**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA**

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y

COMPUTACIÓN

INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

**PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN**

Control de Temperatura y Humedad Relativa para un invernadero, utilizando métodos neurodifusos. **ALUMNOS:**

**Mendoza Vargas Gabriela (12161346)**

**Lázaro Audelo Diana Laura (12161328)**

**Daniel Olivera Gerardo Rogelio (12161260)**

Índice

[1 Título de la investigación 4](#_Toc527634321)

[2 Resumen 4](#_Toc527634322)

[3 Planteamiento del problema 4](#_Toc527634323)

[4 Justificación y uso de los resultados 5](#_Toc527634324)

[5 Estado del arte 6](#_Toc527634325)

[5.1 Inteligencia artificial aplicada en invernaderos 6](#_Toc527634326)

[5.2 Control de variables climáticas en invernaderos usando lógica difusa 6](#_Toc527634327)

[6 Fundamento Teórico 9](#_Toc527634328)

[6.1 Invernadero 9](#_Toc527634329)

[6.1.1 Invernadero plano o tipo parral 9](#_Toc527634330)

[6.1.2 Invernadero en raspa y amagado 10](#_Toc527634331)

[6.1.3 Invernadero asimétrico o inacral 11](#_Toc527634332)

[6.1.4 Invernadero de capilla 11](#_Toc527634333)

[6.2 Efecto Invernadero 12](#_Toc527634334)

[6.3 Temperatura. 13](#_Toc527634335)

[6.4 Humedad relativa. 14](#_Toc527634336)

[6.5 Iluminación 15](#_Toc527634337)

[6.6 CO2 15](#_Toc527634338)

[6.7 Redes Neuronales: 15](#_Toc527634339)

[6.8 Lógica difusa 19](#_Toc527634340)

[6.8.1 Sistemas Neuro- difusos 20](#_Toc527634341)

[7 Hipótesis 21](#_Toc527634342)

[8 Objetivos 21](#_Toc527634343)

[8.1 Objetivo General 21](#_Toc527634344)

[8.2 Objetivos Específicos 21](#_Toc527634345)

[9 Metodología 22](#_Toc527634346)

[9.1 Tipo y diseño general del estudio: 22](#_Toc527634347)

[9.1.1 Etapas de la investigación cuantitativa 22](#_Toc527634348)

[9.2 Definición operacional de las variables 22](#_Toc527634349)

[9.3 Universo de estudio, selección y tamaño de muestra, unidad de análisis y observación. 23](#_Toc527634350)

[9.4 Procedimientos para la recolección de información, instrumentos a utilizar y métodos para el control y calidad de los datos. 23](#_Toc527634351)

[10 Plan de análisis de los resultados 24](#_Toc527634352)

[10.1 Métodos y modelos de análisis de los datos según tipo de variables. 24](#_Toc527634353)

[10.2 Programas a utilizar para análisis de los datos. 24](#_Toc527634354)

[11 Referencias Bibliográficas 25](#_Toc527634355)

[12 Cronograma 27](#_Toc527634356)

[13 Presupuesto 27](#_Toc527634357)

[14 Anexos 27](#_Toc527634358)

# 1 Título de la investigación

Control de Temperatura y Humedad Relativa para un invernadero, utilizando métodos neurodifusos.

# 2 Resumen

# 3 Planteamiento del problema

El cultivo bajo invernadero tiene como principales ventajas: la protección contra el viento, aumento de la temperatura y reducción del consumo de agua, asimismo ha permitido obtener cosechas de casi cualquier tipo de planta en cualquier época del año, gracias a que en éstos se tiene un ambiente controlado que favorece al producto que se desea obtener.

En un invernadero, los productores controlan las condiciones ambientales internas, lo cual, si se hace correctamente, facilitará un desarrollo equilibrado de la planta y una buena producción. Por el contrario, si se lleva un mal manejo de las condiciones ambientales, se pueden producir daños importantes en el cultivo, lo que a su vez disminuirá en cantidad y calidad la producción. Las distintas prácticas de cultivo que se realizan a lo largo del ciclo productivo deben adaptarse a las condiciones ambientales propias del invernadero de forma que se le permita a la planta optimizar su respuesta a dicha práctica cultural. (Fernández Galván Domingo)

Sin embargo, específicamente en México, se presentan algunos problemas por los cuales los invernaderos no logran su máxima productividad, o en casos extremos, simplemente fracasan. (Robinson, 2010) Menciona que uno de los principales inconvenientes para los productores es su falta de, ya que, si bien, ellos tienen un gran conocimiento sobre cultivo de forma tradicional, cuando adquieren invernaderos, no tienen el conocimiento adecuado para adaptarlos al clima de la región donde los establecen, ni a las plantas que se están acostumbrados.

