generación de CO2 en Colombia.....	32
Tabla 4 Parámetros de selección del sensor RK330-1 y RK330-2	40
Tabla 5 Operaciones con temperatura, humedad y CO2.....	55
Tabla 6 tabla climática de pamplona (enero-junio)	56
Tabla 7 tabla climática de pamplona (Julio-diciembre 2021)	57



2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Informe especial del IPCC¹ sobre los efectos de 1,5 °C de calentamiento global en comparación con los tiempos de la revolución industrial y ahora, las actuales revoluciones industriales; los gases de efecto invernadero globales, que los generan los diferentes sectores relacionados a la globalización, se deben monitorear y aunar los esfuerzos para fortalecer las respuestas a esta amenaza. (IPCC, 2019). El calentamiento global se refiere solo a la temperatura de la superficie, mientras que el cambio climático incluye el calentamiento y los "efectos secundarios" de ese calentamiento, como el derretimiento de los glaciares, lluvias más intensas o sequías. En otras palabras, el calentamiento global es un síntoma del problema mayor del cambio climático causado por el hombre. (Kennedy & Rebecca, 2018)

El mundo se enfrenta al desafío de un aumento sustancial de nuestra población y simultáneamente del consumo de alimentos, se puede esperar aún una mayor relevancia de la producción agrícola de la región, la agricultura que produce la mayoría de los alimentos que se consumen en la región tiene que luchar para mantenerse en pie (Escobar, 2016). Pabón y Zapata (2012)

Teniendo en cuenta lo anterior, lo que se nos aproxima y que ya se viene viendo, es una revolución en el sector agroindustrial, es por ello que se hace muy útil y necesario un sistema donde se pueda realizar simulación de cultivos en diferentes condiciones ambientales y poderlos comparar con otros para de esta manera estar prestos a los diferentes cambios climáticos que se presenten.

Es por ello que este tipo de proyectos hace que sean interdisciplinarios, por lo que involucra no solo un área si no varias, en este caso la parte de diseño estructural, la automatización, el estudio de comportamiento de las plantas, que le compete a los agrónomos, etc.

¹ <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el sistema de control para invernadero predictivo en la Universidad de Pamplona

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Diseño y construcción del invernadero
- ✓ Adquisición del histórico y proyección de las diferentes variables a utilizar en el Invernadero
- ✓ Programación de los diferentes escenarios futuros, conocimientos de las magnitudes y valores a mantener.
- ✓ Selección e implementación de los sensores de CO₂, temperatura, humedad y elementos finales de control.
- ✓ Validación del sistema



4. JUSTIFICACIÓN

4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El diseño y construcción de un invernadero que nos permita poder simular diferentes aspectos y condiciones ambientales, es muy importante, ya que estas varían según la especie, por lo que se puede ver afectado el cultivo de ciclo corto o ciclo largo, al no tolerar temperaturas bajas o altas durante períodos de tiempo y a su vez también la diversidad de plagas que se oponen al normal desarrollo y crecimiento del cultivo, lo que conlleva a la utilización de plaguicidas que van influir en la siembra

Un Smart Greenhouse es un sistema basado en la necesidad de monitorear de forma automática e incluso controlar las condiciones del invernadero. El parámetro de la condición ambiental es verificado por un experto agrícola, para que las medidas de control se puedan llevar a cabo correctamente con la ayuda de la información del estado del ambiente del invernadero en tiempo real. (Yu et al., 2022)

En estudios previos realizados por González et al. (2018) relatan como la producción agrícola por sus diversas transformaciones ambientales, culturales y sociales, demanda procesos de adaptabilidad de cultivos determinada por la zona agrícola, es así como en consecuencia se reorganizan los productos, procesos, mercado y la tecnología, del proceso de producción, y adaptabilidad ya que es un el ajuste en los sistemas naturales o humanos como respuesta a diferentes factores, entre ellos: Los cambios climáticos actuales o esperados, y sus impactos, que reduce el daño causado y que potencia las oportunidades benéficas.

La importancia de este proyecto en que se va a permitir realizar estudios de diferentes cultivos importante de diferentes zonas, y someterlos a cambios de concentraciones normales de CO₂ que se puede presentar a libre exposición en campo y bajo invernadero comparando con una concentración de CO₂ posible en los años futuros, y así adelantar el conocimiento de lo que puede ocurrir bajo esas condiciones. Se aprovechará este invernadero automatizado, con fines investigativos, que simula escenarios futuros.

Los resultados de este proyecto permitirán informar a los agricultores y decisores del posible comportamiento fenológico, fisiológico y productivo del cultivo que allí se siembre si se cumple la predicción del cambio climático y así tomar medidas de mitigación o adaptación a este fenómeno con relación a este cultivo de importancia para la región.

4.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La red de sensores que involucra el invernadero inteligente, permitirá obtener con mayor precisión los cambios ambientales dentro y fuera de él. Y de esta manera poder tener un mejor control de



los cultivos que se están realizando en este, ya que también cuenta con una pantalla para poder visualizar el comportamiento de las variables que se están midiendo y controlando.

Una opción que más adelante se implementara y que es uno de los mayores desafíos que se tiene, es aplicar el aprendizaje automático² (ML), en donde podemos preguntarnos cómo podemos ayudar. El ML describe como puede ser una herramienta poderosa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y ayudar a los cultivos a adaptarse a un clima cambiante.(Rolnick et al., 2023)

4.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Las afectaciones que ha ocasionado el cambio climático en la agricultura a nivel mundial, han llevado a realizar cambios tanto en la micropagación de semillas (Calidad y Genética de la semilla) como la fertilización(Tapia Coronado et al., 2021).

La cuarta revolución industrial avanza paulatinamente en el mundo. Todavía es pronto para medir sus efectos, pero ya está transformando la vida humana en todos los ámbitos. En esta revolución, basada en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), Internet es un factor que potencia la evolución de esta nueva era económica y social. Uno de los desarrollos que trae esta revolución es el Internet de las cosas (IoT), que hace que muchos procesos en diferentes sectores de la economía sean más eficientes y productivos. Por ejemplo, su implementación en el sector agrícola puede mejorar las condiciones de los empresarios rurales y aumentar su productividad(Perez Monsalve, 2019).

La implementación de la tecnología en la agricultura, un ejemplo claro, es un invernadero inteligente. El invernadero inteligente puede establecer las condiciones dentro del invernadero de forma automática para proporcionar el entorno óptimo para que crezcan las plantas que tendrían en el invernadero(Bonde et al., 2021).

Por ello se desarrolla un invernadero que este compuesto por dos cubículos, uno de ellos está totalmente aislado y en el cual se controlaran las variables de temperatura y CO₂, y adicionalmente, se monitorea la humedad que en determinado caso puede llegar a controlarse también. Por otro lado, tendremos otro espacio (cubículo) que permite realizar la misma siembra ya que cuenta con el mismo espacio y sensores, solo que este, está al ambiente natural únicamente cuenta con cubierta, con el fin de garantizar la misma radiación en los dos cultivos. Al terminar el ciclo de la siembra se puede realizar las diferentes comparaciones y de esta manera poder prevenir y mejorar cultivos entre otras ventajas.

² <https://www.hpe.com/lamerica/es/what-is/machine-learning.html>



5. DELIMITACIÓN

5.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL



Imagen 1 Ubicación con referencia GPS

El invernadero esta construido dentro de las instalaciones de la Universidad de Pamplona, sede Pamplona, Norte de Santander. Cuenta con un área construida de $15 m^2$ y 2.2 m de altura dando un volumen aproximado de $35m^3$,repartida como lo muestra la siguiente figura (fig. XX)

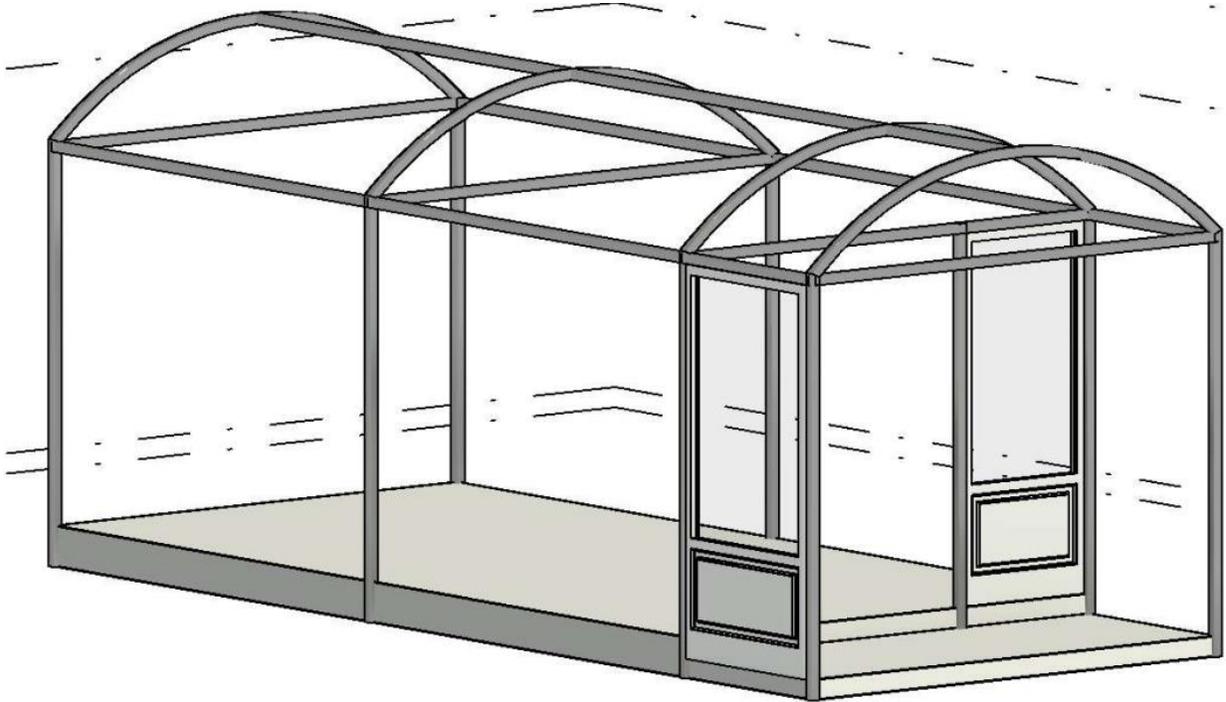


Imagen 2 Diseño general del invernadero

5.2 DELIMITACIÓN TEMÁTICA

Esta construcción está hecha con fines investigativos sobre el comportamiento de diferentes cultivos en ambientes distintos a los suyos o a ambientes futuros; ya que es su primera versión, solo cuenta con medición y control de 3 variables (CO₂, temperatura y humedad), y los controles se hacen de manera discreta. Para futuras actualizaciones (que ya están en desarrollo) se implementaran más variables y controles Analógicos, con el fin de obtener mejores resultados, y adicionalmente conectar todo el sistema a la nube (IIOT)

5.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Los periodos de estudio están sujetos a la especie de plantación que allí se siembre, puesto que encontramos de ciclo corto y ciclo largo, que pueden variar desde días, como el cilantro (20 días) o el maíz (4 meses) y así sucesivamente.



6. MARCO DE REFERENCIA

6.1 ESTADO DEL ARTE

La Organización Meteorológica Mundial., (2016) ha publicado un boletín anual, en el que advierte de un "aumento peligroso de la temperatura global". El año 2016, según esta agencia dependiente de la ONU, la concentración atmosférica de CO₂ alcanzó las 403,3 partes por millón (ppm), superando de nuevo la barrera de los 400 ppm, que se rebasó por primera vez en 2015, el año en el que se firmó el Acuerdo de París.

Bernstein et al. (2007) afirman que en la atmosfera las concentraciones de CO₂ han ido aumentando de aproximadamente 280 ppm a 402 ppm desde la era preindustrial hasta ahora (diciembre de 2015; www.co2now.org). La mayoría de los gases de efecto invernadero escenarios de emisión considerados por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) estiman que el CO₂ atmosférico seguirá aumentando al menos otros cien años.

La idea de aplicar automatización utilizando Internet de las cosas (IoT) en un entorno como el de invernaderos agrícolas a pequeña escala, convirtiéndolos en un invernadero inteligente. Deben ayudar a monitorear las condiciones ambientales en los invernaderos, administrar el riego de agua, recopilar imágenes con cámaras montadas y predecir enfermedades de las plantas utilizando conjuntos de datos de hojas recopilados. Esta investigación se centra en actividades de desarrollo destinadas a validar el diseño y la arquitectura del sistema propuesto para un adecuado monitoreo ambiental basado en Internet de las Cosas, la gestión del sistema de riego y un método eficaz para la detección de enfermedades de las hojas de las plantas. ambiente de invernadero(Khan et al., 2020).

El rápido cambio climático, la explosión demográfica y la disminución de las tierras de cultivo requieren nuevos enfoques para garantizar una agricultura sostenible y la seguridad alimentaria en el futuro. La agricultura de invernadero se considera una alternativa rentable y una solución sostenible que se puede utilizar para combatir la futura crisis alimentaria mediante el control del entorno local y la producción de cultivos durante todo el año, incluso en condiciones exteriores adversas. Sin embargo, las granjas de invernadero todavía tienen muchos desafíos para una operación y gestión eficientes. Es probable que las tecnologías emergentes de Internet de las cosas (IoT), que incluyen sensores inteligentes, dispositivos, topologías de red, análisis de big data y toma de decisiones inteligente, sean la solución a los desafíos clave en la agricultura de invernadero, como el control climático del invernadero local. , seguimiento del crecimiento de cultivos, cosecha, etc(Rayhana et al., 2020).



En México se realizó un invernadero inteligente que incluye las etapas de análisis, diseño e implementación que lo desarrolló el Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México, con el cual se busca plantear un piloto innovador que optimice la calidad y cantidad de las agriculturas hidropónicas de la región afrontando al mismo tiempo el desafío de la sustentabilidad. Su enfoque está basado en el progreso sustentable considerando un boceto que integra métodos confiables, sencillos, eficaces, ecológicos y de bajo precio con el propósito de alcanzar la automatización y control del microambiente en soporte de las tareas diarias del agricultor. La aplicación de técnicas de control mediante lógica difusa ayuda al cobertizo a regular las variables ambientales para crear un microclima que garantiza el óptimo desarrollo del cultivo (Cepeda, P. et al., 2010).

La cuarta revolución industrial prospera gradualmente en el mundo. Todavía es exagerado pronto para calcular su impacto, pero ya está cambiando la vida humana en todos los ámbitos. En esta revolución basada en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), Internet es un factor que impulsa el desarrollo de esta nueva era económica y social. Un desarrollo de esta revolución es el Internet de las cosas (IoT), que hace que varios métodos en varios sectores económicos sean más eficaces y lucrativos. Su aplicación en, por ejemplo, el sector agrícola puede mejorar las condiciones de los empresarios rurales y aumentar su productividad (Perez Monsalve, 2019).

