

## DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO DE PLÁNTULAS DE TOMATE ROJO

### DESIGN AUTOMATION OF A GREENHOUSE RED TOMATO SEEDLINGS

Jairo Daza Castro<sup>1</sup>, Gerzhel Gómez Julio<sup>2</sup>, y José G Maestre Rivera<sup>3</sup>

1. Universidad Antonio Nariño y Universidad del Magdalena, Facultad de Ingenierías.

2. Universidad de La Guajira, Facultad de Ciencias económicas y Administrativas.

3. Programas de Energías Alternativas SENA.  
Colombia.

[gerzhel@uniguajira.edu.co](mailto:gerzhel@uniguajira.edu.co)

Recibido: Marzo 17 de 2014 Aceptado: Septiembre 8 de 2014

---

#### RESUMEN

La presente publicación buscó proponer la automatización de un invernadero para producción de plántulas de tomate rojo, conllevado esto a que tiene ventajas muy evidentes en los procesos industriales; mejorando en costes, servicio y calidad. Así mismo, producen menos problemas de calidad por realizarse el trabajo de una manera más uniforme debido a las especificaciones dadas al automatismo. Todo esto tiene su razón de ser en la constante necesidad del hombre de mejorar procesos, reducir tiempo y costos, ha logrado avances importantes en materia tecnológica, como se aprecia en sistemas de automatización y control. De esa forma, a través de la aplicación de las nuevas tecnologías desarrolladas en los últimos tiempos, es posible contar con una solución que permita la automatización de sistemas de control, las cuales permitan el manejo de la información de manera rápida y almacenable. Así, bajo el esquema metodológico de una investigación de tipo proyectiva – descriptiva, con un diseño documental – transaccional, donde se empleó la observación directa no estructurada para recolectar información sobre el estado de la variable estudiada, para finalmente poder diseñar la automatización del proceso, y conocer la factibilidad de solución del mismo, realizándose varias simulaciones a través del software de simulación Mathwork, MatLab 7.5. Después de haber desarrollado el proceso de automatización y control de un vivero de plántulas de tomate rojo, se procedió a realizar las simulaciones utilizando los toolbox de sistemas de control y de lógica difusa en Simulink, realizando de esta manera la validación del modelo propuesto, determinado así la funcionalidad operativa del sistema automatizado; suministrando una factibilidad operativa de aplicación del mismo y dando solución al problema encontrado.

Palabras Clave: Automatización, temperatura, humedad, iluminación, ventilación.

---

#### ABSTRACT

This publication sought to propose automation for greenhouse seedling production of red tomato, I led this it has very obvious advantages in industrial processes; improving cost, service and quality. Also, produce less quality problems by working more uniformly performed because the specifications to automation. All this has its reason for being in constant need of man to improve processes, reduce time and cost, has made significant advances in technology, as seen in automation and control systems. Thus, through the application of new technologies developed in recent times, it is possible to have a solution that enables the automation of control systems, which allow processing information quickly and storable manner. Thus, under the methodological framework of an investigation of projective type - descriptive, with a documentary design - transactional, where he direct unstructured observation to collect information on the state of the variable studied, to finally design the automation of the process used, and know the feasibility of a solution thereof, performing several simulations through Mathwork simulation software, MatLab 7.5. Having developed the process automation and control of a seedling nursery red tomato, proceeded to perform the simulations using the toolbox control systems and fuzzy logic in Simulink, thereby performing the validation of the proposed model, given and the operational functionality of the automated system; providing an operational feasibility of application of the resulting solution and the problem encountered.

Keywords: Automation, temperature, humidity, lighting, ventilation.

---

## I. INTRODUCCIÓN

Los nuevos paradigmas de los sistemas de automatización están señalados por las organizaciones como innovaciones de avances tecnológicos, ya que estos se encargan de agilizar procesos de grandes flujos de información. De esta manera el desarrollo de dichos sistemas ha obligado a muchas organizaciones a automatizar sus procesos obteniendo de esta manera confiabilidad y agilidad en el funcionamiento de sus operaciones de manera eficiente colocándola en un mercado altamente competitivo.

En ese contexto, para el desarrollo de un sistema automatizado la organización debe tanto obtener, como utilizar información del medio ambiente, el cual debe asegurarse de que todos los procesos se planeen, se pongan en práctica, se coordinen y se controlen en forma adecuada. Así, los sistemas de automatización constituyen una herramienta importante para las industrias, ya que permiten automatizar los procesos, haciendo que los mismos sean más efectivos para así optimar la utilización de la infraestructura, asimismo, el manejo de los recursos humanos de la empresa.

Aunado a esto, entre los beneficios generales aportados por los programas de automatización se pueden nombrar, la recuperación de la producción diferida, la reducción de los costos operacionales, así como también de mantenimiento y beneficios intangibles. El ganancial asociado a la automatización está estimado en función de los beneficios por incremento en la disponibilidad de producción. De allí, que la reducción de costos se basa en tanto en la reorientación de labor operacional (horas - hombre), como en la disminución de los costos de transporte.

Asimismo, constará en que las mediciones serán más precisas de parámetros operacionales; obtención de esta información en tiempo real para la toma de decisiones, el análisis de procesos y el diagnóstico de problemas; capacidad de poder controlar el proceso, así como también las contingencias de manera inmediata.

Dentro de esas configuraciones, el objetivo de esta investigación es una vez obtenido todos los beneficios de la automatización en el vivero para producción de plántulas de tomate rojo, es aumentar la eficiencia de la operación total, implementando la automatización y control, sobre el existente en estas instalaciones, relevando la operación del personal, así como de muchos de los ajustes de rutina, como también, las modificaciones del sistema.

### **1. Importancia de la automatización de un vivero para la producción de plántulas de tomate rojo.**

El tema de sistemas de información aparece, la gente habla acerca de “traer” los sistemas más cerca del negocio, modificar el enfoque puramente tecnológico a uno de más énfasis a las necesidades de todo el negocio, donde se tiene que las computadoras y las comunicaciones pueden utilizarse para cubrirlas. A fin de cuentas, los sistemas de información tratan de enfocarse al cumplimiento de tanto metas, como de objetivos específicos del negocio, por ello deben ser efectivo, así como también, eficientes.