Otro punto a tener en cuenta es que, en un invernadero tradicional, los sistemas que controlan las variables ambientales, al ser manejados por personas, pueden no estar optimizando correctamente los recursos como el agua o la energía eléctrica, produciendo consumo de energía innecesario lo cual tiene repercusiones económicas sobre los productores. (Lopez, 2017)

# 4 Justificación y uso de los resultados

Dado que en un invernadero es de suma importancia conocer el estado de las variables climatológicas que se presenten (temperatura, humedad, dióxido de carbono e iluminación), es necesario monitorearlas continuamente ya que de esta forma se puede actuar cuando algunas de ellas representen una amenaza para los cultivos beneficiando en gran medida a la producción. Dentro de los beneficios que se obtienen al tener un correcto control sobre las variables climáticas son:

* Ofrecer al cultivo un ambiente óptimo para su desarrollo
* Mejorar la producción del cultivo
* Calidad en la cosecha

Con un sistema de control inteligente se obtiene aún más beneficios, dentro de los cuales se encuentra el ahorro de recursos como el agua o la electricidad, ya que estos sistemas actúan sólo cuando es necesario; además, debido a que proporcionan datos precisos de las variables que monitorean, son capaces de prevenir posibles cambios en el ambiente que pudieran dañar al cultivo, adaptándose a entornos no favorables para las plantas que se deseen cultivar.

Lo anterior favorece a los productores tanto económica como productivamente, ya que podrán cultivar casi cualquier tipo planta en la temporada del año que el productor desee, y no se requerirá de personal que realice las tareas de monitoreo de estado climático.

# 5 Estado del arte

5.1 Inteligencia artificial aplicada en invernaderos

Un grupo de expertos de la UNAM en colaboración con Instituto de Ciencias Físicas, el IBt, el IIBm, científicos del Colegio de Postgraduados y de Fideicomisos Instituidos con la Agricultura, desarrollaron un proyecto con el cual es posible cuantificar los parámetros principales de un invernadero (temperatura, humedad relativa, radiación solar, acidez y conductividad eléctrica del suelo, además de controlar la humedad en sustratos estructurados, con el objetivo de producir hortalizas de alta calidad. (Dirección General de Comunicación Social, UNAM, 2016)

El equipo “Deep Greens” perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México, realizó un algoritmo que simula la termodinámica, fotosíntesis, respiración, crecimiento, uso de agua, humedad relativa y todo lo que ocurre dentro de un invernadero, y que al mismo tiempo responde a instrucciones como abrir o cerrar ventilas, o subir y bajar la calefacción. Con él, la empresa Intel entrena a sus algoritmos de inteligencia artificial. Una vez entrenado el algoritmo se toman decisiones respecto a las condiciones que se consideren óptimas para el crecimiento de las plantas, este proceso se hace cada 5 minutos y se decide entre 20 parámetros, dicho proceso influye directamente en la cosecha de la planta que se encuentre en el invernadero. El objetivo fue utilizar la inteligencia artificial para controlar invernaderos holandeses, reconocidos por su alta tecnología en aspectos como control de temperatura, encendido de luces, apertura de ventanas para ventilación, riego e inyección de dióxido de carbono. (UNAM, 2018)

5.2 Control de variables climáticas en invernaderos usando lógica difusa

En el trabajo presentado por el Dr. Irineo L. López–Cruz*,* de la Universidad Autónoma de Chapingo, se desarrolló un modelo neurodifuso para la predicción de la humedad y la temperatura del aire de un invernadero considerando como variables de entrada la temperatura, humedad relativa, radiación solar global, velocidad y dirección del viento medidas fuera del mismo, dicho método fue probado en don invernaderos, ubicados en la Universidad de Chapingo y la Universidad de Querétaro, respectivamente. A pesar de las diferencias ambientales y el hecho de que en sólo un invernadero hubiera cultivo, el modelo predijo la humedad y la temperatura de forma aceptable. (Cruz, 2010)

El Tecnológico de Monterrey, campus Ciudad de México realizo el análisis, diseño e implementación de un invernadero inteligente con el cual se busca proponer un modelo innovador que mejore la calidad y cantidad de los cultivos hidropónicos de la región, enfrentando al mismo tiempo el reto de la sustentabilidad, las variables que se buscan controlar son: temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa, conductividad eléctrica y pH (acidez) de la solución de nutrientes. La aplicación de técnicas de control mediante lógica difusa ayuda al invernadero a regular las variables ambientales para generar un microclima que garantiza el óptimo desarrollo del cultivo, las reglas del control difuso son obtenidas a partir de las pruebas realizadas dentro del invernadero inteligente que dan a conocer el comportamiento de las variables (temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa, conductividad eléctrica y pH) y dan una idea de cómo deben responder los sistemas ante sus variaciones.(CEPEDA)

En el Departamento de Sistemas y Computación del Instituto Tecnológico de Oaxaca, se desarrolló un prototipo para el monitoreo de variables climáticas en invernaderos, este prototipo también incluye tres módulos; el módulo de adquisición de datos, compuesto por sensores DHT11, módulo de procesamiento y predicción, compuesto por una Red Neuronal Artificial (RNA), la cual usa como patrones de entrada información climatológica de invernaderos de los Valles Centrales del estado de Oaxaca, y la interfaz gráfica de usuario, en la cual se muestran los datos capturados por los sensores y las predicciones arrojadas por la RNA. (PÉREZ PÉREZ ALEJANDRO, 2017)