La agricultura es una de las actividades productivas más importantes del mundo, garantiza la seguridad alimentaria de los habitantes del planeta y proporciona alimentos a 65 personas pobres en todo el mundo. Para 2050, la población mundial disminuirá entre un 20 y un 30 % y la producción agrícola aumentará un 60 %. A pesar de los beneficios que ofrece la agricultura para el desarrollo socioeconómico, su práctica tradicional ha causado serios impactos ambientales en los servicios ecosistémicos proporcionados por el agua, el suelo y el aire, incluyendo el uso excesivo del agua, la eutrofización de las cargas distribuidas y la introducción de nuevos servicios. Se destacan los contaminantes que ingresan al ambiente: cadena hídrica y alimentaria, erosión del suelo, deforestación y gases de efecto invernadero. Sin embargo, la agricultura seguirá siendo la principal actividad para el bienestar y el desarrollo socioeconómico en todo el mundo, por lo que se necesita un cambio de paradigma hacia una agricultura sostenible, que asegure la seguridad alimentaria y financiera del mundo y mitigue significativamente los efectos ecológicos causados por la economía tradicional. Agricultura. Este artículo de revisión describe aspectos clave de la agricultura orgánica, la agricultura climáticamente inteligente, la agricultura urbana y la agricultura de precisión que ya se implementan en Colombia como opciones sostenibles que permiten armonizar el desarrollo socioeconómico agrícola, la protección de los ecosistemas y la biodiversidad a nivel mundial. alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible en 2030 (Salas, W., Grueso, S., & Bernal, 2020).



Un estudio realizado por Santamaría et al. (2019) en Cundinamarca documentan nuevos elementos conceptuales y metodológicos, para producir arveja *Pisum sativum* L. con la tecnología de fertilización orgánica, es decir, fertilizantes de origen natural que suplen las necesidades nutricionales de las plantas, del mismo modo que lo haría un fertilizante de origen sintético. Fueron evaluados dos fertilizantes orgánicos en presentación líquida: Condor Ram y Fertigran con dosis de aplicación de 250 cc/20Lt y 3 cc/Lt respectivamente. El interés del presente experimento se centró en evaluar los rendimientos en producción del número de hojas y altura de los tallos en centímetros a los 30 y 60 dds (días después de la siembra) y los rendimientos - Kg- en grano verde más vaina, con el uso de Condor Ram, Fertigran, el fertilizante compuesto mineral 10 30 10 y sus mezclas, para comparar los desempeños de producción, en la variedad Santa Isabel. Los resultados evidenciaron que la mayor producción de arveja verde en vaina se obtuvo con el uso del fertilizante orgánico líquido Fertigran en tres etapas fenológicas del cultivo, comparativamente con la fertilización convencional.

Los invernaderos de investigación en las instituciones educativas han surgido con la necesidad de aportar en gran medida a la agricultura futura, a la mano con diseños de control del espectro de luz en el desarrollo de los cultivos en estos entornos. Los diferentes métodos utilizados en la iluminación de invernaderos van a influir en la agricultura protegida y estas técnicas (Villar, 2016).

El control y supervisión automática de las variables ambientales temperatura, humedad, intensidad lumínica más representativas en los cultivos de las plantas que se dan en los invernaderos de esta región como lo es el cultivo de ciclo corto C3 al cual pertenece el tomate, van a conservar a las plantas en óptimo estado, El control de las variables aportan grandes beneficios que se reflejan en los niveles de producción, cosechas más a tiempo y no pérdida de productividad y por ende pérdidas económicas. La implementación de las tecnologías, control y supervisión a los cultivos facilita el monitoreo en este caso del tomate en invernadero, para así tomar a tiempo medidas frente a los cambios climatológicos (Perez, Giordy, 2018)

La utilización de los invernaderos surge a raíz de los cambios climáticos los cuales van a proteger de una manera efectiva los cultivos dentro de ellos, en donde se encontrarán ambientes adecuados que contribuirán al desarrollo de los cultivos. Es así como se crea un sistema de control correcto de las variables ambientales como temperatura, luz en el entorno cerrado del invernadero, que crearán modelos de clima que ayudarán a un mejor desarrollo de las plantas y por ende a una mejor producción (Rojas, Cortes, 2017).



6.2 MARCO TEÓRICO

Teniendo en cuenta que el proyecto se dividió en dos partes, la de diseño y construcción y seguidamente la de simulación o validación de la información, el marco teórico se empieza con la parte constructiva, controladores elementos finales de control, para terminar con lo concerniente a los métodos que se usaron para manipular la información, como lo son las regresiones lineales y redes neuronales aplicadas desde Python.

6.2.1 Invernadero

Para entrar en contexto, entendemos como invernadero a un lugar cerrado, el cual permite la siembra de cultivos con cierto nivel de control, este puede permitir la germinación, propagación y su producción como tal del cultivo; normalmente se encuentran con diferentes tipos de cubierta entre las más usadas están las de vidrio o de polipropileno, plástico, etc. Esto para permitir el control de temperatura, humedad o otros factores según lo requiera el cultivo.

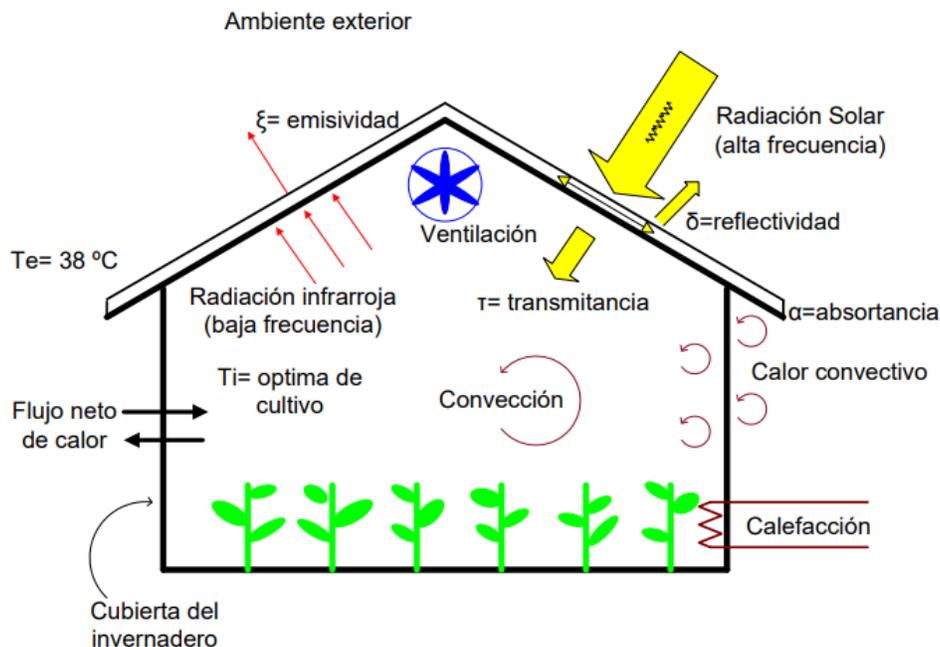


Imagen 3 Esquema general de un invernadero, (comportamiento energético de invernaderos agrícolas en el estado de chihuahua, mediante simulación dinámica en trnsys y análisis paramétrico)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



6.2.1.1.1 Microclima

Los microclimas son factores y procesos atmosféricos que interactúan en un entorno pequeño, tales factores pueden ser humedad, temperatura, topografía, altitud, etc.

El microclima del invernadero describe cuantitativamente los procesos de transferencia de masa y energía, los procesos de intercambio entre los elementos del aire, plantas, otras superficies, y como las plantas responden a los factores del medio ambiente (Teitel M. et. al., 2009)

Si la temperatura exterior es mayor que la interior resulta una ganancia de calor en el invernadero, si ocurre lo contrario se genera una pérdida de calor. (Abdel-Ghana A., 2006). Dependiendo de la dirección de flujo neto de calor (radiativo, convectivo, conductivo e infiltración) se necesitan sistemas de enfriamiento y de calefacción para mantener la temperatura óptima del cultivo y que la planta logre desarrollarse al máximo. El microclima de un invernadero puede estar afectado por: la orientación del invernadero, latitud, zona del invernadero, área de superficie, área de envolvente, diseño estructural (tamaño y forma) y las propiedades de los materiales utilizados para su construcción. (Bartazanas 2005)

6.2.2 Tipos de invernadero

Asegurando el adecuado material de construcción y su cubierta de protección final se puede determinar la forma del invernadero a desarrollar. Existen diferentes configuraciones que hacen que se puedan cambiar muchas de las variables de interés cuando se tiene un determinado cultivo como lo son la humedad relativa del aire, temperatura interior, intensidad de luz, cantidad de riego suministrado, ventilación, entre otras. Para todo esto se pueden identificar de esta manera:



6.2.2.1.1 Tipo capilla: son estructuras con ángulos en forma de triángulo en su altura máxima se asemeja a una capilla antigua. [3] Las características son muy parecidas a la estructura tipo túnel en cuanto a su entrada de luz solar.



Imagen 4 invernadero tipo capilla (sistemasderiegov)

6.2.2.1.2 Capilla modificada: son estructuras que suponen una semejanza adecuada a la de una capilla antigua y reducida. Es adecuado para lugares con poco espacio como el jardín de un hogar y para cosechas de cantidad reducida.



Imagen 5 Invernadero tipo capilla modificada (sistemasderiegov)



6.2.2.1.3 Invernadero tipo túnel: como su nombre lo indica tiene forma de túnel, más largo que ancho principalmente también variando su altura de acuerdo con la necesidad y espacio. [3] Sus ventajas son la gran facilidad de instalación por su curvatura elevada, su alta transmisión de radiación solar al ingresar al invernadero y que son idóneos para la instalación de materiales tanto flexibles como rígidos. Este tipo de invernadero tiene una desventaja y es entre más volumen de aire se tenga menos cantidad de calor puede tener en dicho espacio.



Imagen 6 Invernadero tipo túnel

6.2.2.1.4 *El tipo diente de sierra:*

ideal para los lugares donde la baja precipitación de lluvias, velocidades bajas de viento y altos niveles de luz solar son los adecuados para este tipo de estructuras. [3] Es una variación especial entre la estructura de capilla y la de túnel, agregándole un espacio en el cual ingresa una cantidad moderada de aire denominada zona cenital.



Imagen 7 Invernadero tipo diente de sierra (webnode)

6.2.2.1.5 Invernadero tipo techumbre curva: son los más aplicados para gran cantidad de cultivos y su numerosa cantidad de cosechas. [3] Su construcción se basa en materiales metálicos por su rigidez y de gran similitud a los de forma de túnel, pero con la diferencia que se construyen de forma adyacente.



Imagen 8 invernadero tipo techumbre curva



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



6.2.2.1.6 La estructura tipo holandés: se caracterizan por su protección rígida, en su mayoría vidrio. Su construcción esta adecuada para soportar climas extremadamente fríos (nieve) o lluvioso. Consta de canales entre las secciones de vidrio que hace que facilite el recorrido del agua lluvia o el derretimiento de la nieve. Es diseñado para que no exista ningún tipo de ventilación frente a las temperaturas bajas de la intemperie. [3] Posee una gran ventaja y es el comportamiento térmico que posee y el alto grado de control de las variables ambientales por el material utilizado para su protección.



Imagen 9 invernadero tipo holandés (agropinos)

6.2.3 Sistemas de control

Son sistemas que permiten variar de forma controlada una variable de interés, que puede ser un sistema físico, matemático, donde se pueda ingresar entradas y obtener salidas. Cuando se habla de un sistema de control, se habla de una interconexión de componentes, esto significa que se tiene un sistema que a la vez tiene pequeños subsistemas predeterminados que proveen una respuesta deseada a una entrada determinada. [3]

6.2.3.1.1 Sistema de lazo abierto

En los sistemas de lazo abierto, el controlador se coloca en serie con el proceso, esto con el fin de manejarlo adecuadamente e intentar llevarlo a la zona de operación deseada, pero con la necesidad de censarlo en el estado actual de las variables. [3] Es decir, son sistemas en los cuales no podemos hacer comparaciones con la entrada de referencia o set point, así a cada valor de entrada le corresponde un valor de operación fija en su salida. Como ventaja son sistemas de control sencillos, económicos y su facilidad de implementación, pero con la



desventaja que no corrigen las alteraciones que puede presentar la planta, ni tampoco las perturbaciones externas que ingresan a ella.

6.2.3.1.2 Sistema de lazo cerrado

Estos sistemas de control son denominados sistemas con retroalimentación o Feedback . En los sistemas de control retroalimentados o lazo cerrado, se suministra al controlador con la señal del error (diferencia entre señal de salida y señal referencia), que puede ser la misma señal de salida, todo esto con el fin de reducir el error. En este modelo se puede colocar un medidor de la variable a registrar, que realimente el sistema hacia el controlador y conserve de esa forma la variable en su valor requerido. Este valor se conoce como el Setpoint. [3]

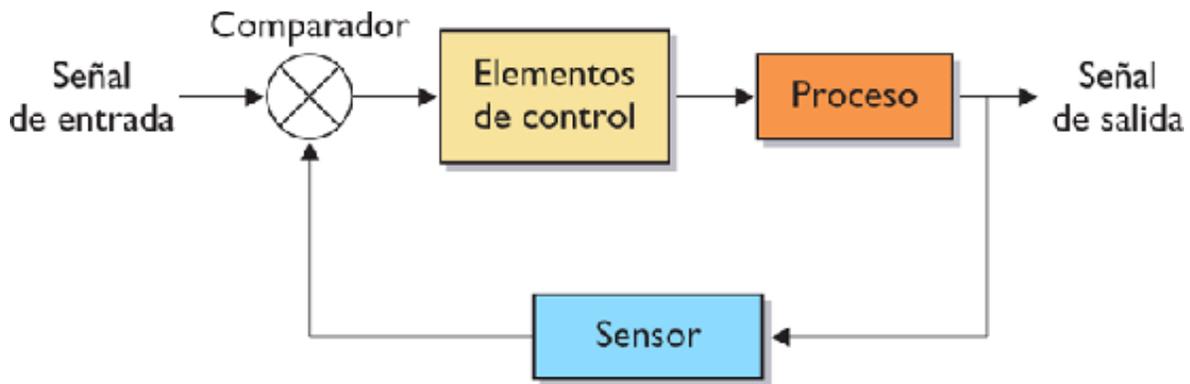


Imagen 10 Sistema de lazo cerrado (tecnologiagama)

6.2.4 Selección del tipo de control

6.2.4.1.1 Control on-off

Funciona con los dos únicos elementos de actuación. Tanto su funcionamiento como su construcción es fácil y rentable hablando de costos, por esta razón es muy utilizado en la industria y dependiendo del proceso. [3]

- ✓ Ventajas: Tipo de control sencillo, económico con fácil instalación y poco mantenimiento.
- ✓ Desventajas: Actuadores con mucho deterioro y no tienen mucha fidelidad.