Así, en el mundo competitivo de los negocios de hoy, las empresas requieren mantener un enfoque centrado tanto en sus productos, como en sus clientes. Para ello se necesita de una tecnología que aproveche al máximo la automatización, haciendo más eficientes los controles de los procesos administrativos. Este control debe estar enmarcado dentro de un conjunto de mecanismos (tales como: estándares y medios para comparar el desempeño), los cuales aumentan las probabilidades de que las actividades que afectan los objetivos de la organización se lleven a cabo en forma apropiada. El control también permite detectar, así como notificar

cuales actividades de los procesos administrativos no se realizaron, claro está, sin interrumpir las demás actividades.

Por ende, se tiene que la automatización de los procesos es la sustitución de tareas tradicionalmente manuales por las mismas realizadas de manera automática por máquinas, robots o cualquier otro tipo de automatismo. De esa forma, la automatización tiene ventajas muy evidentes en los procesos industriales, entre las que se pueden enunciar: (a) Se mejora en costes, tanto en servicio, como en calidad; (b) El trabajo es más rápido, no necesitando de una cantidad determinada de operarios, que antes eran necesarios, entre otras.

En ese contexto, se tiene que las áreas de sistemas de información y los controles implantados deben involucrarse en las demás áreas del negocio para localizar oportunidades, esto debido a que por medio del crecimiento acelerado de la población, se ha venido disminuyendo la calidad de vida de las personas, esto por la destrucción de los recursos naturales como el agua, bosques, entre otros recursos; los cuales son necesarios para el sustento diario de la sociedad en general, dicho aumento igualmente ha traído como consecuencia la disminución de la proporción de tierras agrícolas que son cultivables por personas.

Otro problema atribuible a lo ya mencionado, son los cambios climáticos, los cuales se presentan por diferentes factores como la lluvia, luz solar, vientos, temperatura, entre otros; que podrían llegar a ser muy severos. Por lo que el verano ha venido provocando sequías, o el aumento de lluvias, causando inundaciones en tierras cultivables, trayendo como consecuencia grandes pérdidas en la producción.

Dentro de esas configuraciones, las inundaciones provocadas por las lluvias hacen que aumente la humedad ambiental, por lo que la planta requiere una humedad no muy alta para realizar la transpiración, ya que este es un proceso mediante el cual expulsa agua a la atmósfera a través de unas aberturas microscópica llamadas estoma. Así, la transpiración vegetal es el motor necesario para que la planta pueda absorber agua y nutrientes desde el suelo.

Además, se tiene que al evaporar agua, la planta se refresca consiguiendo bajar su temperatura; siendo este grado de humedad en el aire, determinando así el grado de transpiración. Esto llevado por lo que en un ambiente seco, las plantas deben incrementar la transpiración, absorbiendo esta mucha agua del suelo; asimismo, se desprende entonces que un ambiente muy húmedo, vendría a reducir la transpiración de las plantas, provocando sequía en muchos de los casos.

Asimismo, el viento o las corrientes de aire secan el agua de las hojas de la planta, obligando esto a una mayor transpiración, al igual a la temperatura elevada, evaporando el agua de la superficie de la planta con mayor velocidad. De allí, que la mayor cantidad de luz produce la abertura de las estomas por los cuales la planta expulsa más agua. Los altos niveles de humedad ambiental producen una reducción en la transpiración por lo que una planta no adaptada puede asfixiarse al aumentarse demasiado su temperatura.

Por otro lado, según Bracho (2005), se encuentra que la producción de plántulas con el uso de sustratos bajo ambientes controlados ha sido una alternativa útil para cultivos de alta importancia como el tomate, ya que ha permitido incrementar la productividad, además de obtener un producto de mejor calidad, el cual puede ser obtenido con un uso tanto más racional, como reducido de los insumos, trayendo como consecuencia, un menor daño ambiental.

Como caso específico, se tiene que en Colombia, el campesino al sembrar las semillas, cuando éstas germinan este elige las mejores plantas para trasplantarla al campo, perdiéndose en diversas oportunidades algunas plantas; dado que la cantidad de agua suministrada no es

regulable, como tampoco, la cantidad de fertilizante necesario, afectando éstos factores la cantidad de elementos de absorción.

Todos estos problemas causan un desperdicio de insumos y además no se sabe con certeza la cantidad del componente aplicado, logrando un alto costo en la aplicación de agua, de electricidad, así como también, de mano de obra en la asistencia de la planta, aumentando los costos de producción, y por ende de la mano de obra, insumos, entre otros.

De tal manera, los campesinos deben mejorar las prácticas agrícolas, garantizando la inocuidad de los productos, implementado tanto en la infraestructura como en el proceso medios automatizados que aseguren el buen manejo y uso seguro de los insumos agrícolas con el fin de preservar el medio ambiente, evitando esto el uso indiscriminado de productos químicos; de esa forma, se tiene que el tomate es una de las hortalizas preferidas por todas las cadenas de almacenes o mercados de los vegetales en el país.

En ese sentido, se tiene que la formulación de modelos climáticos permite predecir el comportamiento de las diferentes variables que integran el agrosistema de la producción de plántulas de tomate rojo, para condiciones climáticas específicas de cada región; y sus interacciones. De allí, se requiere desarrollar una propuesta de la automatización de un vivero para producción de plántulas de tomate rojo, esto motivado en que la modelación matemática del ambiente físico en Colombia es muy escasa, debido a que la tecnología de producción en plántulas es relativamente nueva, por lo que hay una gran necesidad de generarla, y por ende, automatizar su proceso, buscando así mejorar su producción.