En el Instituto Tecnológico de Colima se realizó un sistema de control difuso para el monitoreo de la temperatura, la humedad, el ph y la conductividad eléctrica en invernaderos de plantas ornamentales, con el fin de aumentar la productividad de los cultivos. El desconocimiento en tiempo real de los parámetros resulta en pérdidas de plantas por la elevación de temperatura y humedad, además de una incorrecta aplicación de fertilizantes por el desconocimiento de la conductividad eléctrica y el pH. Para el diseño y desarrollo del sistema utilizaron la herramienta jFuzzyLogic, los parámetros fueron sensados y enviados mediante ZigBee a un servidor en el cual se implementó un panel de monitoreo web. (GALLEGOS)

# 6 Fundamento Teórico

6.1 Invernadero

Invernadero es toda aquella estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas en condiciones óptimas y fuera de temporada. Es el sistema más simple y económico, para captar energía solar en favor de los cultivos. (Ing. Agr. MSc. Eduardo Miserendino, 2014)

La revista Infoagro, en un artículo de su sitio web (Infoagro, 2016), define los siguientes tipos principales de invernaderos:

6.1.1 Invernadero plano o tipo parral

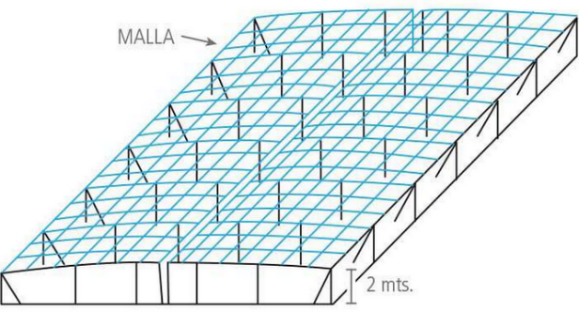


Figura 5. Invernadero plano o tipo parral.

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción. La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal.

La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (pies derechos).

Los pies derechos intermedios suelen estar separados unos 2 m en sentido longitudinal y 4m en dirección transversal, aunque también se presentan separaciones de 2x2 y 3x4.

Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30º con respecto a la vertical y junto con los vientos que sujetan su extremo superior sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta. Estos apoyos generalmente tienen una separación de 2 m aunque en algunos casos se utilizan distancias de 1,5 m. Tanto los apoyos exteriores como interiores pueden ser rollizos de pino o eucalipto y tubos de acero galvanizado.

La estructura horizontal está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero y que sirven para portar y sujetar la lámina de plástico.

 Los invernaderos planos tienen una altura de cubierta que varía entre 2,15 y 3,5 m y la altura de las bandas oscila entre 2 y 2,7 m. Los soportes del invernadero se apoyan en bloques tronco-piramidales prefabricados de hormigón colocados sobre pequeños pozos de cimentación.

6.1.2 Invernadero en raspa y amagado

Su estructura es muy similar al tipo parral, pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbrera, que oscila entre 3 y 4.2 m, formando lo que se conoce como raspa. En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permite colocar los canalones para el desagüe de las aguas pluviales. La altura del amagado oscila de 2 a 2.8 m, la de las bandas entre 2 y 2.5 m.

Características:

* Tiene mayor volumen unitario y por tanto una mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos.
* Presenta buena estanqueidad a la lluvia y al aire, lo que disminuye la humedad interior en periodos de lluvia.
* Presenta una mayor superficie libre de obstáculos.

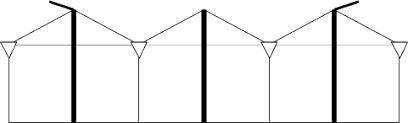


Figura 6. Invernadero en raspa y amagado

6.1.3 Invernadero asimétrico o inacral

Difiere del tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol.

Características:

* La inclinación de la cubierta debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo. Este ángulo deberá ser próximo a 60º pero ocasiona grandes inconvenientes por la inestabilidad de la estructura a los fuertes vientos. Por ello se han tomado ángulo comprendidos entre los 8 y 11º en la cara sur y entre los 18 y 30º en la cara norte.
* La altura máxima de la cumbrera varía entre 3 y 5 m, y su altura mínima de 2,3 a 3 m. La altura de las bandas oscila entre 2,15 y 3 m. La separación de los apoyos interiores suele ser de 2x4 m.

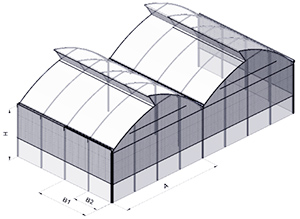


Figura 7. Invernadero asimétrico.

6.1.4 Invernadero de capilla

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas.

Este tipo de invernadero se utiliza bastante, destacando las siguientes ventajas:

* Es de fácil construcción y de fácil conservación.
* Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
* La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.
* Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.
* Permite la unión de varias naves en batería.

La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros. La altura en cumbrera está comprendida entre 3.25 y 4 metros.

Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia. (Infoagro, 2016)



Figura 8. Invernadero de capilla.