6.2.4.1.2 Control Proporcional

Consiste en amplificar la señal del error mucho antes de ejecutarla el proceso. El aumento de la ganancia proporcional aumenta su velocidad y hace que disminuya la señal de error.

- ✓ Ventajas: Responde rápido y por ende proporciona una buena estabilidad.
- ✓ Desventajas: Controlador sensible al ruido y puede generar oscilaciones en la salida.



6.2.4.1.3 Control Integral

Su función principal es disminuir y tender a eliminar el error en estado estable debido al modo proporcional. [3] Pero generan oscilaciones en el sistema que hace que el sistema se ralenticé.

- ✓ Ventaja: Elimina el error en estado estable.
- ✓ Desventaja: Se muestra una respuesta en ocasiones lenta y oscilatoria.

6.2.4.1.4 Control Derivativo

Este control permite mantener el error lo más cercano a cero, corrigiéndolo a la velocidad semejante con la que se produce este error agregándole un amortiguamiento al sistema.

- ✓ Ventaja: Pronostica el valor del error del estado.
- ✓ Desventaja: En presencia del ruido es poco útil implementarlo.

6.2.4.1.5 Control Proporcional, Integral y derivative

Este sistema combina las ventajas de los controles P, I y D; aumentando la velocidad de respuesta, su precisión y la estabilidad, llegando a ser un sistema de control de ajuste y predicción automático. [3]

En la figura (3) observamos una señal de referencia $r(t)$ la cual nos muestra la situación que se desea alcanzar en la salida del sistema $y(t)$. En un sistema de control, la referencia $r(t)$ será la variable deseada y la salida $y(t)$ será la variable real del sistema controlado.

El gráfico nos muestra la entrada al controlador PID, es la señal $e(t)$ conocida como señal de error, la cual indica al controlador la desigualdad que existe entre la señal de referencia $r(t)$ o señal deseada y la señal existente del sistema medido por el sensor, señal $h(t)$. Si $e(t)$ es grande, quiere decir que el estado del sistema se halla lejos del estado de referencia deseado $r(t)$. Ahora bien, si $e(t)$ es pequeño, quiere decir que se ha alcanzado el estado deseado en el sistema.

- ✓ Ventaja: Los controles PID tienen incorporadas todas las ventajas de cada una de las tres acciones de control que la conforman.
- ✓ Desventaja: En algunos casos pueden llevar al sistema a oscilar.

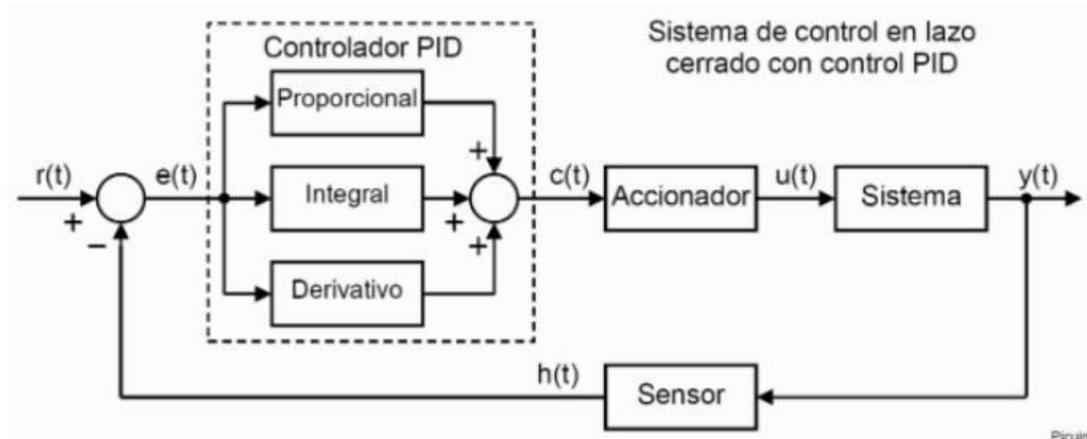


Imagen 11 Control PID Clásico

6.2.5 Variables dentro del invernadero

6.2.5.1.1 Temperatura

La temperatura es la variable más importante a tener en cuenta, ya que es la que mayor influencia tiene en el crecimiento y maduración de las plantas. La temperatura del aire que debe mantenerse dentro del invernadero depende del tipo de cultivo que se desarrolla en su interior, del nivel de confort deseado, y su estado de crecimiento (Tabla 1).

Para entender mejor el manejo de la temperatura respecto a los cultivos en un invernadero es necesario aclarar los siguientes conceptos:

- Temperatura mínima letal: Es aquella por debajo de la cual se producen daños severos a las plantas.
- Temperatura mínima y máxima biológica: indican los valores por debajo o por encima respectivamente del cual, no es posible alcanzar una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.
- Temperatura óptima: es la temperatura a la cual la planta obtiene un correcto desarrollo.

En un cultivo de pimientos, un exceso de temperatura puede producir esterilidad del polen, mala fecundación, y frutos deformes; una planta que ha crecido en condiciones de estrés (por poca iluminación o elevada temperatura, por ejemplo, será más sensible a plagas y enfermedades debido a sus paredes más finas y debilitamiento general (Davies, P., 2005)



Tabla 1 Valores de temperatura adecuada para diferentes cultivos considerados

Especie	Temperatura mínima Letal	Temperatura mínima biológica	Temperatura óptima		Temperatura máxima biológica
			Noche	Día	
Tomate	-2 a 0	8-10	13-16	22-26	26-30
Pepino	0	10-13	18-20	24-28	28-32
Melón	0	12-14	18-21	24-30	30-34
Pimiento	-2 a 0	10-12	16-18	22-28	28-32

6.2.5.1.2 Dióxido de carbono (CO₂)

Teniendo en cuenta que este es una de las principales variables que componen o hacen parte del invernadero, hay que tener en cuenta que al aumentar el porcentaje de CO₂ en el invernadero, este va a generar mayor actividad de fotosintética, lo que implica un mayor rendimiento y producción, se calcula entre el 15% al 25%.

En la siguiente imagen y tabla posterior, se observa la generación de algunos países latinoamericanos y otros países vecinos.

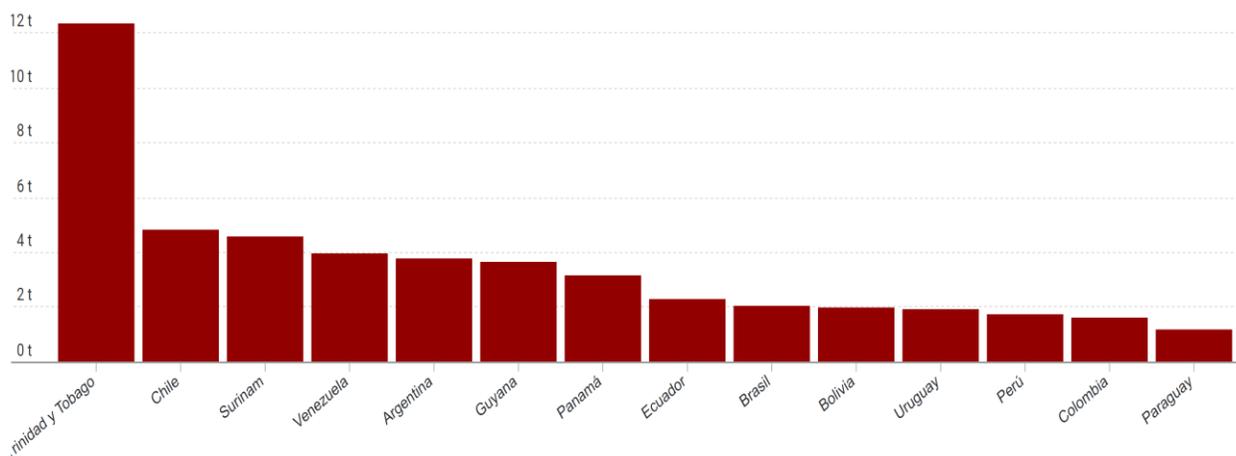


Imagen 12 Generación de CO₂ (<https://datacommons.org/>)



Tabla 2 Tabla de clasificación de emisiones de CO2

1	<u>Trinidad y Tobago</u>	12,32
2	<u>Chile</u>	4,82
3	<u>Surinam</u>	4,56
4	<u>Venezuela</u>	3,94
5	<u>Argentina</u>	3,74
6	<u>Guyana</u>	3,64
7	<u>Panamá</u>	3,14
8	<u>Ecuador</u>	2,26
9	<u>Brasil</u>	2,06
10	<u>Bolivia</u>	1,94
11	<u>Uruguay</u>	1,87
12	<u>Perú</u>	1,75
13	<u>Colombia</u>	1,61
14	<u>Paraguay</u>	1,17

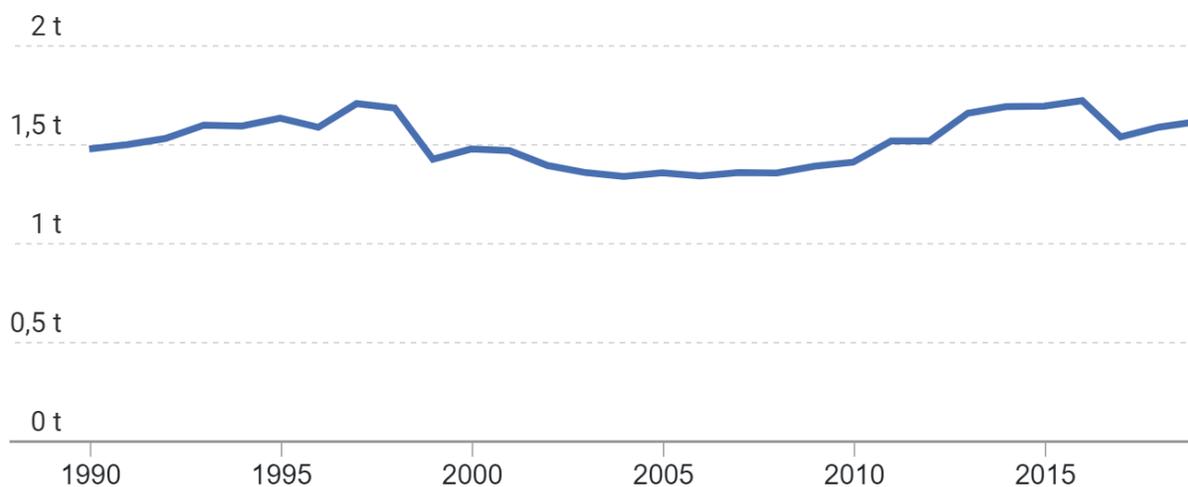


Imagen 13 Gráfica del emisiones de CO2 (Toneladas) PER Capita en Colombia

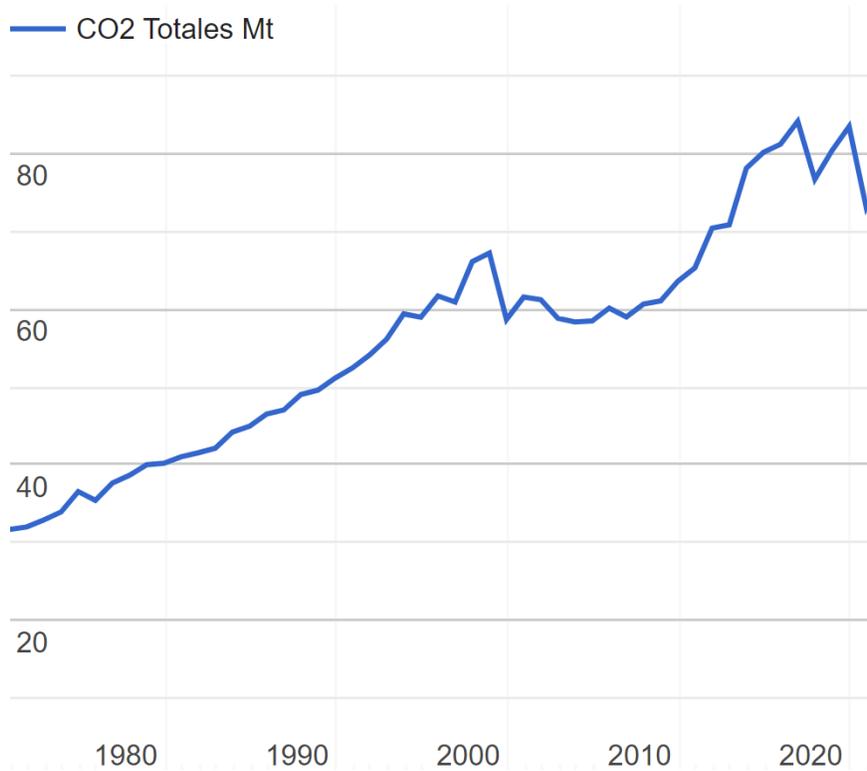


Imagen 14 Emisiones de CO2 totales Mt

Tabla 3 Histograma de generación de CO2 en Colombia

AÑO	CO2 TOTALES Mt	CO2 KG/\$1000	CO2 Ton PER CAPITA
2021	77,57	0,1	1,53
2020	73,035	0,11	1,45
2019	83,439	0,11	1,67
2018	80,348	0,11	1,62
2017	76,664	0,11	1,56
2016	84,11	0,12	1,73
2015	81,173	0,12	1,68
2014	80,129	0,12	1,68
2013	78,081	0,13	1,65
2012	70,812	0,12	1,51
2011	70,392	0,12	1,52
2010	65,298	0,12	1,42



2009	63,558	0,12	1,4
2008	61,051	0,12	1,36
2007	60,634	0,12	1,37
2006	58,975	0,13	1,35
2005	60,12	0,14	1,39
2004	58,46	0,14	1,37
2003	58,334	0,15	1,38
2002	58,816	0,16	1,41
2001	61,194	0,17	1,49
2000	61,529	0,17	1,52
1999	58,646	0,17	1,47
1998	67,186	0,18	1,71
1997	66,086	0,18	1,71
1996	60,891	0,17	1,6
1995	61,681	0,18	1,65
1994	58,941	0,18	1,6
1993	59,371	0,19	1,64
1992	56,119	0,19	1,58
1991	54,073	0,19	1,55
1990	52,411	0,19	1,53
1989	51,126		1,52
1988	49,589		1,5
1987	49,028		1,52
1986	47,034		1,49
1985	46,507		1,5
1984	44,945		1,48
1983	44,186		1,49
1982	42,114		1,45
1981	41,531		1,46
1980	41,004		1,48
1979	40,194		1,48
1978	40,004		1,51
1977	38,656		1,49
1976	37,655		1,49
1975	35,424		1,43
1974	36,547		1,51
1973	33,935		1,43



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



1972	32,926		1,42
1971	32,01		1,42
1970	31,694		1,44

6.2.5.1.3 Radiación

La luz se puede expresar como una onda. Imaginemos las ondas que se forman en un lago cuando envía una piedra al agua, esto es muy similar a las ondas de luz. El tamaño de las ondas, o longitudes de onda, varía dependiendo de dónde cae el color de la luz en el espectro electromagnético.