De esa forma, en cuanto se automatiza el proceso del vivero, se consumirá el agua necesaria para las plantas, se le proporcionará el fertilizante que las plantas que requieran, se controlará la temperatura necesaria, se disminuirá la mano de obra ya que el operador trabajaría de su zona de control. Así, la automatización es el proceso que determina a través de unos captadores de señales propiedades física alrededor de la planta para permitir suministrarle los recursos hídricos, fertilizante, humedad relativa, al igual que su temperatura necesario para alimentar de manera eficiente la planta de Tomate.

Por tanto, se utilizará un micro controlador, el cual se acoplará de manera técnica los captadores de señales, lo mismo sucederá con los actuadores que le suministrarán los recursos de manera apropiada, según la programación que ejercida. Por lo que para poder mejorar como controlar la producción de alimentos agrícolas se requiere del uso de tecnologías, tanto en desarrollo de hardware, microcontrolador, manejo de sensores e instrumentación electrónica en general, como en desarrollo de software que permita monitorear las variables que afectan el proceso, regularlas mediante actuadores controlados desde sistemas microprocesados que son programados para tal fin.

Por todo lo expuesto, se desprende que dicha automatización será muy comprensible a los agrícolas, por lo que propone una nueva forma de trabajo para incrementar los beneficios de la actividad agrícola, detallándose todos los beneficios de ayuda como optimización de los recursos al máximo lo que se obtiene un ahorro considerable de energía eléctrica o agua, para la buena producción con una buena calidad de la planta.

## **2. Proceso de producción**

Para Dimitri (2010), el tomate es una planta herbácea perenne, cultivada como anual, sensible al frío. Las variedades precoces (las que florecen y fructifican más rápido) suelen alcanzar una longitud de 1,2 m; las tardías, en cambio, casi siempre son más grandes y llegan a los 2,5m de longitud. El hábito de crecimiento es muy diverso, cuando jóvenes todas las plantas son

erguidas y en estado adulto son semierguidas o decumbentes; esto es, el tallo no es lo suficientemente rígido como para soportar el peso de las hojas, ramas secundarias y frutos por lo que necesita de otra planta o alguna estructura para sostenerse.

Por esta razón, es común ver las diversas estructuras (tutores o espalderas) que coloca el agricultor en los cultivos de tomates, para que la planta se pueda sostener. El tallo es anguloso, pubescente, con algunos pelos glandulares; al principio su consistencia es herbácea y en estado adulto es leñoso. La ramificación del tallo es simpodial, es decir, las yemas axilares desarrollan ejes sucesivos, mientras que las yemas terminales producen flores o abortan.

De esa manera, según Sarli (2009), las ramitas que se originan en las yemas axilares dan hojas en todos los nudos, las cuales terminan también en una inflorescencia. Así, el sistema radicular es pivotante, muy denso, igualmente es ramificado en los treinta primeros centímetros. Las hojas son alternas, bipinatisectas y pecioladas, con una longitud de 10 a 25 cm. El borde de los segmentos foliares es dentado.

Así, las flores son hermafroditas, actinomorfas y péndulas, de 1 a 2 cm de largo, siendo éstas de color amarillo brillante. En las especies silvestres de tomate la flor es pentámera, mientras que en los tomates cultivados el número de segmentos de cada ciclo es muy variable, algunas de las variaciones estando asociadas a un gen que produce faciación.

De allí, que el cáliz está formado por 5 a 10 segmentos, lineales a lanceolados, persistentes y acrescentes en el fruto. La corola es amarilla, rotada, con el tubo corto, dividida en 5 o más lóbulos, con numerosos pelos glandulares en la cara dorsal, cinco o más estambres adheridos al tubo de la corola, de filamentos tanto cortos, como anteras conniventes, dehiscentes por hendiduras longitudinales.

Por su lado, el pistilo es único, formado por la unión de 5 o 6 carpelos. El ovario es bilocular (si bien existen hasta 10 lóculos en ciertas variedades cultivadas) con la placenta central carnosa. Los pedicelos presentan un pequeño estrangulamiento en la parte media que corresponde a la zona de abscisión. Las flores se disponen en cimas axilares paucifloras, cada una de las cuales lleva normalmente de 5 a 6 flores, pero a veces hasta 30.

En ese sentido, el tomate de la variedad "corazón de buey" visto desde arriba, desde abajo y en corte transversal. Se pueden observar los 10 lóculos, la placenta en cada uno de ellos y las semillas adheridas a tales placentas. Así, el fruto es una baya jugosa (el jitomate propiamente dicho), de forma generalmente sub-esférica, globosa o alargada, siendo habitualmente, de unos 8 centímetros de diámetro. Inmaduro, el fruto es del todo verde cuando madura, tomando generalmente un color rojo intenso, pero también se encuentra en tonos anaranjados. Desde el punto de vista de la maduración, se clasifica al tomate como un fruto climatérico. El etileno es el principal responsable de la iniciación y coordinación de ese proceso.

En las especies silvestres del tomate, el fruto es bilocular, mientras que en las variedades cultivadas es bilocular o multi-locular, siendo lo más frecuente 5 a 9 lóculos. En la epidermis de los frutos se desarrollan pelos y glándulas que desaparecen cuando aquéllos llegan a la madurez. En el ápice del fruto suelen observarse restos del estilo. Presentan numerosas semillas, pequeñas, aplanadas, amarillento-grisáceas, velludas, embebidas en una masa gelatinosa formada por el tejido parenquimático que llena las cavidades del fruto maduro.

Ahora bien, según señala Sarli (2009), los requerimientos para el cultivo de los tomates rojos, son los siguientes:

**Temperatura:** la temperatura óptima de desarrollo del cultivo de tomate oscila entre los 20 y 30 grados centígrados durante el día y entre 10 y 17 grados centígrados durante la noche. Las temperaturas superiores a los 35 grados centígrados impactan negativamente sobre el desarrollo de los óvulos fecundados y, por ende, afectan el crecimiento de los frutos. Por el otro lado, las

temperaturas inferiores a 12 grados centígrados afectan adversamente el crecimiento de la planta.