6.2 Efecto Invernadero

(Castilla, 2007) Establece que el efecto invernadero se produce por dos principales razones: Un efecto de confinamiento derivado de la reducción del aire de la atmosfera exterior; y un efecto invernadero debido a la cubierta, la cual es una pantalla poco transparente a los rayos infrarrojos largos que son emitidos por el suelo, la vegetación y todos los elementos interiores expuestos a los rayos solares. Este segundo efecto, se denomina a veces como *Efecto Invernadero Radiactivo* o *Trampa de Calor.*

En el trabajo presentado por (Ing. Agr. MSc. Eduardo Miserendino, 2014), se mencionan los siguientes datos importantes acerca del efecto invernadero:

El principal gas que se debe tener en cuenta es el dióxido de carbono (CO2), ya que es esencial para que las plantas realicen la fotosíntesis. La concentración de este gas dentro de un invernadero es muy pequeña: 3 partes por millón (ppm), por lo que se debe contar con una buena ventilación para mantener siempre la concentración adecuada de CO2 con el fin de que el proceso fotosintético se lleve a cabo correctamente y evitar retrasos en el crecimiento de las plantas.

Otro gas que es importante dentro del invernadero es el vapor de agua, ya que este se condensa sobre la cubierta del mismo y disminuye la cantidad de radiación entrante, produciendo gotas de agua que afectan la humedad relativa dentro del invernadero y favorecen el desarrollo de organismos que afectan el desarrollo de las plantas y la penetración de agua en el suelo.

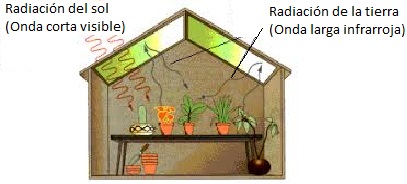


Figura 9. Representación del efecto invernadero.

6.3 Temperatura.

La temperatura es un factor determinante de la actividad metabólica y del crecimiento y desarrollo de los vegetales. Por tanto, la ausencia de control térmico cuando la temperatura se sitúa por debajo de estos niveles impide la programación de las cosechas y se generan amplias variaciones en la cantidad y calidad de la producción, al mismo tiempo, los cambios en la actividad metabólica, a veces bruscos, pueden inducir el envejecimiento precoz de las plantas y por tanto reducción de su potencial productivo. (Lorenzo).

(Castilla, 2007) Menciona que existen dos condiciones climáticas que hay que tener en cuenta cuando se trate de invernaderos: las condiciones externas e internas, dentro de las cuales existe una temperatura a considerar en cada una de ellas.

Para el caso de la temperatura interna, se consideran los siguientes factores:

Temperatura del suelo. Siguen una evolución de aspecto sinusoidal. El tipo de riego influye en esta temperatura, de una parte, por la propia temperatura del agua y de otra parte por su incidencia en la evaporación de agua en el suelo y, por tanto, en el balance de energía.

Inercia térmica del invernadero: El suelo junto con el sustrato en cultivo, son los factores de inercia térmica del invernadero. Una capa de suelo de 10 cm de espesor posee de 5 a 8 veces más capacidad térmica que la masa de un cultivo normal.

En cuanto a la temperatura externa, se considera lo siguiente:

La temperatura del aire: Varía en cada lugar dependiendo de la radiación solar, en ciclos de 24 horas y con cambios debido a las estaciones del año. Por ejemplo, en los equinoccios, con la misma radiación solar, hace más frio a finales de marzo que a finales de septiembre.

Temperatura del suelo. Determina la temperatura de los órganos subterráneos. El suelo, en la superficie, actúa como un volante térmico y estacional, calentándose y enfriándose mucho más despacio que el aire a su alrededor.

6.4 Humedad relativa.

La humedad relativa (HR) indica el contenido de vapor de agua en el aire a una temperatura determinada como porcentaje de la capacidad máxima en la saturación. Ésta variable es inversamente proporcional a la temperatura. A mayor temperatura, mayor volumen y mayor capacidad de retener vapor de agua (Razón de humedad) y menor humedad relativa, para una masa constante de aire. (J. C. Roy)

El control de esta variable es de suma importancia puesto que valores menores al 50% aumentan la tasa de transpiración de los cultivos generando condiciones de estrés hídrico que limitan la productividad final de esos cultivos Valores superiores al 90% incrementan el riesgo de incidencia de enfermedades principalmente de hongos al aumentar la posibilidad de que se produzca condensación sobre el cultivo, propician la disminución de la tasa de transpiración, desequilibrio hormonal y abortos florales por apelmazamiento de polen. Estas alteraciones pueden incidir en el crecimiento y desarrollo, así como provocar anomalías en la planta. (Seginer)

6.5 Iluminación

En un artículo publicado en el sitio web de la revista infoAgro (infoAgro, s.f.), se indica que, a mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la HR y el CO2, para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores.

(Huertas, 2006) Menciona que existen tres propiedades de la luz solar que requieren ser modificadas en un vivero forestal: intensidad, calidad y duración. En cultivo al aire libre, la luz solar no es controlada, pero en invernadero, las opciones se incrementan a medida que el diseño del vivero es más sofisticado.