La luz roja, como las longitudes de onda de radio, microondas e infrarrojos, es amplia, larga y contiene menos energía. La luz violeta, como los rayos UV, rayos X y gamma, es corta, estrecha y de alta energía. Las longitudes de onda del espectro se miden en nanómetros y varían de cero a 5,000,000,000 de nanómetros (nm). La luz visible, que se encuentra entre la luz roja y la violeta, es una pequeña porción de todo el espectro electromagnético. Todos los colores del arco iris caen dentro del rango muy estrecho de 400-700 nm.

Esta sección del espectro tiene el mayor impacto en el crecimiento de las plantas, aunque estudios más recientes muestran que los rayos infrarrojos y UV también juegan un papel importante.

Los sistemas modernos de producción hortícola se basan en la aplicación de numerosos avances científicos importados de la biología de las cosechas y del suelo. Por ejemplo, el desarrollo de sustratos y fertilizantes innovadores depende de una comprensión adecuada de las propiedades fisicoquímicas de los materiales utilizados como sustrato y de los mecanismos por los cuales las plantas acceden a los nutrientes y los usan. Igualmente, las técnicas de riego se benefician cada vez más de los últimos hallazgos sobre la regulación del balance hídrico de las plantas.

Todo ello convierte a la luz (Uv) en factor clave, indispensable para el crecimiento vegetal, en relación con el cual los sistemas productivos todavía no han sacado el máximo partido a los avances de la ciencia subyacente. En los cultivos crecidos en condiciones de campo raramente es posible “manejar” la luz, pero esto es radicalmente diferente en los cultivos protegidos, donde tanto los materiales de revestimiento como el uso de iluminación artificial luz ultravioleta permiten ese manejo.

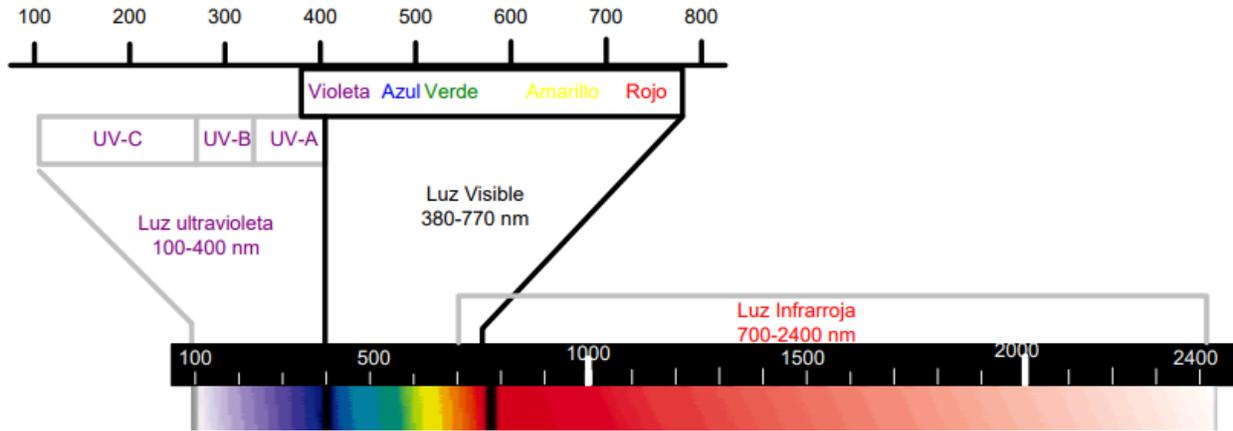


Imagen 15 Espectro de radiación solar

6.2.5.1.4 La luz ultravioleta, como una nueva herramienta en la horticultura

El tratamiento exacto de la variable ambiental luz ultravioleta que llega a las plantas va a marcar una diferencia notable en la apariencia de ellas como es la forma, el color, cosecha a un tiempo menor para recoger y un control mejorado de plagas y enfermedades. En la actualidad los cultivos modernos están basados en los grandes avances de las tecnologías científicas sumado a la biología que de la composición del suelo y producción de los cultivos. Por lo tanto, la intensidad lumínica (Uv) llega ser el parámetro fundamental para el buen desarrollo de las plantas en entornos cerrados y controlados por sistemas de monitoreo que van aportar esta variable a la fotosíntesis y por lo tanto la luz (Uv) aporta un estímulo indispensable en el control de crecimiento y desarrollo de los cultivos.

6.2.6 Controladores

6.2.6.1.1 PLC S7 1200

Los PLC (Controlador Lógico Programable), son dispositivos de uso industrial que nos permiten realizar un código de programación en un determinado software (TIA Portal) para luego cargarlo por medio del protocolo profinet, ya cargado este código y puesto en marcha el automata, se ejecuta ya el código internamente de acuerdo a la necesidad y a lo ya programado. Estos dispositivos al ser de la marca SIEMENS dan garantía de su funcionamiento y capacidad de trabajo, teniendo en cuenta las variables a controlar y monitorear.



Imagen 16 PLC Siemens S7-1200 (wiautomation)

6.2.6.1.2 Arduino

Es un dispositivo electrónico, un poco mas educativo, ya ue no tiene protección contra perturbaciones externas, como ruido, accionamientos de motores, etc. Pero igual es un controlador que por comparación costos veneficios es muy popular y de buenas prestaciones, ya que cuenta con diversas entradas y salidas, tanto digitales como analógicas, entre otras prestaciones tienen, dependiendo su serie, puertos UART, I2C, etc.

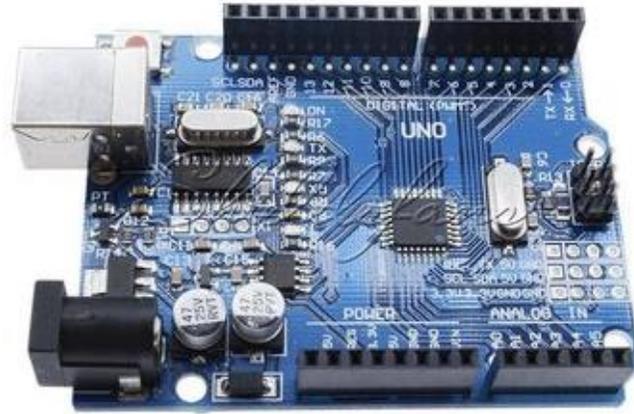


Imagen 17 Controlador Arduino uno (linio)

6.2.7 Instrumentación

6.2.7.1.1 Sensor de caudal



Imagen 18 Sensor de Caudal (ferretrónica)

Este dispositivo electrónico compuesto internamente por unas aspas, aspas que al pasar el fluido en este caso agua envía unos pulsos, los cuales van a ser leídos por un controlador y dependiendo los pulsos emitidos, se puede calcular el fluido que circula o pasa en determinado momento.



6.2.7.1.2 Electroválvula solenoide



Imagen 19 Electroválvula (ferretrónica)

Esta electroválvula integra un electroimán a 12 Vdc, que al ser alimentada hace que se desplace junto a un diafragma, de esta manera puede uno controlar de manera on/off el paso o no de agua.

Se encuentran de diferentes tipos y requerimientos, para este propósito se usó el modelo YF-S201, la cual funciona por presión y no por gravedad.

6.2.7.1.3 Sensor de humedad y temperatura

Para este propósito se dio uso al sensor de temperatura y humedad para montaje en pared RK330-02 y RK330-1. El primero es para cubierta a prueba de agua y anti rayos UV. Para uso en espacios interiores. Y el segundo es para exteriores.

En las imágenes siguientes se ilustra su referencia e imagen, con fines descriptivos del componente.



Imagen 20 Sensor de temperatura y humedad RK330-2 (didacticaselectronica)



Imagen 21 Sensor de temperatura y humedad RK330-1(didacticaselectronica)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Tabla 4 Parámetros de selección del sensor RK330-1 y RK330-2

Remark	Series	Type	Supply	Output	Display	Cable Length	
RK							
	330						
		02					
			A				5V
			B				12-24V
			X				Other
				A			4-20mA
				B			0-5V
				C			0-10V
				D			RS485
				X			Other
					A		With display
					N		Without display
						2000	Units:mm (typ.)
						3000	Units:mm
						...	Units:mm

6.2.7.1.4 Sensor de CO2



Imagen 22 Sensor de CO2 Infrarrojo



Sensor infrarrojo de CO₂, compatible con Arduino, Raspberry Pi y con cualquier microcontrolador con puerto UART. Rango de 0 ~ 50000ppm. Alta sensibilidad, alta resolución, excelente estabilidad. Anti-interferencia de vapor de agua.

6.2.8 Elementos finales de control

6.2.8.1.1 Ventilador

Es un dispositivo electromecánico, que convierte energía eléctrica en energía mecánica, de este modo hace que unas aspas que lo componen giren, proporcionando un caudal de aire mayor; en este caso se usaron ventiladores a 220 Vca. (la imagen no es vista real del dispositivo instalado)



6.2.8.1.2 Bomba de calor

Es un dispositivo eléctrico muy usado en los frigoríficos, también conocido como bomba de calor reversible, ya que este mismo dispositivo puede generar calor y por medio de una válvula inversora o de 4 vías, al accionarse, invierte el fluido y en esta ocasión generaría calor.

De esta manera cuando la temperatura este muy baja o por debajo del set-point, esta genera calor y cuando se sobrepase del set-point esta misma genera frio.

En este caso o para este propósito se utilizo un aire acondicionado y se le acondiciono una válvula inversora o de cuatro vías, con esto ya podemos tener un control de temperatura discreto.

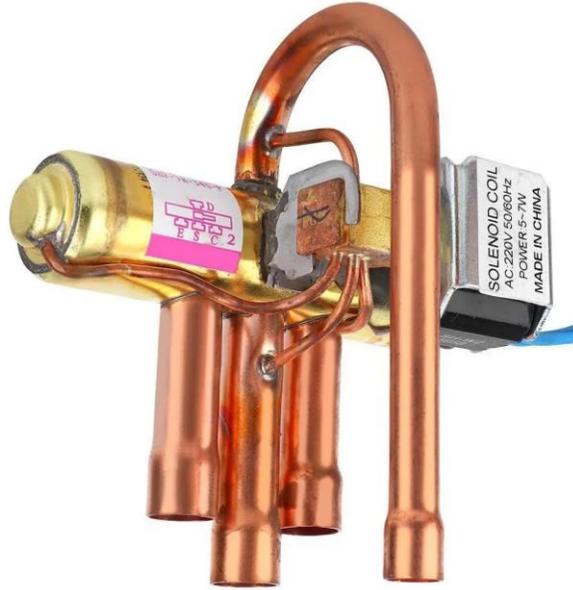


Imagen 23 Válvula de 4 vías o inversora (aliexpress)

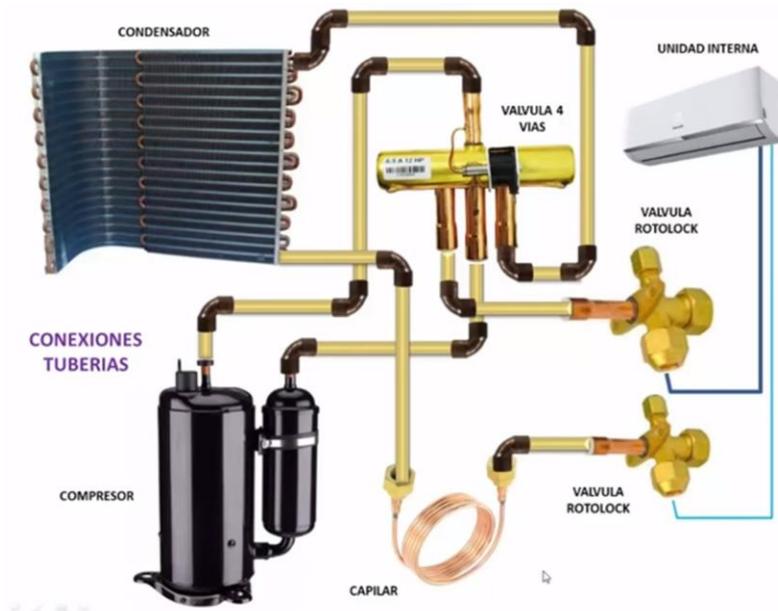


Imagen 24 esquema del funcionamiento de la válvula inversora



6.2.8.1.3 Generador de CO2

Este dispositivo desarrollado principalmente para los invernaderos automatizados, permite generar CO2 a partir de gas propano, esta acompañado de su encendido electrónico y de una válvula que permite o no el paso de gas hacia el quemador.



Imagen 25 Generador de CO2 a partir de gas propano

6.2.9 Cableado

6.2.9.1.1 Conductores (cableado)

En este caso estos elementos nos permiten conectar los sistemas tanto de control como de potencia, son dispositivos mayormente construidos en cobre. Existen cable, el cual está compuesto internamente por varios filamentos o alambre el cual solo tiene un único filamento, en ambos casos tiene un recubrimiento o aislamiento, esta para disipar el calor y evitar cortos.

Para el sistema de control y adquisición y envío de señales, se usan de menor calibre y a medida que aumenta el consumo de corriente aumenta el calibre



Imagen 26 Cables y alambres (cablesyconductores)

Para el diseño y construcción del invernadero se tuvo que separar por etapas, debido a la complejidad y lo extenso que se hacía cada vez, todo esto, con el fin de lograr el objetivo final. Por ello, el primer parte fue el diseño arquitectónico, esto nos llevó luego a la selección de los dispositivos, ya que teníamos que tener en cuenta los factores ambientales a los cuales, esta parte de instrumentación iba a estar sujeta (unos a la intemperie y otros bajo techo) y luego la etapa de implementación.

6.2.10 Python³

Python es un lenguaje de programación de alto nivel que se utiliza para desarrollar aplicaciones de todo tipo. A diferencia de otros lenguajes como Java o .NET, se trata de un lenguaje interpretado, es decir, que no es necesario compilarlo para ejecutar las aplicaciones escritas en Python, sino que se ejecutan directamente por el ordenador utilizando un programa denominado interpretador, por lo que no es necesario “traducirlo” a lenguaje máquina.

Este es en lenguaje de programación que es utilizado en el desarrollo de:

- ✓ Software
- ✓ Páginas web
- ✓ Machine Learning (ML)
- ✓ Ciencia de datos, entre otras muchas aplicaciones.

³ <https://www.python.org/>



Simplicidad. “La sintaxis similar al inglés de Python hace que sea fácil de aprender y leer y, a diferencia de otros idiomas, utiliza saltos de línea simples en lugar de símbolos para definir bloques de código”, argumentó al respecto

Python cuenta con una gran biblioteca estándar que contiene códigos reutilizables para casi cualquier tarea. De esta manera, los desarrolladores no tienen que escribir el código desde cero. La comunidad activa de Python incluye millones de desarrolladores alrededor del mundo que prestan su apoyo. Si se presenta un problema, puede obtener soporte rápido de la comunidad.