Así, las temperaturas son especialmente críticas durante el período de floración, ya que por encima de los 25 grados centígrados o por debajo del 12 grados centígrados la fecundación no se produce. Durante el fructificación las temperaturas inciden sobre el desarrollo de los frutos, acelerándose la maduración a medida que se incrementan las temperaturas. No obstante, por encima de los 30 grados centígrados (o por debajo de los 10 grados centígrados) los frutos adquieren tonalidades amarillentas.

**Humedad:** la humedad relativa óptima oscila entre 60 por ciento y 80 por ciento. Con humedades superiores al 80 por ciento incrementa la incidencia de enfermedades en la parte aérea de la planta y puede determinar, además, el agrietamiento de los frutos o dificultades en la polinización ya que el polen se apelmaza. En el otro extremo, una humedad relativa menor al 60 por ciento dificulta la fijación de los granos de polen al estigma, lo que dificulta la polinización.

**Luminosidad:** el tomate necesita de condiciones de muy buena luminosidad, de lo contrario los procesos de crecimiento, desarrollo, floración, polinización, a su vez de maduración de los frutos pueden verse negativamente afectados. El factor que más afecta el desarrollo vegetativo, es la iluminación diaria total. El valor mínimo, para floración, así como para el cuajado, se sitúa en torno a los 235 Wh/m<sup>2</sup> de radiación total diaria. Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos tanto de la floración, como de la fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta.

En los momentos críticos, durante el período vegetativo, resulta crucial la interrelación existente. Debe ir acorde con la temperatura: En momentos de menor iluminación, la temperatura del invernadero debe ser más baja. En momentos de mayor iluminación, la temperatura debe ser más alta. Desequilibrios entre temperatura e iluminación, favorecen la aparición de racimos dobles y problemas en la polinización que conllevan o caída de flores o frutos mal cuajados.

**Suelo:** la planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, el cual tiene que ser excelente ya que no soporta el anegamiento. No obstante, prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego.

## 2.1. Variables asociadas a la automatización

Para Weiser (2007), el control automático de procesos es una de las disciplinas que se ha desarrollado a una velocidad vertiginosa. El uso intensivo de las técnicas del control automático de procesos tiene como origen la evolución de las tecnologías de medición y control aplicadas al ambiente industrial. Tanto su estudio, como aplicación ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas, así como también beneficios asociados al ámbito industrial, que es donde tiene una de sus mayores aplicaciones debido a la necesidad de controlar un gran número de variables, sumado esto a la creciente complejidad de los sistemas.

De esa manera, la automatización de los procesos se usa fundamentalmente porque reduce el coste asociado a la generación tanto de bienes, como de servicios e incrementa la calidad, así como volúmenes de producción de una planta industrial, entre otros beneficios asociados con su aplicación. En ese sentido, la eliminación de errores y un aumento en la seguridad de los procesos es otra contribución del uso, igualmente de la aplicación de esta técnica de control.

En la actualidad, gracias tanto al desarrollo, como a la aplicación de las técnicas modernas de control, un gran número de tareas, así como de cálculos asociados a la manipulación de las variables ha sido delegado a computadoras, controladores y accionamientos especializados para el logro de los requerimientos del sistema.

De allí, que el principio de todo sistema de control automático es la aplicación del concepto de realimentación (medición tomada desde el proceso que entrega información del estado actual de la variable que se desea controlar) cuya característica especial es la de mantener al controlador central informado del estado de las variables para generar acciones correctivas cuando así sea necesario.

**A. Temperatura:** Según Sarli (2009), medir la temperatura es algo muy importante en diversos sectores de la actividad humana. Se puede citar como ejemplo el caso de las incubadoras, y en el caso de la cría de pollos donde los bebés prematuros quedan algún tiempo hasta adquirir capacidad para llevar una vida normal en el medio ambiente natural. Otras aplicaciones se encuentran en la industria, donde el control preciso de la temperatura se hace necesario.

En la producción de plántulas de tomate rojo, entre otros casos, es importantísimo el control de la temperatura según expresa Millán (2001). En la gran mayoría de los casos, se utiliza el clásico termómetro de vidrio, donde la indicación se hace por la dilatación del mercurio en un tubo capilar. Los inconvenientes de esta instrumentación, son varios; entre otros, el riesgo de la rotura del vidrio, con la consiguiente contaminación del sitio. (Lo mismo puede decirse del uso de un termómetro de vidrio y mercurio en la preparación de alimentos).

Con un termómetro electrónico, estos problemas no existen, esto sin hablar de otras posibilidades de uso, como control de temperatura de estufas, ambientes con aire acondicionado, calentamiento de agua, baños en laboratorios fotográficos, control de temperatura de líquidos en laboratorios químicos, entre otros. El punto más importante del termómetro electrónico es el sensor, que debe tener rapidez para producir ágilmente las variaciones de temperatura en señales eléctricas que sean indicadas por un medidor analógico. A la confiabilidad se une la rapidez de indicación. Normalmente un termómetro electrónico exige de 10 a 15 segundos para una lectura, aunque existen sensores más rápidos.

En ese sentido, la temperatura es una medida de la energía cinética de los átomos o moléculas que constituyen un objeto material cualquiera. Su medida se realiza a través de los cambios que experimentan algunas magnitudes físicas, cuando los cuerpos son sometidos a intercambios de energía térmica. Ejemplos de estas magnitudes son: el volumen, la presión, resistencia eléctrica, y muchas otras que han dado lugar a diferentes formas de medir la temperatura.

En términos muy generales y aproximados, se puede decir que la temperatura es una magnitud proporcional a la energía cinética promedio que tienen las partículas, átomos o moléculas, que constituyen un cuerpo. Si todas las partículas de un cuerpo tuviesen la misma energía de movimiento la temperatura sería proporcional a esa energía. Cuando un cuerpo caliente entra en contacto con un cuerpo frío, se produce un intercambio de energía del cuerpo más caliente al más frío, debido a que las partículas del cuerpo caliente tienen más energía en promedio que las partículas del cuerpo frío.