La intensidad de la luz solar puede reducirse mediante mallas y pantallas de sombreo. En la actualidad existen sofisticados sistemas automatizados para maximizar el requerimiento de luz del cultivo durante todo un día y bajo diferentes condiciones de nubosidad. Debido a que la luz solar es convertida en calor cuando alcanza al cultivo, la sombra artificial además es utilizada como la primera fase de enfriamiento

6.6 CO2

El anhídrido carbónico de la atmósfera es la materia prima imprescindible de la función clorofílica de las plantas. El enriquecimiento de la atmósfera del invernadero con CO2, es muy interesante en muchos cultivos, tanto en hortalizas como en flores.

La concentración normal de CO2 en la atmósfera es del 0,03%. Este índice debe aumentarse a límites de 0,1-0,2%, cuando los demás factores de la producción vegetal sean óptimos, si se desea el aprovechamiento al máximo de la actividad fotosintética de las plantas. Las concentraciones superiores al 0,3% resultan tóxicas para los cultivos.

(Gómez, 2017)

6.7 Redes Neuronales:

El concepto de redes neuronales tiene sus inicios en el año de 1936, donde Alan Turing fue el primero en estudiar el cerebro y encuentra relaciones entre la forma en que trabaja y la computadora. Sin embargo en 1943, Warren McCulloch, un neurofisiólogo, y Walter Pitts, un matemático, fueron los primeros en concebir los fundamentos de la computación neuronal lanzando una teoría acerca de la forma de trabajar de las neuronas, modelando una red neuronal simple mediante circuitos eléctricos.

En 1949 Donald Hebb, fue el primero en explicar los procesos del aprendizaje desde un punto de vista psicológico, desarrollando así una regla de como ocurría el aprendizaje. Los trabajos de Hebb formaron las bases de la teoría de las redes neuronales.

En 1957 Frank Rosenblatt inicio el desarrollo del Perceptron, esta es la red neuronal más antigua; utilizándose hoy en día para aplicación como identificador de patrones geométricos y abstractos.

Año 1974 Paul Werbos desarrolló la idea básica del algoritmo de aprendizaje de propagación hacia atrás (backpropagation). Años más tarde David Rumelhart y G. Hinton redescubrieron este algoritmo de aprendizaje. A partir de 1986, el panorama fue alentador con respecto a las investigaciones y el desarrollo de las redes neuronales. (Matich D. J.)

Las redes neuronales son modelos simples del funcionamiento del sistema nervioso. Se trata de un sistema de interconexión de neuronas que colaboran entre sí para producir un estímulo de salida, que generalmente se organizan en capas. (Lourismar,s.f.)

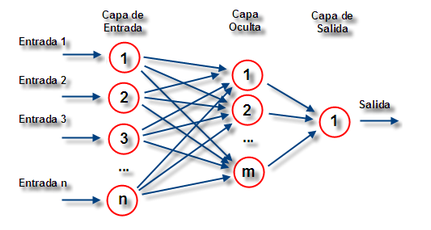


Figura 10. Diagrama de una red neuronal artificial.

La distribución de neuronas dentro de la red se realiza formando niveles o capas, con un número determinado de dichas neuronas en cada una de ellas. A partir de su situación dentro de la red, se pueden distinguir tres tipos de capas:

* *De entrada*: es la capa que recibe directamente la información proveniente de las fuentes externas de la red.
* *Ocultas*: son internas a la red y no tienen contacto directo con el entorno exterior. El número de niveles ocultos puede estar entre cero y un número elevado.

Las neuronas de las capas ocultas pueden estar interconectadas de distintas maneras, lo que determina, junto con su número, las distintas topologías de redes neuronales.

* *De salidas*: transfieren información de la red hacia el exterior.

(Matich D. J., 2001)

En una RNA se desea encontrar una configuración óptima de pesos de tal manera que ella pueda aprender un conjunto de patrones. El entrenamiento se convierte en un problema de programación no lineal, donde las variables de estado, los pesos sinápticos, son variables ilimitadas. (Bazaraa M.S, 1993)

La capacidad de aprendizaje adaptativo es una de las características más atractivas de redes neuronales. Esto es, aprenden a llevar a cabo ciertas tareas mediante un entrenamiento con ejemplos ilustrativos.

Como las redes neuronales pueden aprender a diferenciar patrones mediante ejemplos y entrenamientos, no es necesario elaborar modelos a priori ni necesidad de especificar funciones de distribución de probabilidad. (Matich D. J., 2001)

La red neuronal con capas ocultas se puede entrenar mediante Back-propagation, que es un sistema automático de entrenamiento, en este tipo de redes, el problema a la hora de entrenarlas estriba en que sólo conocemos la salida de la red y la entrada, de forma que no se pueden ajustar los pesos sinápticos asociados a las neuronas de las capas ocultas, ya que no podemos inferir a partir del estado de la capa de salida como tiene que ser el estado de las capas ocultas.