Dentro de las grandes marcas a nivel mundial tenemos algunas que se programaron en este lenguaje. Estas empresas son:

1. Pinterest
2. Panda 3D
3. Dropbox
4. Spotify
5. Netflix
6. Uber
7. Instagram
8. Reddit
9. Google
10. YouTube

Dentro de las ciencias que más usa este lenguaje de programación tenemos la siguiente lista:

- ✓ Recursos humanos
- ✓ Marketing
- ✓ Finanzas
- ✓ **Ciencia e investigación**
- ✓ Estadística
- ✓ Periodismo

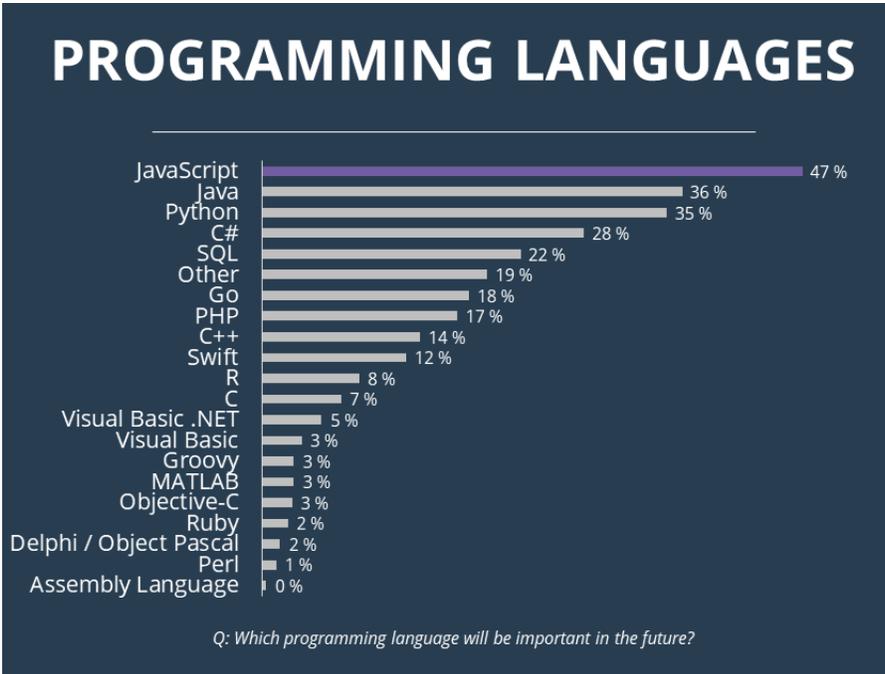


Imagen 27 Lenguajes de programación más usados en el mundo (freelancermap)

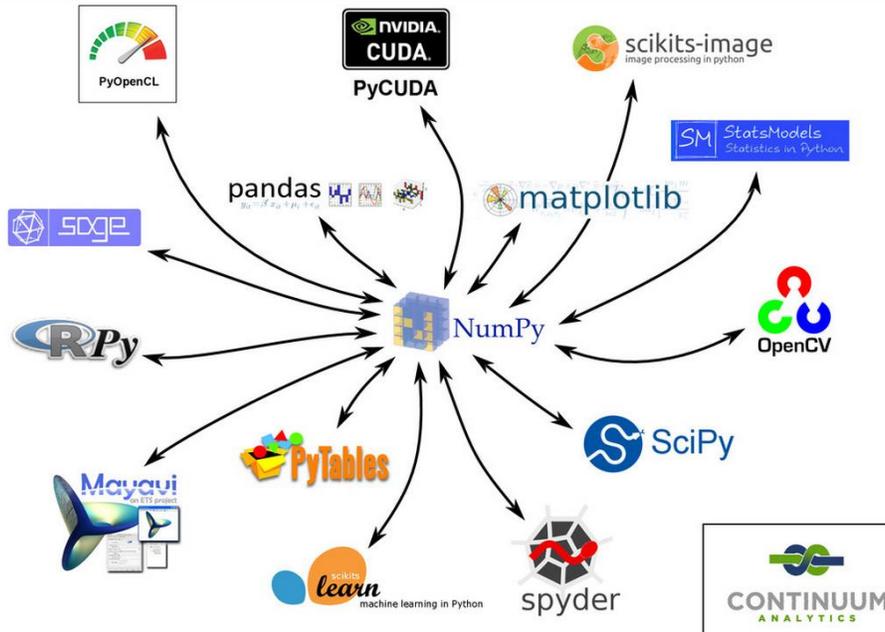


Imagen 28 Algunas librerías de Python (universidad de Alicante)



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
 www.unipamplona.edu.co



6.2.10.1.1 Red neuronal

Dentro del campo de la Inteligencia Artificial son métodos de aprendizaje automático cuya finalidad es imitar los procesos biológicos de las redes neuronales de los organismos vivos (Orallo, Ferri, & Quintana, 2004).

Las neuronas artificiales tratan de imitar el funcionamiento de las neuronas del cerebro. Se trata de una función matemática que se basa en un modelo neuronal biológico. Cada neurona recibe datos, los pesa, calcula su suma y presenta un resultado por medio de una función no lineal.

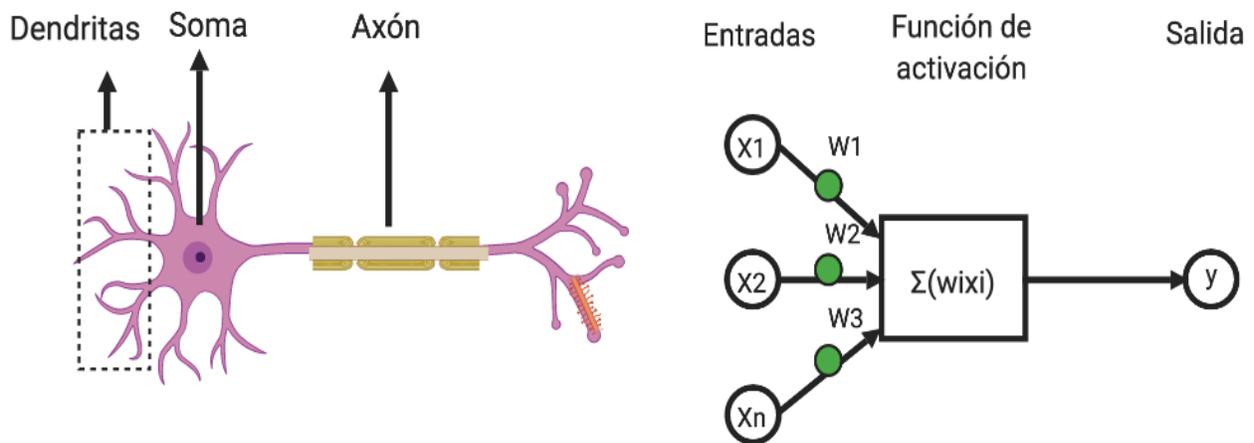


Imagen 29 Neurona Vs perceptron (futurelab)

6.2.10.1.2 Perceptron

Un perceptrón es una neurona artificial, indispensable para las redes neuronales del Deep Learning.

En 1957 Frank Rosenblatt inventó el perceptrón en el laboratorio aeronáutico de Cornell. Basándose en los primeros conceptos de neuronas artificiales, propuso la “regla de aprendizaje del perceptrón”.

Un perceptrón es una neurona artificial, y, por tanto, una unidad de red neuronal. El perceptrón efectúa cálculos para detectar características o tendencias en los datos de entrada.

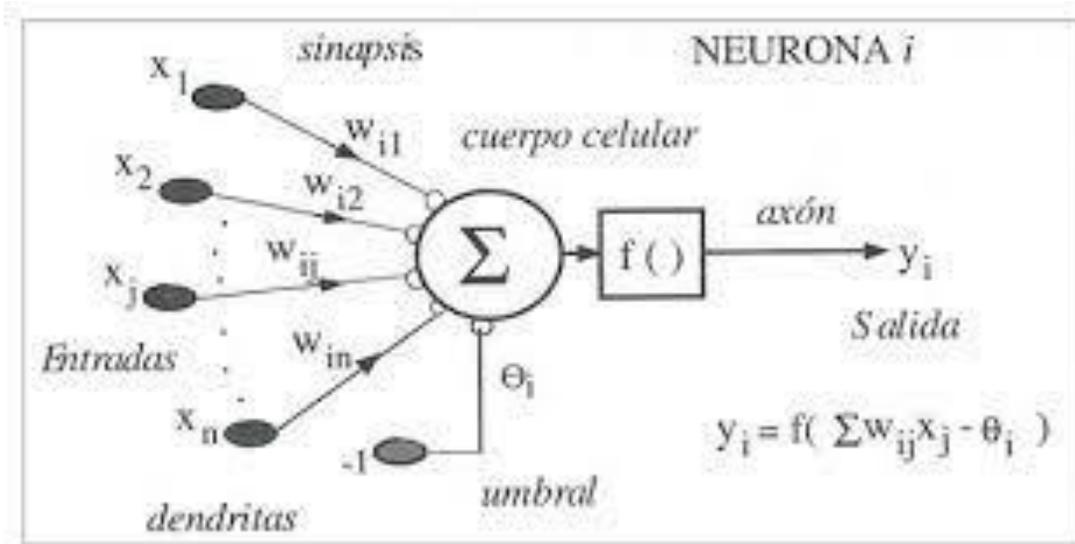


Imagen 30 Perceptron (grupoUS)

6.2.10.1.3 Perceptrón multicapa (MLP)

La dimensión de los datos de entrada debe coincidir con las dimensiones de la capa de entrada. El término "dimensión" puede ser un poco confuso aquí, porque la mayoría de las personas no pueden ver nada en más de tres dimensiones. Todo esto realmente significa que su entrada, como un patrón que desea clasificar, es un vector de cierta longitud, y su capa de entrada debe tener un nodo para cada elemento del vector. Entonces, si está tratando de clasificar una serie de 20 puntos de datos, tendrá un vector de 20 elementos y necesitará 20 nodos de entrada (Peryanto et al., 2020).

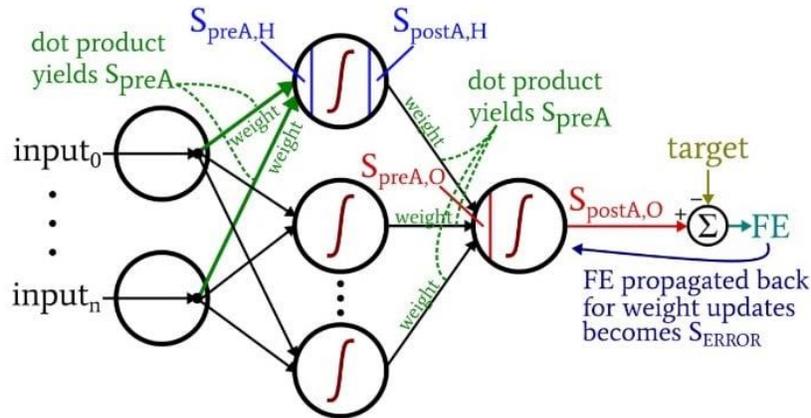


Imagen 31 Perceptron Neuronal multilayer

6.2.10.1.4 Regresión Lineal

La regresión lineal es una técnica parametrizado por Machine Learning, esto implica que antes de observar los datos, ya se sabe cuantos coeficientes se va a requerís

Por ejemplo, si se va a trabajar una sola variable (X), se sabe que esta línea requiere 2 parámetros.

La ecuación (1) para la regresión lineal con una sola variable x es:

$$y = w * x + b \quad (1)$$

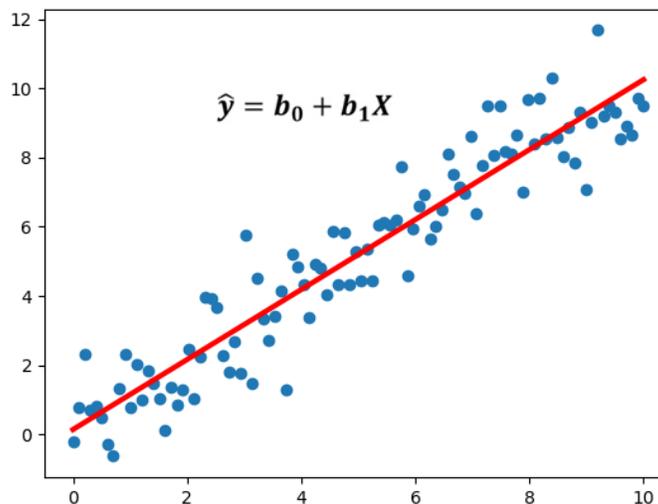


Imagen 32 Regresión lineal en Python (artificial)



6.3 MARCO CONTEXTUAL

Como se describía anteriormente, el cambio climático a generado preocupación dentro de los agricultores, por los cambios que se han venido presentando con respecto a los cambios de clima, que como ya se ha visto en muchos casos estos han generado muchas perdidas en el gremio de los agricultores; es por esto que ese problema lo podemos enfrentar en mediana medida con el desarrollo de este sistema, ya que puede predecir el comportamiento de diferentes cultivos que allí se realicen y analicen.

6.4 MARCO LEGAL

En vista en que hay que tener un contacto directo y frecuente con estos ambientes futuros, para el análisis de crecimiento de las plantas, tanto dentro y fuera del invernadero, hay que tener en cuenta lo que comprende la parte legal; en lo concerniente a la calidad del aire. Las principales normas en las que se enmarca la operación estadística de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire las vamos a referenciar adelante.

Constitución política de Colombia

Art. 20.” Se garantiza a toda persona la libertad de expresar y difundir su pensamiento y opiniones, la de informar y recibir información veraz e imparcial y la de fundar medios masivos de comunicación”.

Ley 99 de 1993

Se crea el IDEAM, como una de las entidades científicas adscritas y vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente. Se asignan sus funciones.

Decreto. 1277 de 1994 y Decreto. 291 2004

Se asignan las funciones al IDEAM, entre ellas las relacionadas con el Sistema de Información Ambiental

Dec.1600 de 1994

El art. 2 le confiere al IDEAM la coordinación del Sistema de Información Ambiental.

Decreto. 948 de 1995

Establece el reglamento de protección y control de la calidad del aire. Define, entre otras responsabilidades, la correspondiente a las AA de realizar la observación y seguimiento constantes, medición, evaluación y control de los fenómenos de contaminación del aire y definir los programas regionales de prevención y control.



Ley 489 de 1998

Estatuto básico de la administración pública. El Art. 37 dispone que los sistemas de información sirven de soporte al cumplimiento de la misión, objetivos, funciones, desempeño institucional y evaluación de la gestión pública de las entidades de la administración pública; a la vez que permiten la interacción del Estado con la ciudadanía y el intercambio de información entre entidades públicas.

Ley 790 de 2002

Art. 14 establece que en desarrollo de las tecnologías y procedimientos de gobierno electrónico se impulsarán y realizarán los cambios administrativos, tecnológicos e institucionales referentes, entre otros, a portales de información, prestación de servicios y participación ciudadana. Con este propósito el gobierno nacional desarrollará y adoptará los adelantos científicos, técnicos y administrativos del gobierno electrónico para que se realicen con base en criterios de transparencia, eficiencia y eficacia de la gestión pública.