Puede ocurrir también que dos cuerpos que tienen igual temperatura entren en contacto, pero en movimiento uno respecto del otro, como cuando nos frotamos las manos o martillamos un clavo; aquí se produce un intercambio de energía entre las partículas de las superficies en contacto y por consiguiente un incremento de sus temperaturas. Para tener una mayor comprensión del concepto de temperatura es necesario profundizar en la teoría cinética del calor, tema que estudiarás en otro nivel.

**B. Humedad:** Se define humedad como la medida del contenido de agua en la atmósfera, según explica Molero y Perozo (2001). La atmósfera contiene siempre algo de agua en forma de vapor. La cantidad máxima depende de la temperatura; crece al aumentar ésta: a 4,4 grados Celsius, 1.000 kilogramos de aire húmedo contienen un máximo de 5 kilogramos de vapor; a 37,8 grados Celsius 1.000 kilogramos de aire contienen 18 kilogramos de vapor.

De esa forma, el peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire se conoce como humedad absoluta, la cual se expresa en unidades de masa de agua por unidades de masa o de volumen de aire seco. Frecuentemente, se utiliza la medida de gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire. La humedad relativa, dada en los informes meteorológicos, es la razón entre el contenido efectivo de vapor en la atmósfera, así como de la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura.

En ese sentido, si la temperatura atmosférica aumenta, así como no se producen cambios en el contenido de vapor, la humedad absoluta no varía mientras que la relativa disminuye. Una caída de la temperatura incrementa la humedad relativa produciendo rocío por condensación del vapor de agua sobre las superficies sólidas. La temperatura a la cual se empieza a formar el rocío en el aire que contiene una cantidad conocida de vapor de agua se llama punto de rocío.

**C. Iluminación:** La iluminación afecta directamente en un buen desarrollo del animal. La iluminación estimula al ave y regula las ganas de comer y beber, lo cual es de primordial importancia para su cría y engorde, según explica Millán (2001). La visión es una sensación subjetiva que se inicia cuando la luz incide en el ojo. En los invernaderos es un aspecto fundamental, en las gallinas el peso de ambos ojos es casi el mismo que el del cerebro.

Así, la situación lateral de los ojos en los invernaderos les permite un campo de visión de 300 grados, y su visión del color es particularmente buena (poseen más conos que bastones). Este alto grado de grado de agudeza y de sensibilidad visual cobra especial relevancia en los invernaderos, ya que ello les permite identificar y reconocer la comida, el agua, los animales entre sí, entre otros. Por todo ello hay cuatro factores a tener en cuenta en la influencia de la luz en los invernaderos:

**Influencia de la intensidad lumínica (lux).** Al disponer de más conos que bastones en la retina, poseen una mejor visión diurna que nocturna. Según los estudios realizados sobre la influencia de la intensidad lumínica en los pollos, no hay un valor de intensidad lumínico ideal, pero estaría entre 55 y 88 lux, por debajo de esos valores los pollos se muestran más temerosos y tímidos.

**Fotoperíodo.** Puede variar enormemente, desde un punto de vista de bienestar, menos de 8 horas de luz al día va en detrimento del bienestar. Algunas granjas ofrecen 23 horas de luz, por tanto se deja en manos del dueño de la explotación el número de horas que crea conveniente.

**Influencia de la Longitud de onda.** La longitud de onda determina su color, siendo la mezcla de todas la que determina la luz blanca. Aunque pueden acostumbrarse a diferentes tipos, suele utilizarse la luz blanca aunque tiene preferencias por las ondas que determinan un color más azulado o verdoso.

**Fuente de luz.** Los invernaderos son capaces de distinguir entre luz tanto incandescente, como fluorescente, prefiriendo, asimismo como demostrando una mayor actividad, a su vez bienestar con la luz fluorescente, lo que reafirma en utilizar una luz fluorescente.

De esa manera, se tiene que la luminosidad en los invernaderos son valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura tanto diurna como nocturna y la luminosidad.



**D. Ventilación:** Según explica Millán (2001), la ventilación es la remoción sistemática de aire y gases calientes de una estructura, seguida por la sustitución de un abastecimiento de aire más fresco, que facilita otras prioridades en el combate contra incendios. Se incrementa la visibilidad por una localización más rápida del foco del incendio. Se disminuye el peligro a los inquilinos atrapados al canalizar hacia fuera los gases calientes y tóxicos y reduce la posibilidad de una explosión de humo. De esa manera, se distinguen los siguientes métodos de ventilación:

**Ventilación Natural:** A través de una abertura para la transición de aire entre las atmósferas interiores y exteriores.

**Ventilación Hidráulica:** usando la aplicación de agua en forma de neblina y la expansión del agua cuando se convierte en vapor para desplazar las atmósferas contaminadas

**Ventilación forzada:** inyectando o extrayendo aire por medios mecánicos

## II. METODOLOGIA

Para Chávez (2008), el tipo de investigación se determina según la problemática que se desea solucionar. Así mismo, no solo se debe indicar la base del tipo de método sino también, se debe señalar las razones consideradas por el investigador para incluirla en los diversos tipos, basándose en la realidad de su indagación. En tal sentido, el objetivo del presente estudio fue proponer la automatización de un vivero para producción de plántulas de tomate rojo, ésta se enmarcó en una investigación de tipo proyectiva y descriptiva, ya que “identifica características del universo de la investigación, señala formas de conducta y actitudes de las personas y establece comportamientos concretos para descubrir y comprobar” (Méndez, 2010).