El sistema de entrenamiento mediante back-propagation consiste en:

* Empezar con unos pesos sinápticos cualquiera (generalmente elegidos al azar).
* Introducir unos datos de entrada (en la capa de entradas) elegidos al azar entre los datos de entrada que se van a usar para el entrenamiento.
* Dejar que la red genere un vector de datos de salida (propagación hacia delante).
* Comparar la salida generada por la red con la salida deseada.
* La diferencia obtenida entre la salida generada y la deseada (denominada *error*) se usa para ajustar los pesos sinápticos de las neuronas de la capa de salidas.
* El error se propaga hacia atrás (back-propagation), hacia la capa de neuronas anterior, y se usa para ajustar los pesos sinápticos en esta capa.
* Se continúa propagando el error hacia atrás y ajustando los pesos hasta que se alcance la capa de entradas.

Este proceso se repetirá con los diferentes datos de entrenamiento. (Anomino, s.f.)

6.8 Lógica difusa

Lógica Difusa o lógica borrosa, fue creada por el matemático Zadeh en 1965. Es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento. (Morcillo)

La lógica difusa utiliza expresiones que no son ni totalmente ciertas ni completamente falsas, es decir, se aplica a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total. Establezcamos algunos ejemplos:

* La temperatura en una habitación (25° C), para una persona puede sentirse un ambiente muy frio, mientras que otra puede sentirlo muy caluroso.
* Una persona que mide 1.75 mts, en el estado de Oaxaca se considera una persona alta, en el norte de México es tomada como una estatura normal, mientras que en Holanda sería una estatura baja.

Conviene recalcar que lo que es difuso o borroso no es la lógica en sí, sino el objeto que se estudia.

La lógica difusa es una alternativa a la lógica clásica, que pretende introducir un grado de vaguedad en las cosas que se evalúan. En el mundo en que vivimos existe mucho conocimiento ambiguo e impreciso por naturaleza. El razonamiento humano con frecuencia actúa con este tipo de información. La lógica difusa fue diseñada precisamente para imitar el comportamiento del ser humano.

La lógica difusa en comparación con la lógica convencional permite trabajar con información que no es exacta para poder definir evaluaciones convencionales, contrario a la lógica tradicional que permite trabajar con información definida y precisa. (Morcillo).

6.8.1 Sistemas Neuro- difusos

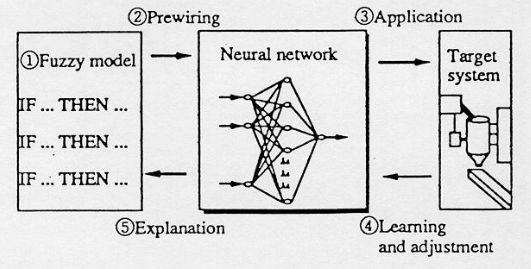
La colaboración entre las redes neuronales artificiales y la lógica difusa puede ser utilizado para resolver o mejorar algunas de las limitaciones que presentan cada una de ellas, estos sistemas híbridos son llamados sistemas neuro-difusos, los cuales desarrollan las propiedades y ventajas propias de cada tecnología en beneficio de la otra complementaria, obteniendo una mejora importante en el comportamiento global del sistema.

Figura 11 Sistema Neuro-difuso

La cooperación de ambas tecnologías se realiza en los siguientes pasos:

a) A partir del conocimiento que tienen los expertos del sistema a controlar se infieren las funciones de pertenencia y las reglas borrosas que definen el modelo borroso del sistema objeto de estudio.

b) Se establecen las conexiones y el valor inicial de los pesos de la red neuronal de acuerdo con el modelo borroso.

c) Se aplica dicha Red Neuronal al sistema objeto de estudio.

d) La red neuronal es entrenada con los datos obtenidos para mejorar su precisión.

e) Después del entrenamiento, las conexiones y los pesos de la red neuronal son interpretados como funciones de pertenencia y reglas difusas. De esta manera queda explicitado el conocimiento adquirido por la red neuronal y el modelo borroso del sistema representa con mayor precisión al sistema real.

(Xabier Basogain Olabe )

# 7 Hipótesis

Se puede desarrollar un sistema automático para el control de temperatura y humedad relativa que utilice métodos de control difuso y predicción por medio de redes neuronales artificiales para mantener las condiciones dentro de rangos establecidos.

# 8 Objetivos

8.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de control de temperatura y humedad relativa para un prototipo de invernadero inteligente utilizando un controlador difuso que responda a predicciones realizadas por una red neuronal entrenada con información climática local.

8.2 Objetivos Específicos

* Construir un prototipo de invernadero para realizar las pruebas y obtener las lecturas climatológicas que se utilizarán durante la investigación.
* Elaborar un sistema de adquisición de datos de las variables ambientales dentro y fuera del invernadero.
* Programar el módulo de procesamiento y predicción de variables climáticas utilizando Redes Neuronales Artificiales.
* Realizar el módulo de control difuso para el prototipo de invernadero.
* Diseñar y codificar el sistema de control y monitoreo en un ambiente web, que incorpore los elementos anteriores.
* Entrenar la red neuronal con lecturas de variables climatológicas anteriores y actuales.
* Realizar pruebas en el prototipo de invernadero para verificar si el módulo de control difuso es capaz de ofrecer soporte y actuar si se predicen cambios drásticos de temperatura.