CONPES 3248 de 2003

Programa PRAP, estableció como objetivo del Gobierno Electrónico “definir una política y un conjunto de instrumentos adecuados para el manejo de la información en el sector público de modo que se garantice plena transparencia de la gestión, alta eficiencia en los servicios prestados a los ciudadanos y en las relaciones con el sector productivo y condiciones adecuadas para promover el desarrollo interno y la inserción internacional”.

Decreto. 291 de 2004

Asigna a la Subdirección de Estudios Ambientales del IDEAM, entre otras, la función de recolectar y generar información sobre uso de recursos naturales renovables, contaminación y degradación por vertimientos, emisiones y residuos sólidos producidos por las diferentes actividades socioeconómicas, así como coordinar la elaboración del Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables.

CONPES 3344 de 2005

Establece los lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire. Determina la creación del SISAIRE y su organización

Res. 627 de 2006 MAVDT



Establece la norma nacional de ruido ambiental y de emisión sonora. Define la obligación de las AA de realizar mapas de ruido en municipios mayores que 100 mil habitantes y enviar una copia de ellos al IDEAM.

CONPES 3550 de 2008

Establece los lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química. Contempla la creación del Sistema Unificado de Información de Salud Ambiental SUISA, con SISAIRE como uno de sus componentes.

Ley 1341 de 2009

Define principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las TIC, constituyéndose en el marco general para la formulación de las políticas públicas que rigen el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Entre otras

disposiciones, especifica el libre acceso y sin discriminación de los habitantes del territorio nacional a la sociedad de la información.

Res. 651 de 2010 MAVDT

Crea el SISAIRE y asigna responsabilidades al IDEAM de su administración y a las AA para la alimentación de la información previamente depurada.

Crea el SISAIRE y asigna responsabilidades al IDEAM de su administración y a las AA para la alimentación de la información previamente depurada.

Se adopta y se ajusta el protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, que especifica la metodología para los SVCA y define criterios a tener en cuenta para SISAIRE

Política de prevención y control de la contaminación del aire 2011

Establece programas que incluyen proponer y diseñar los mecanismos de generación, recolección, análisis y flujo de información pertinentes al Subsistema de Información sobre Calidad del Aire, consolidación de la línea base nacional de calidad de aire y ruido, publicación de mapas de ruido en SISAIRE, articulación de SISAIRE con el Subsistema Unificado de Información de Salud Ambiental SUISA

Decreto. 1076 de 2015



Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Incorpora en un único decreto las disposiciones sobre el SIAC y el SISAIRE contenidas en el Decreto. 1076/2015 en cuanto al acceso a la información ambiental, la organización del IDEAM (Decreto. 1277/1994) y del Sistema de Información Ambiental –SIA (Decreto. 1600/1994).

Res 2254 de 2017MADS

Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. Se adoptan niveles máximos permisibles de contaminación en el aire en cuanto a los contaminantes criterio, tóxicos y se definen niveles para el cálculo del índice de calidad del aire, de los estados excepcionales, entre otras disposiciones.

CONPES 3918 de 2018

Establece la hoja de ruta para el cumplimiento de los ODS a 2030, en cuyos indicadores asociados a salud y bienestar, y a ciudades y comunidades sostenibles plantean indicadores y metas de seguimiento para la reducción de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en la calidad del aire ambiente.

CONPES 3943 de 2018

Propone acciones para reducir las concentraciones de contaminantes en el aire a través de la renovación y modernización del parque automotor, la reducción del contenido de azufre en los combustibles, la implementación de mejores técnicas y prácticas en la industria, la optimización de la gestión de la información, el desarrollo de la investigación, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo por contaminación del aire.



7. METODOLOGÍA

7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se describe como una investigación aplicada que en algunos casos también la describen como mixta⁴, ya que se parte de un problema que se ve a diario, pero que su solución involucra problemas tanto teóricos como prácticos.

7.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se utilizó el método cuantitativo, ya que todo el sistema gira alrededor de cifras, cifras o datos que nos envían los sensores, datos históricos para poder hacer las proyecciones, números que le enviamos a los controladores para que acciones o no cierto elemento final, y así poder obtener patrones que nos permitan realizar análisis y poder darle mejoras a cada proceso realizado.

7.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

7.3.1 FUENTES PRIMARIAS

La principal fuente primaria, fue el interactuar con agricultores y docentes expertos en áreas afines al proyecto (biólogos, agrónomos, etc.), esto permitió acortar el proyecto y profundizarlo en una sola cosa, la automatización del invernadero, que permitiera realizar experimentos de diferentes tipos de cultivos, sin importar el clima o la época del año.

7.3.2 FUENTES SECUNDARIAS

Para este fin se dio a la lectura de diferentes artículos y revistas, que en el transcurso de la tesis se vinieron describiendo y referenciando; así mismo se dio apoyo en di referentes videos encontrados en internet y páginas web específicas.

7.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para este propósito se utilizaron diferentes técnicas e instrumentos para la recolección de información, la primera fue la entrevista, que se realizó a diferentes docentes como lo fue el profesor Freddy Solano quien nos dio información relevante sobre los aspectos constructivos del invernadero, también al doctor Leónidas Castellanos quien nos aportó información sobre los diferentes posibles cultivos a experimentar en el invernadero, así mismo, como los tiempos de duración de los cultivos teniendo en cuenta el tipo. Otra persona que paso por este proceso fue el señor Pedro Duarte quien es el responsable de los invernaderos y de los diferentes animales

⁴ <https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad1/investigacion-tipos.html>



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



que tiene la universidad en la sede principal, su información fue relevante a la hora de la selección del espacio a construir el invernadero.

Adicionalmente, se dio uso del análisis experimental, ya que se necesitaba una base de datos o histórico de diferentes variables, como temperatura y generación de CO₂, por ello se recurrió a diferente infografía, principalmente encontrada en la web, en este caso y siendo puntal se revisó y se descargó información de la página del ministerio de ambiente de nuestro país⁵, el IDEAM⁶, datos macro⁷ y mendeley⁸, entre otras

Y por último la observación experimental, ya que esta permitió, luego de recolectar la mayor información en las dos primeras técnicas; proyectarla, escalarla, graficarla y manipular las variables con fines de obtener un resultado.

7.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 5 Operaciones con temperatura, humedad y CO₂

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR
Temperatura	Comportamiento y respuesta del sistema al desarrollo del cultivo o perturbaciones externas, dependiendo la variable	Rango de control	Está sujeto a el área y BTU del aire acondicionado, normalmente puede estar en un rango de 14°C a los 30°C
		Tiempo de funcionamiento	Al ser equipos industriales no tiene tiempo máximos de funcionamiento, más bien está sujeto a la calidad de la red eléctrica
		Perturbaciones	Ambiente externo

⁵ <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico/en-promedio-un-colombiano-emite-al-ano-16-toneladas-de-co2/>

⁶ <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/indicadores>

⁷ <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/colombia>

⁸ <https://www.mendeley.com/>



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Humedad	Comportamiento y respuesta del sistema al desarrollo del sistema o perturbaciones externas, dependiendo la variable	Rango de control	Al ser las plantas y el clima externo la que mayor perturbación le aplican al sistema, se cuenta con ventiladores para cuando esta alta y sistema de riego cuando se baje demasiado
		Tiempo de funcionamiento	ya que se cuenta con ventiladores y sistema de riego, se depende más de la red eléctrica y del fluido hídrico que lo abastece
		Perturbaciones	Ambiente externo, tamaño de los cultivos
CO2	Comportamiento y respuesta del sistema al desarrollo del sistema o perturbaciones externas, dependiendo la variable	Rango de control	Por el momento se cuenta con una mínima, que oscila entre los 300ppm a 400ppm
		Tiempo de funcionamiento	Al contar con un "pimpina" que contiene gas propano, está sujeta a la cantidad que esta contenga, como la del consumo de los cultivos.
		Perturbaciones	Crecimiento de las plantas, ambiente externo

7.6 MUESTREO

Tabla 6 tabla climática de pamplona (enero-junio)

Factor	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Temperatura media (°C)	12.8	13.2	13.6	13.8	13.9	13.7
Temperatura min. (°C)	9.2	9.7	10.4	11.1	11.4	11.3
Temperatura máx. (°C)	17.5	17.9	18	17.6	17.4	17.1
Precipitación (mm)	58	82	145	229	269	162
Humedad(%)	80%	80%	82%	87%	88%	87%
Días lluviosos (días)	10	11	15	18	18	16
Horas de sol (horas)	6.2	6.1	6.0	6.0	6.4	7.1



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Tabla 7 tabla climática de pamplona (Julio-diciembre 2021)

Factor	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	13.5	13.8	13.9	13.7	13.5	13
Temperatura min. (°C)	10.9	11.1	10.9	10.8	10.4	9.7
Temperatura máx. (°C)	17.1	17.6	17.9	17.8	17.6	17.4
Precipitación (mm)	118	135	171	231	174	89
Humedad (%)	86%	86%	85%	87%	87%	84%
Días lluviosos (días)	15	15	15	18	16	11
Horas de sol (horas)	7.5	7.5	7.4	6.4	6.0	6.3

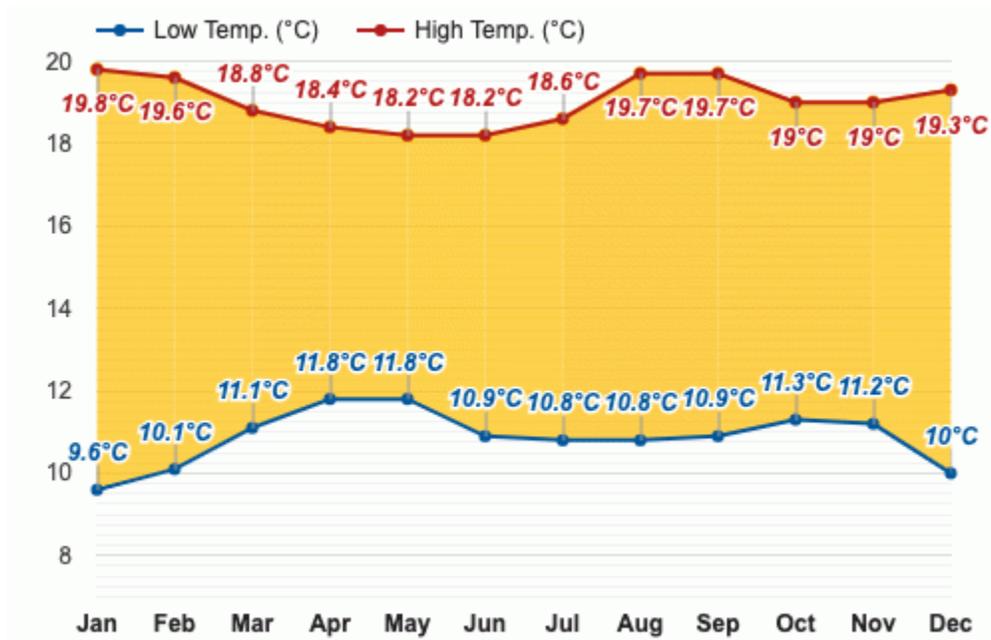


Imagen 33 Temperatura Pamplona 2021 (es.climate-data.org)



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
 Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
 www.unipamplona.edu.co

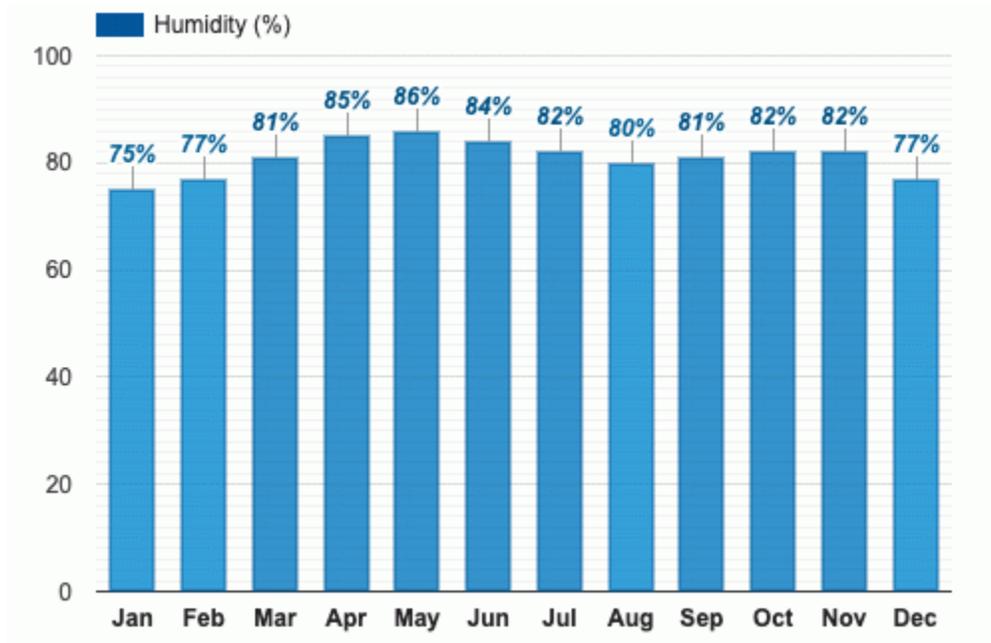


Imagen 34 Humedad Pamplona 2021 (es.climate-data.org)



Imagen 35 Comportamiento de CO2 en Colombia 1990-219 (bancomundial)



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
 www.unipamplona.edu.co



8. LABOR DE CAMPO

Para darle desarrollo a este proyecto se dio inicio con la ubicación geográfica del invernadero o espacio asignado para su construcción, de allí se empezó con la adecuación del terreno ya que no se contaba con un espacio totalmente plano como se quería para su implementación.



Imagen 36 Adecuación del terreno 1

Como lo que se quería era un terreno totalmente plano para su construcción de tuvo que remover tierra, y teniendo en cuenta que es zona montañosa se encontraron inconvenientes como piedras enterradas de gran tamaño que para ser removidas se tuvo que fraccionar o partir para poder moverlas de su lugar.

Luego con la tierra que sobraba o se removía del lugar se acondiciono o amplio un poco el espacio del invernadero ya que el espacio de ancho estaba un poco limitado, se colocó un tubo que permitía sostener la tierra removida y ya contenida se apilo más tierra, pudiendo así tener un terreno más o menos amplio y adecuado para la construcción del invernadero.

Paso seguido, se removió un poco de vegetación que afectaba con sombra al invernadero y se le dio un espacio suficiente ahora sí para su construcción.



Imagen 37 Adecuación del terreno

Paso seguido se dio a la tarea de aplicar concreto para aislar totalmente los cultivos a sembrar en el invernadero del suelo



Imagen 38 Vertimiento de concreto



Imagen 39 Terminación de los pisos y andenes y/o desagües

En las imágenes anteriores se evidencia la terminación de los pisos para poder dar paso a la imagen de abajo donde se nota el enmallado que se le colocó para protegerlo de fuertes brisas.