En ese sentido, dicha metodología, permitió a los productores prever todos los riesgos asociados a la producción de plántulas de tomate rojo, minimizando de esta manera, los retrasos de tiempo y pérdida de capital. Ya que la automatización del proceso del vivero, se consumió el agua necesaria para las plantas, se le proporcionó el fertilizante que las plantas que requieran, se controló la temperatura necesaria, se disminuyó la mano de obra ya que el operador trabajaría de su zona de control; así dicha automatización fue el proceso que determinó a través de unos captadores de señales propiedades física alrededor de la planta para permitir suministrarle los recursos hídricos, fertilizante, humedad relativa, entre otros. De igual manera, también la investigación fue de tipo descriptiva, ya que tuvo como objetivo central lograr la caracterización o descripción del evento de estudio dentro de un contexto en particular.

Por su lado, se empleó como método de recolección de datos la observación directa no estructurada, ya que no se observó cada uno de los equipos, sino que se obtuvo información de ellos a través de la investigación y de herramientas computacionales, siendo esto último de gran utilidad para los propósitos del investigador, lo cual ayudó a la construcción de la propuesta.

Asimismo, en cuanto a las pruebas hechas en campo, se utilizaron las siguientes herramientas y equipos: transporte, Laptop, Software Propietario de las RTU's, Hoja de cálculos EXCEL, Radios Portátiles, e Implementos de seguridad. En cuanto a las simulaciones en el laboratorio, se utilizaron las siguientes equipos: Computador desktop con procesador dual core de 2Gb, sistema operativo Microsoft Windows XP, software de simulación Mathwork, MatLab 7.5.

## III. RESULTADOS

En esta parte de la investigación se analizaron cada una de las fases utilizadas para el desarrollo de la propuesta de investigación, a su vez se indican los procedimientos y operaciones

realizadas para la materialización del prototipo tomando en consideración las pruebas de funcionalidad para la evaluación de los resultados. De esa manera, a continuación se detallan los resultados obtenidos en la investigación, en función de los objetivos específicos y mediante el desarrollo de cada una de las fases señaladas.

### 1. Diseño de la automatización y control de un vivero de plántulas de tomate rojo.

Para el diseño de la automatización y control de un vivero de plántulas de tomate rojo, se tomaron en cuenta algunos de los muchos sensores que se encuentran actualmente en el mercado, utilizándose para tal efecto el DHT11, el cual cuenta con salidas digitales ya calibradas, y a su vez, es de última tecnología salido recientemente al mercado internacional Figura 1.

De esa manera, el sensor DHT11, viene en un encapsulado con 4 pines en línea, y se alimenta en un rango entre 3.5V y 5.5V. Este a su vez, puede medir temperaturas entre 0° y 50°C con una precisión de  $\pm 2^\circ\text{C}$ , y una humedad relativa entre el 20% y el 95% con una precisión del 5%. Asimismo, el sensor se comunica con el micro controlador a través del protocolo 1-wire, que se implementó en el programa del PIC ya que no está integrado a nivel hardware.

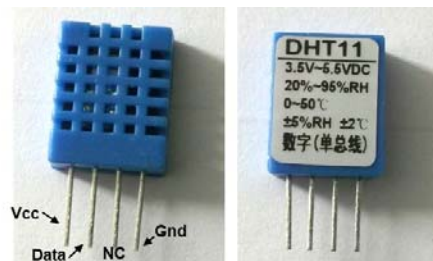


Figura 1. Vista del sensor DHT11.

### 2. Protocolo 1-wire

El microcontrolador inicia la comunicación configurando el pin como salida y enviando la señal de Start. Esta señal consiste en establecer nivel bajo durante 18ms y nivel alto durante 20us. A continuación ponemos el pin como entrada y el sensor responderá estableciendo un nivel bajo de 80us y un nivel alto de 80us. De seguidas, se denotó que el sensor enviará 5 bytes (40 bits) de forma continua. El primer bit recibido de cada byte fue el más significativo Figura 2.

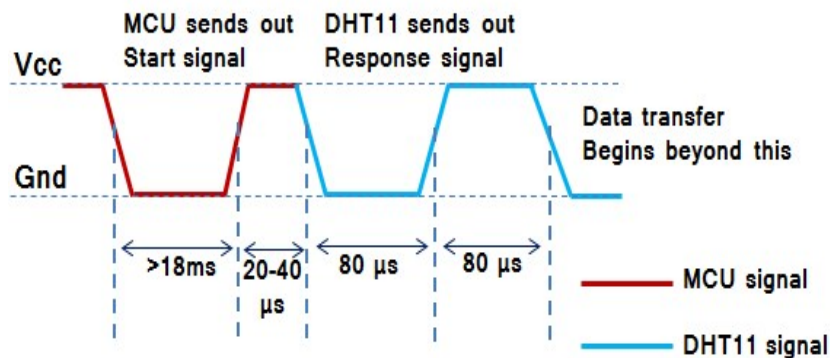


Figura 2. Protocolo para el inicio de la comunicación 1 wire

Los 5 bytes recibidos fueron los siguientes:

- Byte1: parte entera de humedad relativa
- Byte2: parte decimal de humedad relativa
- Byte3: parte entera de temperatura
- Byte4: parte decimal de temperatura
- Byte5: checksum

Asimismo, se debe mencionar que el sensor DHT11 no utiliza decimales, por lo que se puede ignorar la información de los bytes 2 y 4; quedándose entonces sólo con los bytes 1 y 3 Figura 3.

Por su lado, el checksum se utiliza para confirmar que la información recibida es correcta, y se calcula sumando los 4 bytes anteriores y quedándonos sólo con los 8 bits menos significativos del resultado.

Cada uno de los bits se envía siguiendo esta estructura. Cuando el sensor va a enviar un bit, siempre tira la línea abajo durante 50us, y luego la levanta durante 26-28us para señalar un "0", o durante 70us si quiere enviar un "1" Figura 4.