# 9 Metodología

9.1 Tipo y diseño general del estudio:

Esta investigación es de tipo cuantitativa debido a que el problema planteado está orientado hacia la descripción, predicción y explicación, además de ser específico y acotado, también está dirigido hacia métodos medidos u observables.

La recolección de datos se hará a través de los valores de la temperatura y humedad relativa para desarrollar el método neurodifuso que será implementado en el sistema de control de las variables climáticas antes mencionadas.

Se hará uso de un prototipo de invernadero para recolectar los datos (temperatura y humedad relativa) con el fin de entrenar las redes neuronales.

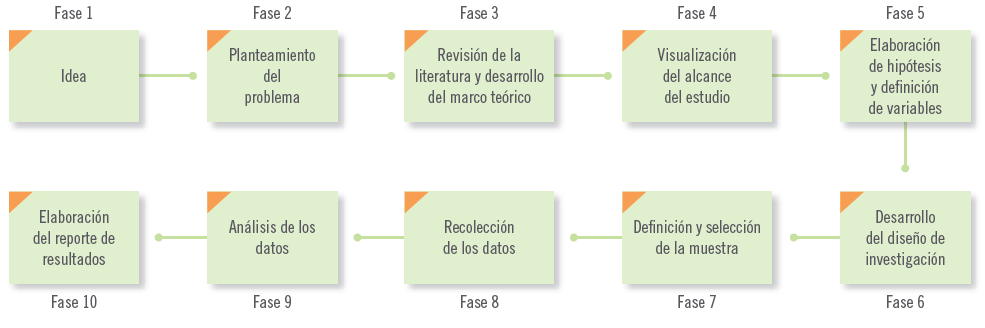
9.1.1 Etapas de la investigación cuantitativa

Figura 12.- Proceso cuantitativo

Fuente: (Sampieri, 2010)

9.2 Definición operacional de las variables

Considerando el tipo de investigación, las variables a considerar son las siguientes:

De tipo cuantitativo o numérico:

* Temperatura
* Humedad Relativa

Para la recolección de datos se considerará estas variables, las cuales servirán como datos de entrada que serán usados para entrenar la red neuronal.

9.3 Universo de estudio, selección y tamaño de muestra, unidad de análisis y observación.

Para este tipo de investigación no se realizará el procedimiento de selección de muestra, es decir, el objetivo (invernadero) será seleccionado de forma no probabilística o por conveniencia.

La recolección de datos de variables climatológicas se hará en un prototipo de invernadero de las siguientes dimensiones:

1 m de ancho x 1.5 m de largo x 80 cm de alto

La unidad de análisis estará conformada por la red neuronal y el sistema de control.

9.4 Procedimientos para la recolección de información, instrumentos a utilizar y métodos para el control y calidad de los datos.

Se diseñará y construirá el dispositivo de adquisición de datos, el cual estará conformado por sensores dht11 y Arduino UNO principalmente, con el fin de que dicho dispositivo sea colocado dentro del prototipo de invernadero para recolectar la lectura de las variables climatológicas (temperatura y humedad relativa), las cuales serán transmitidas al sistema de control para su uso posterior.

Cabe destacar que será pertinente colocar otro dispositivo fuera del invernadero ya que también se recolectarán los datos del exterior, debido a la influencia que puede tener el clima externo con el del prototipo.

En caso de que los datos sean comprometidos, es decir, no puedan transmitirse por alguna razón y llegar al sistema, se procederá a guardar estas lecturas dentro de un archivo que estará en el dispositivo de adquisición de datos, al cual se tenga acceso una vez que haya conexión a internet.

# 10 Plan de análisis de los resultados

10.1 Métodos y modelos de análisis de los datos según tipo de variables.

Ya que se definió el tipo de variables y el método para su recolección, se procederá a ingresar los datos como entradas de la red neuronal, para que ésta pueda ser entrenada y sea posible, a través de ella, la predicción de las variables climatológicas.

El sistema de control procederá a considerar los valores resultantes, es decir las predicciones para que sean consideradas por el método neurodifuso por si representan alguna amenaza para las condiciones óptimas a considerar dentro del prototipo del invernadero, y se pueda actuar en consecuencia.

10.2 Programas a utilizar para análisis de los datos.

El software o aplicaciones a desarrollar durante la presente investigación son:

Red neuronal

Método neurodifuso

Sistema de control que estará conectado a los actuadores del prototipo para el sistema de ventilación, riego e iluminación.

# 11 Referencias Bibliográficas

Anomino. (s.f.). *Redes Neuronales Artificiales*. Obtenido de http://perso.wanadoo.es/alimanya/backprop.htm

*Arduino.cl*. (s.f.). Obtenido de http://arduino.cl/arduino-uno/

Bazaraa M.S, S. H. (1993). *Nolinear Programming Theory and Alorithms.* Wiley.