Imagen 40 Encerramiento en malla



Imagen 41 Instalación de cubierta 1

En las imágenes tanto superior como inferior, se muestra la instalación de la cubierta, la cual se realizó en plástico #6



Imagen 42 Instalación de cubierta 2



Imagen 43 Ampliación de la entrada al invernadero sellado

Luego de lo ya construido, se decidió ampliar el invernadero que va sellado, colocándole un espacio extra para agregar una entrada adicional, con el fin de que el invernadero donde están los cultivos a experimentar no tuviese un intercambio directo con el ambiente y así evitar la menor contaminación posible.



Imagen 44 Vista lateral izquierda del invernadero



Imagen 45 Vista lateral derecha del invernadero

En la imagen superior se muestra una vista en la cual se evidencia que el invernadero está compuesto por dos “cubículos” o espacios, uno totalmente aislado y el otro al ambiente, lo único que comparten es la misma radiación solar, ya que ambos tienen techo de las mismas características.



Imagen 46 Aire acondicionado 9000 BTU



Luego de terminada la construcción arquitectónica del invernadero, se procedió a la fabricación de la “bomba de calor” y del generador de CO2.

El primero se construyó a partir de un aire acondicionado de 9000 BTU como lo muestra la imagen anterior, y se le instaló una válvula inversora o de 4 vías, la cual permite que este dispositivo (aire acondicionado) funcione como generador de frío, si la válvula no está activa. O como generador de calor, si esta se encuentra activa.



Imagen 47 Acondicionamiento de la válvula inversora

En las imágenes superiores se evidencia la instalación de la válvula inversora o de 4 vías, la cual, el conjunto completo nos permitirá generar frío y calor, según lo requiera el sistema a simular o por parte del cultivo.



Para el generador de CO₂ fue muy conveniente como cada dispositivo fabricado para el fin del proyecto, buscar demasiada información ya que la otra opción era comprar una pipeta de CO₂, pero estas tienen un costo muy elevado y dependiendo del cultivo a tratar puede salir costoso y de esta manera no ser rentable el sistema. Por esta razón se procedió a la fabricación de un generador “casero” pero con las mismas prestaciones que los comerciales, ya que se trato de replicar uno de ellos dando excelente resultado.



Imagen 48 Construcción de caparazón y soporte del generador de CO₂

Como lo que se quería era realizar una réplica de un generador de gas carbónico comercial, se tuvieron en cuenta algunas medidas para que fue simétrico a el área a la cual se le va a suministrar CO₂.

Luego se procedió a la aplicación de pintura para altas temperaturas, ya que va a estar expuesto a estas, así sea por poco tiempo, mientras se genera el suficiente CO₂ que llegue al set point programado o deseado. Seguidamente se dio lugar a la instalación del quemador de gas propano y del generador de chispa, el cual, al activarse la válvula de paso de gas, se activa el generador



de chispa, la que nos permitirá que esta chispa generada encienda el quemador y así dar lugar a la generación de CO₂ a partir de la combustión de gas propano



Imagen 49 Vista frontal e interna del generador de CO₂

El sistema del generador de Co₂ está compuesto básicamente por el quemador y un almacenador de gas propano de 20 libras.

Luego de la fabricación e instalación de estos dispositivos, se dio a la tarea de la instalación eléctrica, que estaba compuesta por una parte de potencia y otra de control.

para la etapa de potencia se determinó colocar un tablero de control cerca del invernadero, donde llegan dos fases y neutro, estas se encargarán de alimentar todo el sistema del invernadero.

Como el sistema requiere de voltajes en corriente directa, se adquirieron dos fuentes externas, una a 24Vcd que alimentara los sensores de temperatura y humedad. Y otra fuente de 12Vcd que se encargara de darle voltaje para su accionamiento a las electroválvulas del sistema de riego.



Se debe tener en cuenta que el sistema de riego esta compuesto o fue diseñado para dos sistemas de riego, uno por “bailarinas” y otro por goteo, es por ello que a la hora de poner en marcha el sistema se debe tener en cuenta el sistema de riego.

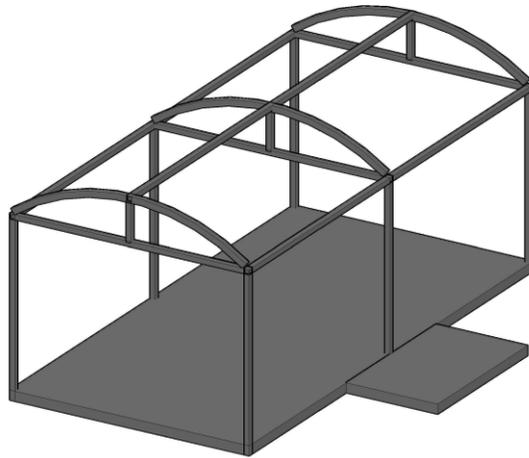


Imagen 50 Sistema de riego híbrido

El sistema eléctrico este compuesto por un breaker tripolar, por el cual entran las dos fases y el neutro, este funciona como totalizador, de ahí se despliegan para un breaker bipolar, el cual se encarga de alimentar los dispositivos que funcionan a 220 Vca y para otros dos breaker unipolares que alimentan las fuentes de voltaje.

Adicionalmente este tablero de control y distribución, tiene incorporado un pc (board, monitor, teclado y mouse) por si en algún momento se requiere realizar una reprogramación o modificación de algún sistema.



Imagen 51 Instalación del tablero de control y distribución



Imagen 52 Instalación eléctrica



9. SISTEMATIZACIÓN O PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Luego de realizado todo lo anteriormente expuesto y explicado, se pasó a la parte de pruebas individuales, para luego poner en marcha el sistema.

Para realizar las pruebas de simulación y de respuesta del sistema, se desarrolló una parte en Python y otra, que involucra la parte de control físico, en TIA Portal, de Siemens.

Se dividió en dos partes una de proyección, la cual se utilizó progresión lineal y la otra, el desarrollo de los controladores para las otras variables, que ente caso involucra el PLC.

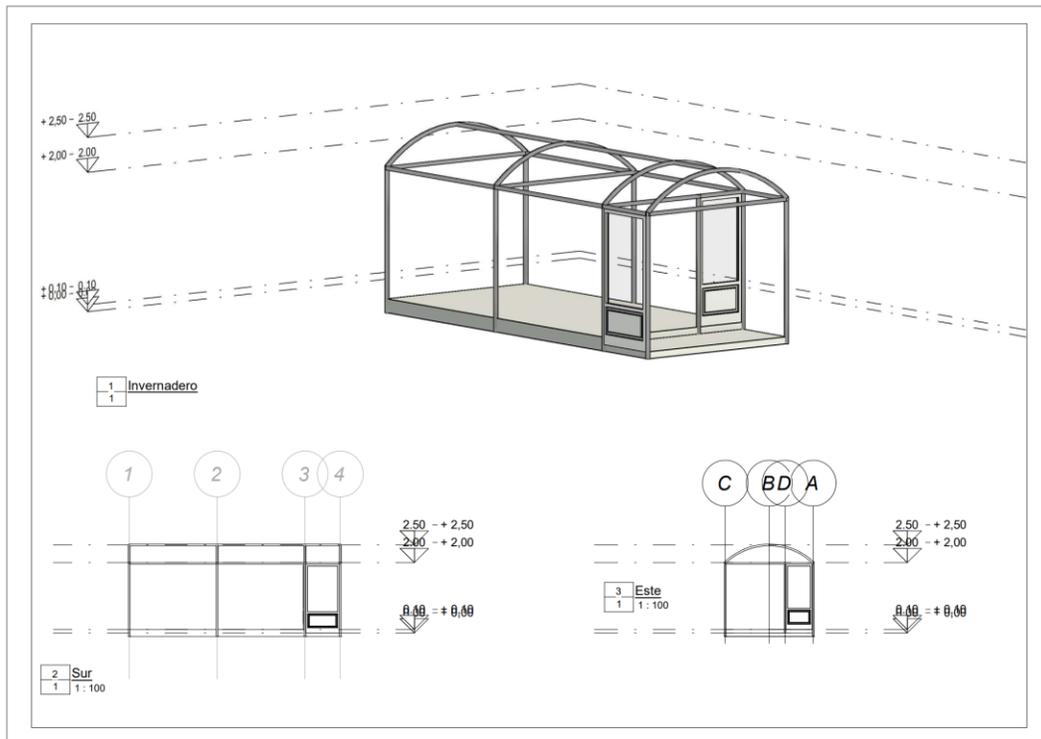


Imagen 53 Distribución y dimensiones del invernadero



9.1 Dióxido de carbono (CO₂)

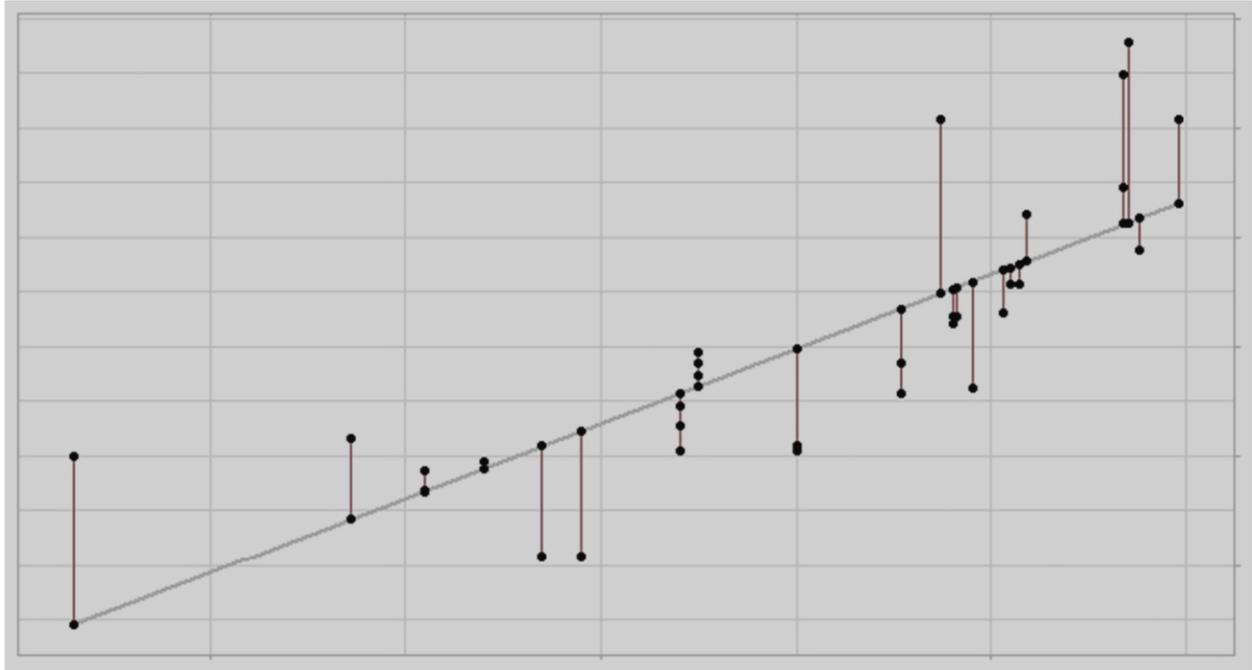


Imagen 54 Regresión lineal

Para esta variable se realizó una regresión lineal, con el fin de poder proyectar la variable al año 2035, partiendo de una data de 30 (datos) desde el año 1990 hasta el 2019, estp

9.2 Temperatura, Humedad y CO₂

Para el diseño del controlador, se desarrollaron de forma independiente. Ya que una data estaba en años, como lo fue la de CO₂ y las otras en meses, lo cual impedía o mejor afectaba su respuesta al estar en un rango de tiempo distintos.

De allí se determinó a realizar y trabajar con el siguiente código, el cual muestra en la imagen, su comportamiento.

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
from sklearn import datasets
```

```
import numpy as np
```



```
import random

def dataAleatoria(n, setPoint):

    data = np.array([0] * n)

    etiq = np.array([0] * n)

    for i in range(n):

        if i < n/2:

            data[i] = random.randint(setPoint - setPoint, setPoint)

            etiq[i] = 0

        else:

            data[i] = random.randint(setPoint, setPoint + setPoint)

            etiq[i] = 1

    return data, etiq

setPoint = 30

n = 200

X, y = dataAleatoria(n, setPoint)

X = X.reshape(-1, 1)

# Dividir los datos en un 70% de entrenamiento y un 30% de prueba:

from sklearn.model_selection import train_test_split

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y,

                                                    test_size=0.3,

                                                    random_state=2,

                                                    stratify=y)
```



```
print('Labels counts in y:', np.bincount(y))
print('Labels counts in y_train:', np.bincount(y_train))
print('Labels counts in y_test:', np.bincount(y_test))

from sklearn.linear_model import Perceptron

modelo = Perceptron(eta0=0.1)
modelo.fit(X_train, y_train)

y_pred_train = modelo.predict(X_train)
y_pred_test = modelo.predict(X_test)