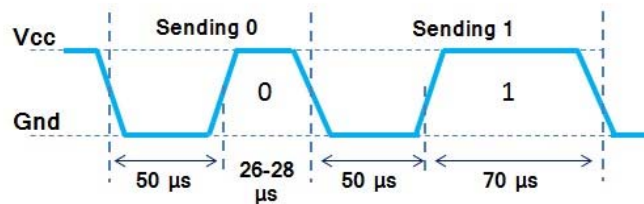


Figura 3. Trama utilizada por el DHT11 para enviar los bit al pic

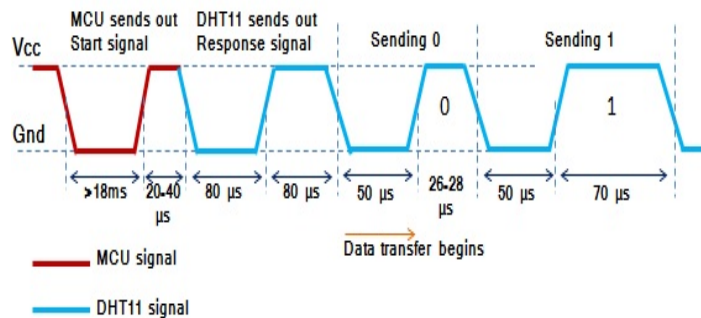


Figura 4. Protocolo de comunicación 1 wire completo

Cuando se han enviado todos los bits, el sensor baja la línea durante 50us y luego la libera. De esa manera, el protocolo 1-wire requiere de la existencia de una resistencia de pull-up para que cuando está libre se mantenga a nivel alto. Una vez terminada la transmisión, el sensor pasa al estado de bajo consumo de energía.

### 3. Circuito

Para el diseño del circuito se hizo uso del PIC 16F877A, un LCD y el sensor. El PIC se conectó a un resonador de 4MHz, lo que le permitió trabajar con un ciclo de reloj de 1us, y esto facilitó a su vez, la lectura de los tiempos de la trama 1-wire. Se seleccionó este pic por cumple todos los requisitos que tiene que ver con la automatización del invernadero. Porque se acopla unos captadores de señales, que envían unas señales en su entrada que van a ser procesadas según su programación para que su salida suministre unas señales van a energizar los actuadores para controlar las señales de entrada Figura 5.

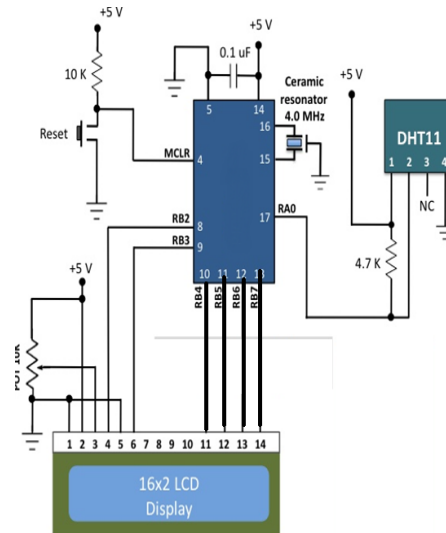


Figura 5. Diseño del circuito PIC 16F877A

### 4. Fase constructiva

En esta fase se realizó la construcción del prototipo propuesto en la presente investigación, para lo cual se puede mostrar por medio de las siguientes imágenes Figura 6 y 7:



Figura 6. Imágenes de la fase constructiva del prototipo

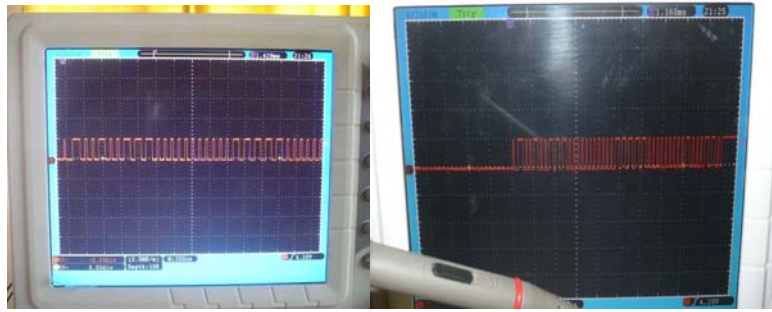


Figura 7. Trama del sensor DHT11 utilizado captado con el osciloscopio

En las imágenes se pudo visualizar Trama del sensor DHT11 utilizado captado con el osciloscopio, siendo este de gran ayuda para el investigador para cumplir el propósito general de su proyecto.

### 5. Sensor de humedad del suelo

Es bien sabido que la humedad varía la resistencia de los elementos. Así, una tierra con bajo contenido de humedad (seca) es "aislante de la corriente eléctrica", mientras que al poseer una humedad elevada, se convierte prácticamente en conductora. De esa forma, se debe aclarar que precisamente este principio se emplea para utilizar el sensor de humedad del suelo.

El mismo se encargó de indicar excesiva humedad tierra con suficiente agua, con el encendido de un Led, y esta misma señal fue enviada al microcontrolador para su posterior procesamiento y acciones a tomar por el operario. Mientras que si el suelo está seco este se reflejará con el encendido de otro led e igualmente la señal será enviada al pic para tomar las acciones programadas por el operario

La base de este sensor es un amplificador operacional del tipo FL356 (para evitar disparos erráticos o cambios en el funcionamiento con la salinidad del agua), que resulta ideal por su elevada ganancia y permite que su salida cambie de estado, con pequeños cambios en los niveles de tensión de entrada, o por cambios en la resistencia de algún componente asociado al amplificador. El circuito eléctrico se muestra en la Figura 8.

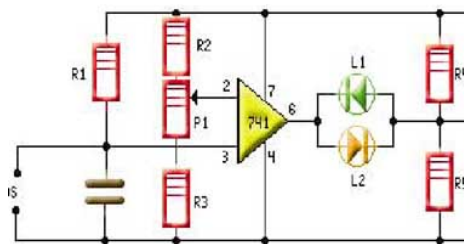


Figura 8. Circuito eléctrico del prototipo

R2 junto con P1 y R3, forman un divisor resistivo que fija el nivel de tensión en la entrada inversora del amplificador operacional, de tal manera que será el elemento que utilizaremos como ajuste para encontrar el punto óptimo de trabajo.