Castilla, N. (2007). Invernaderos de Plástico. Tecnología y Manejo. En N. Castilla, *Invernaderos de Plástico. Tecnología y Manejo* (págs. 63-64). Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa.

Cruz, D. I. (2010). Modelos neuro–difusos para temperatura y humedad del aire en invernaderos tipo cenital y capilla en el centro de México. *Agrociencia*.

Dirección General de Comunicación Social, UNAM. (21 de Noviembre de 2016). *PARTICIPAN UNIVERSITARIOS EN DISEÑO DE SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE HORTALIZAS EN INVERNADERO .* Obtenido de http://www.dgcs.unam.mx/: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2016\_802.html

*EcoInventos*. (07 de 06 de 2017). Obtenido de https://ecoinventos.com/efecto-invernadero/

Fernández Galván Domingo, H. D. (s.f.). Actividades del ICIA. *Actividades del ICIA.* Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Islas Canarias.

GALLEGOS, E. F. (s.f.). SISTEMA DE CONTROL DIFUSO PARA EL MONITOREO DE LA. *SISTEMA DE CONTROL DIFUSO.* Instituto Tecnológico de Colima, Colima.

Gómez, V. V. (2017). *Principios básicos para el manejo climático de invernaderos.* Obtenido de intagri.com: https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/%20%20principios-basicos-para-el-manejo-climatico-de-invernaderos

Huertas, L. (2006). Control ambiental en el vivero. *Revist Extra*, 82-84.

Infoagro. (07 de Julio de 2016). *Principales tipos de invernaderos.* Obtenido de infoagro.com: https://infoagro.com/mexico/principales-tipos-de-invernaderos/

infoAgro. (s.f.). *CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS (1ª parte)* . Obtenido de www.infoagro.com: http://www.infoagro.com/industria\_auxiliar/control\_climatico.htm

Ing. Agr. MSc. Eduardo Miserendino, I. A. (Febrero de 2014). *Invernaderos: aspectos básicos sobre.* Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\_agricultura23\_invernadero.pdf

J. C. Roy, T. B. (s.f.). Convective and Ventilation Transfers in Greenhouses, Part 1: the Greenhouse. *Convective and Ventilation Transfers in Greenhouses, Part 1: the Greenhouse.* Silsoe Research Institute.

Lara, E. (23 de Marzo de 2015). *Hetpro*. Obtenido de https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-dht11/

Lopez, B. (2017 de Noviembre de 2017). *UNCOMO*. Obtenido de Ventajas y desventajas de los invernaderos: https://negocios.uncomo.com/articulo/ventajas-y-desventajas-de-los-invernaderos-44037.html

Lorenzo, P. (s.f.). Cuaderno de estudios Agroalimentarios. *EL CULTIVO EN INVERNADERO Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA.* Publicaciones de Cajamar Caja Rural, Almería, España.

Matich, D. J. (2001). *Redes neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones.*

Matich, D. J. (s.f.). Redes Neuronales: Conceptos Básicos y aplicaciones. *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y aplicaciones.* Universidad Tecnologica Nacional.

Morcillo, C. G. (s.f.). *Lógica Difusa.* Obtenido de Escuela Superor de Informatica.

*Node.js*. (s.f.). Obtenido de https://nodejs.org

Novedades Agrícolas. (2016). *Invernaderos Automatizados e Inteligentes* . Obtenido de novedades-agricolas.com: http://www.novedades-agricolas.com/es/invernaderos-automatizados-inteligentes

PÉREZ PÉREZ ALEJANDRO, M. O. (2017). Prototitpo basado en redes neuronales para monitoreo y predicción de temperatura en invernaderos de los Valles Centrales de Oaxaca. *Revista de Prototipos Tecnológicos*, 14-23.

Robinson, J. (12 de Noviembre de 2010). *Controversia: ¿por qué fracasan los invernaderos en México?* Obtenido de www.hortalizas.com: https://www.hortalizas.com/miscelaneos/controversia-por-que-fracasan-los-invernaderos-en-mexico/

Romero, L. (27 de agosto de 2018). *Equipo de ENES León, primer lugar en diseño de invernadero.* Obtenido de http://www.gaceta.unam.mx: http://www.gaceta.unam.mx/equipo-de-enes-leon-primer-lugar-en-diseno-de-invernadero/

Sampieri, R. H. (2010). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. En R. H. Sampieri, *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (pág. 656). Mc Graw Hi.

Seginer, I. (s.f.). Structures and Environment: The Penman–Monteith Evapotranspiration Equation as an Element in Greenhouse Ventilation Design. *Structures and Environment: The Penman–Monteith Evapotranspiration Equation as an Element in Greenhouse Ventilation Design.* Byosistems engineering.

UNAM. (1 de Agosto de 2018). *DGCS Dirección General de Comunicación Social*. Obtenido de http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018\_461.html

Xabier Basogain Olabe . (s.f.). REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y SUS APLICACIONES. *REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y SUS APLICACIONES.* Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, EHU.

# 12 Cronograma

# 13 Presupuesto

# 14 Anexos