from sklearn.metrics import accuracy_score
print('Accuracy of Train: %.2f' % accuracy_score(y_train, y_pred_train))
print('Accuracy of Test: %.2f' % accuracy_score(y_test, y_pred_test))
```

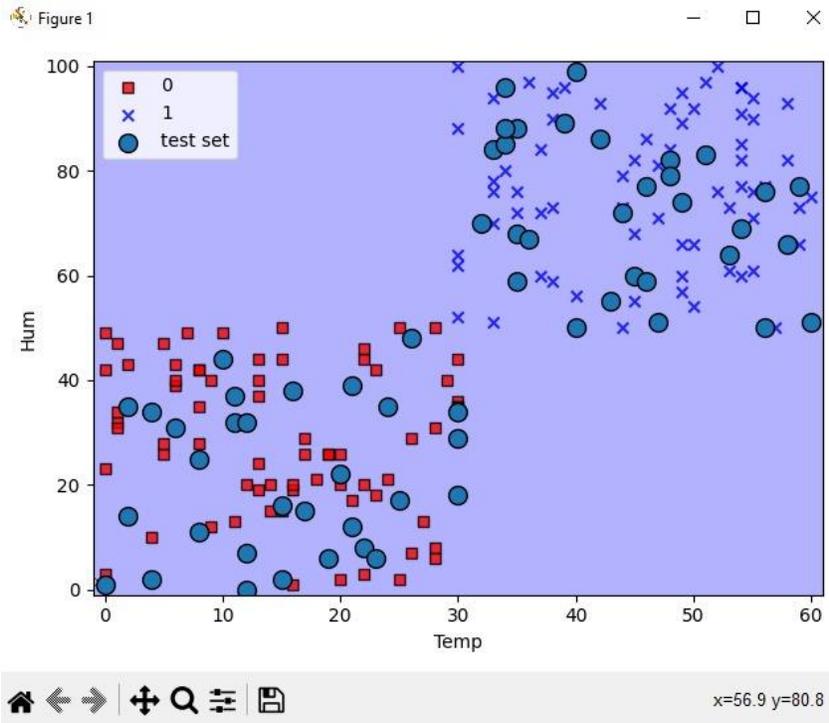


Imagen 55 Gráfica grafica de la temperatura y humedad (datos)

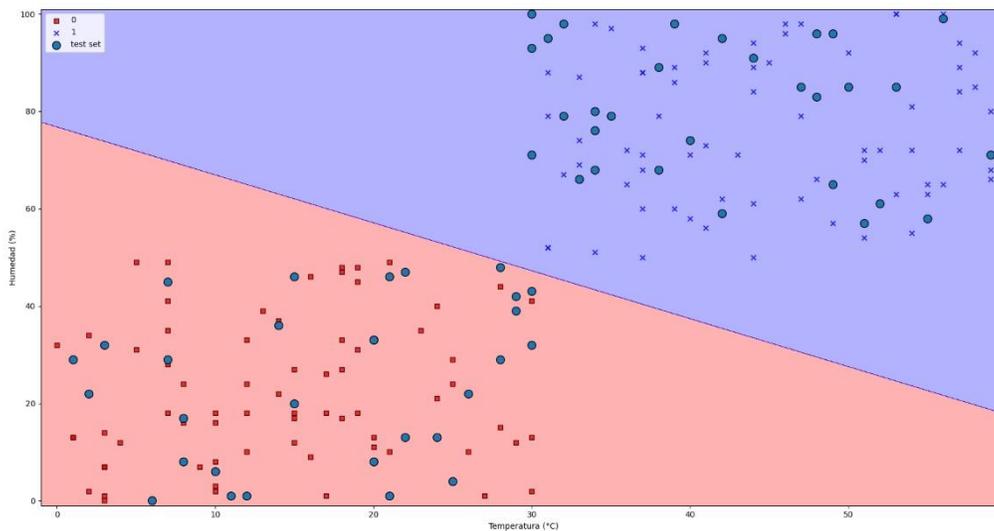


Imagen 56 región de Decisión para Temperatura y Humedad con un Set-Point de 30° en Temperatura y 50% en Humedad

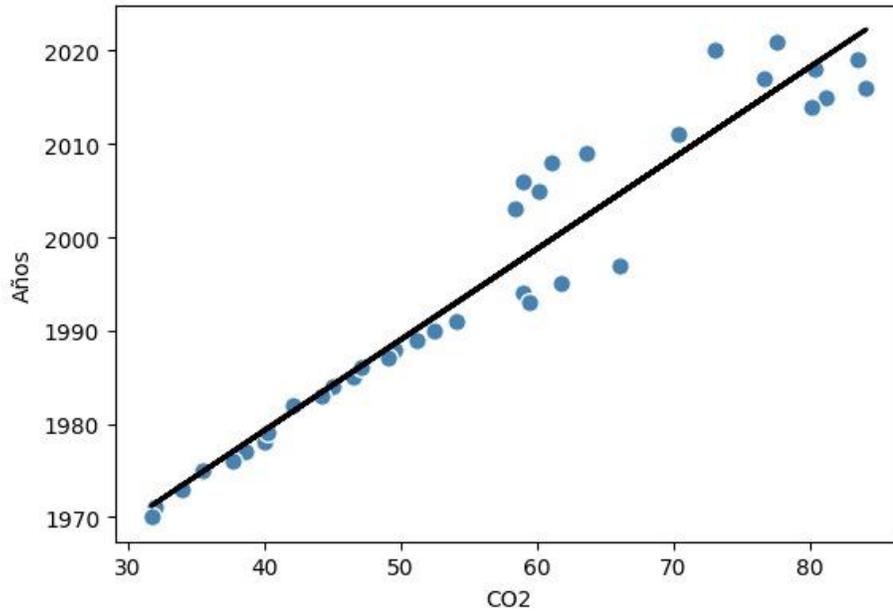


Imagen 57 Regresión Lineal con el CO2

[[2023]
[2024]
[2025]
[2026]
[2027]
[2028]
[2029]
[2030]
[2031]
[2032]
[2033]
[2034]
[2035]
[82.52310565 83.47134026 84.41957487 85.36780949 86.3160441 87.26427871
88.21251332 89.16074793 90.10898254 91.05721715 92.00545176 92.95368637
93.90192099]

Imagen 58 Predicciones hasta el año 2035



10. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En este apartado se dio a la tarea de cargar la información obtenida anteriormente e ingresarla al software con el cual se va a trabajar y el cual permite cargarle esa información al PLC. Es por ello que primero se tiene que desarrollar el código en el programa, para así luego simplificar su manejo y solo sea de ingresar el set point deseado o el que nos arrojó la proyección.

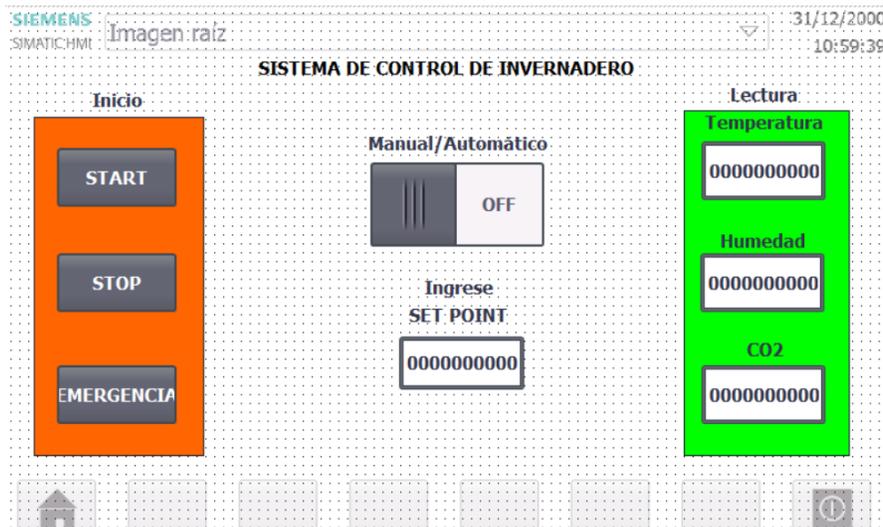


Imagen 59 Imagen principal del sistema de monitoreo

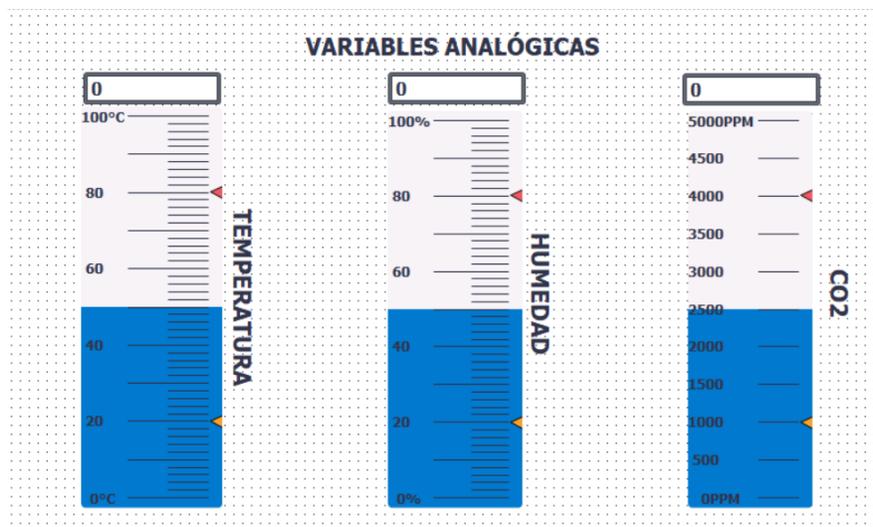


Imagen 60 Monitoreo de Variables analógicas



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



11. CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto fue en todos los casos satisfactorios, ya que estos sistemas o espacios con este tipo de tecnología cuestan demasiado y en la región, por no decir que en Colombia hay unos pocos.

Es un sistema apropiado para investigaciones a pequeñas escalas, pero que puede producir resultados muy acertados e importantes en estas áreas de investigación.

El proyecto incluye dispositivos importantes como lo son el generador de CO₂ y la “bomba de calor”, que al ser fabricadas y obtener buenos resultados, pueden llegar a ser replicadas para escenarios semejantes o zonas que lo requieran, al igual que con la bomba de calor, fabricada a partir de u aire acondicionado.

Teniendo en cuenta las mejoras que se le van a realizar, las cuales ya están en proceso, este proyecto va a ser unos de los mas innovadores en eta área, y más que se urgía su construcción para propósitos investigativos.



12. BIBLIOGRAFÍA

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Ginebra, IPCC. 104 p.
- Johnson, MP. 2016. Photosynthesis (en línea). *Essays in Biochemistry* 60(3):255-273. DOI: <https://doi.org/10.1042/EBC20160016>.
- Keller, M. 2015. Photosynthesis and Respiration (en línea). s.l., Elsevier. p. 125-143 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-419987-3.00004-2>.
- Kumar, V., Sharma, A., Soni, J. K., & Pawar, N. (2017). Physiological response of C3, C4 and CAM plants in changeable climate. *The Pharma Innovation*, 6(9, Part B), 70.
- Lau, C.; Jarvis, A.; Ramírez, J. (2011). *Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático. CIAT Políticas en Síntesis no. 1*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 4 p.
- Ligarreto, G. (2012). *Arveja y guisante (Pisum sativum L.)*. Manual para el cultivo
- Lizano, Ó. B. (2013). *Global Warming: "The Highest Expression of the Petrofósil Civilization"*. 35.
- Albritton D.L., Allen M.R., Baede A.P.M. (2001) Summary for policy makers. In: *Climate Change 2001: The Scientific Bases. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., Van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johson C.A., Eds.). University Press, Cambridge UK/New York, NY, USA.
- Alvino Gonzales, Y. D. A., & Paucar Muñoz, A. L. (2018). Estudio Comparativo de Rendimiento en Vaina Verde con Cinco Variedades de Arveja (*Pisum sativum L.*) en la Comunidad de Yanatambon a 3,350 msnm.
- Ballesteros, H. O. B., & Aristizabal, G. E. L. (2007). *INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO*. 103.
- CBD (Convenio sobre la Diversidad Biológica). (2007). *Cambio Climático y Diversidad Biológica*. CBD. 47 p.
- Lopez, FB; Barclay, GF. 2017. *Plant Anatomy and Physiology*. s.l., Elsevier Inc. p. 45-60 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00004-4>.



- Abdel-Ghany A., K. T. (2006). On the determination of the overall heat transmission coefficient and soil heat flux for a fog cooled, naturally ventilated. *Energy Conversion and Management* 47 , 2612–2628.
- Abdulhaiy M. Radhwan, H. E. (2005). Thermal performance of greenhouses with a built-in solar distillation system: experimental study. *Desalination* , 193- 205.
- Bartzanas T., T. M. (2005). Influence of the Heating Method on Greenhouse Microclimate and Energy Consumption. *Biosystems Engineering* , 91 (4), 487- 499
- Iriarte, .. A. (2002). Acondicionamiento térmico con energía solar de un invernadero rustico para producción de plantas. Congreso regional de ciencia y tecnología .
- Jain D., T. G. (2002). Modeling and optimal design of evaporative cooling system in controlled environment greenhouse. *Energy Conversion and Management* (43), 2235-2250.
- Martín-Dominguez I.R., H.-A. R. (2002). Datos climáticos de cuatro ciudades del estado de Chihuahua, para la simulación de uso de energía. En *Memorias de la XXVI Semana Nacional de Energía Solar*. Artículo ERE 01-49 (págs. 181-185). Chetumal , Q.R, México.
- Rivera, R. (2007). La tecnología de invernadero en el valle Yaqui. Red de investigación y docencia sobre innovación científica , 1-19.
- Rucoba A., A. A. (2006). Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero en la región centro-sur de Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios* , X (19), 1-10.
- Sethi V.P., S. S. (2008). Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy* (82), 832-859
- Bonde, G. M., Najooan, M. E. I., & Karouw, S. D. S. (2021). Online Guidance System Design for Smart Greenhouse. *Jurnal Teknik Informatika*, 16(1).
- Cepeda.P, Rocha.R, Ponce.H, Garcia.A, Romero.D, Ponce.P, & Molina.A. (2010). Invernadero Inteligente basado en un Enfoque Sustentable para la Agricultura Mexicana. *Control*, May 2015.
- IPCC. (2019). Calentamiento Global de 1,5 °C. In *Intergovernmental Panel on Climate Change*.



- Kennedy, C., & Rebecca, L. (2018). Cuál es la diferencia entre el calentamiento global y el cambio climático. *Climate News, Stories, Images, & Video (ClimateWatch Magazine)*.
- Khan, F. A., Ibrahim, A. A., & Zeki, A. M. (2020). Environmental monitoring and disease detection of plants in smart greenhouse using internet of things. *Journal of Physics Communications*, 4(5). <https://doi.org/10.1088/2399-6528/ab90c1>
- Perez Monsalve, J. A. (2019). Un invernadero inteligente para optimizar los cultivos. *Revista Universidad EAFIT-Periodismo Científico*, 0(0), 136–139. <https://www.eafit.edu.co/noticias/revistauniversidadeafit/173/invernadero-inteligente-optimizar-cultivos>
- Peryanto, A., Yudhana, A., & Umar, R. (2020). Rancang Bangun Klasifikasi Citra Dengan Teknologi Deep Learning Berbasis Metode Convolutional Neural Network. *Format: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 8(2). <https://doi.org/10.22441/format.2019.v8.i2.007>
- Rayhana, R., Xiao, G., & Liu, Z. (2020). Internet of Things Empowered Smart Greenhouse Farming. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, 4(3). <https://doi.org/10.1109/JRFID.2020.2984391>
- Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Ross, A. S., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N., Waldman-Brown, A., Luccioni, A. S., Maharaj, T., Sherwin, E. D., Mukkavilli, S. K., Kording, K. P., Gomes, C. P., Ng, A. Y., Hassabis, D., Platt, J. C., ... Bengio, Y. (2023). Tackling Climate Change with Machine Learning. In *ACM Computing Surveys (Vol. 55, Issue 2)*. <https://doi.org/10.1145/3485128>
- Salas, W., Grueso, S., & Bernal, D. (2020). *Agricultura sostenible como alternativa de control y mitigación de impactos ambientales*. DTU Library.
- Tapia Coronado, J. J., Atencio Solano, L. M., Mejía-Kerguelén, S. L., Sánchez Rodríguez, L. A., & Cañar Serna, D. Y. (2021). Manual técnico de producción de semilla de variedades de maíz para el Caribe húmedo colombiano. In *Manual técnico de producción de semilla de variedades de maíz para el Caribe húmedo colombiano*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7404517>
- Yu, Y., Zhang, X., Zhang, X., & Yue, W. T. (2022). Is smart the new green? The impact of consumer environmental awareness and data network effect. *Information Technology and People*, 35(3). <https://doi.org/10.1108/ITP-10-2020-0680>