Debido a que la corriente de entrada de un amplificador operacional es baja, cuando la resistencia entre los electrodos es elevada, la tensión en pata 3 del A.O. (entrada no inversora) también es alta, con lo cual la salida del operacional también tomó un estado alto de tensión:

Si  $V_{pata\ 3} > V_{pata\ 2}$ , entonces  $V_{sal} = +V$

Con este estado, encendió el Led 2, permaneciendo apagado el Led1.

De esa manera, una baja resistencia entre los electrodos hará que la caída de tensión en R1 sea elevada, con lo cual la tensión en pata 3 será menos que la correspondiente a la pata 2 (fijada por la posición de P1), lo que obliga a que la salida tome un estado bajo de tensión.

Si  $V_{pata\ 3} < V_{pata\ 2}$ , entonces  $V_{sal} = -V$

Con este estado se encendió el Led 1, permaneciendo apagado el Led2. Asimismo, se debe acotar que el ajuste del punto de operación de humedad se realizó con el potenciómetro de 10kohm.

La comparación del PID con la lógica difusa con respecto a la estabilización de la señal para su respectiva selección de manera más eficiente y efectiva la cual va mejorar el invernadero se aprecia en la Figura 9.

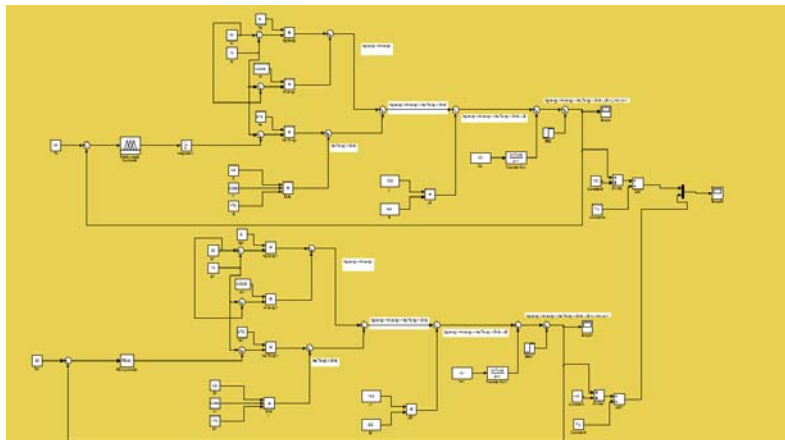


Figura 9. Comparación del sistema PID con Lógica difusa en simulink.

En esta comparación entre el PID y la lógica Difusa se observa que esta última, el control de la señal es muy rápida, es más eficiente. La lógica difusa le da mayor robustez, es más fino, mayor precisión antes perturbaciones, la señal de salida se mantiene. El PID demora su tiempo en estabilizar la señal, pero la lógica difusa se mantiene, como se ve en la Figura 15. Por tanto es muy beneficioso para la producción de plántulas de tomate en un invernadero la aplicación de lógica difusa por la estabilización tan rápida de la temperatura, teniendo en cuenta las perturbaciones, porque le origina una mayor fortaleza en el crecimiento al no cambiar temperatura bruscamente Figura 10 y 11.

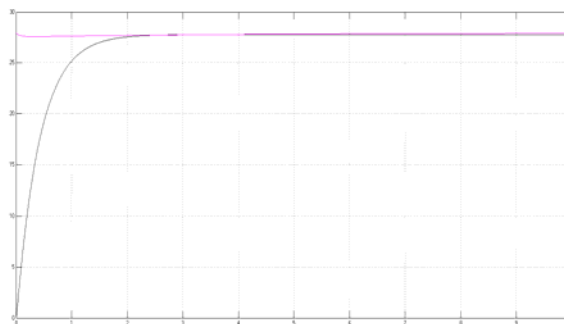


Figura 10. Gráfica de temperatura contra tiempo en simulink.

La simulación del PH con el simulink utilizando toolbox es la siguiente:

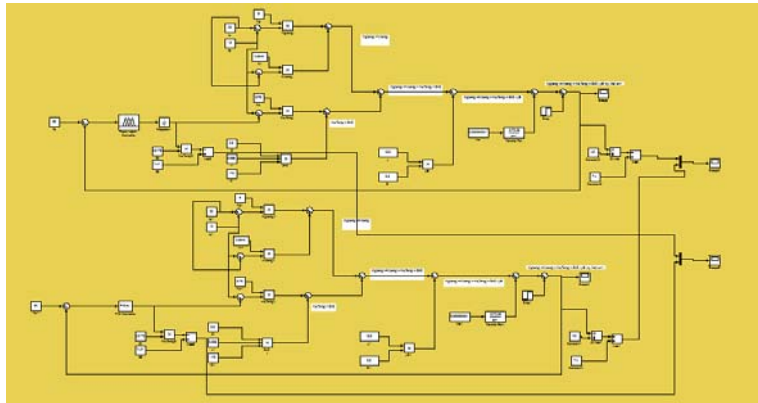


Figura 11. Representación de la señal del PH en simulink

A través de la temperatura se aprecia como se estabiliza el PH con respecto a la temperatura en la figura 12.

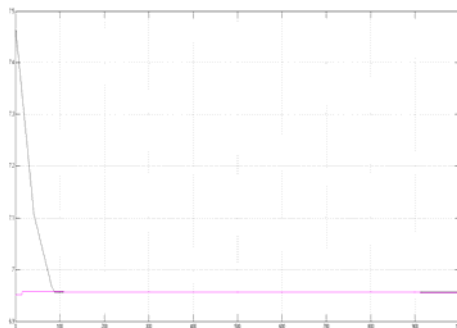


Figura 12. Comportamiento de la señal del ph

Se puede observar que el PH depende la temperatura, pero al variar esta como se estabiliza la señal de salida del PH.

El PH y La humedad relativa depende de la temperatura, al variar esta se permite apreciar la estabilización de las señales de salidas. El diagrama total de las variables se puede observar en la Figura 13.

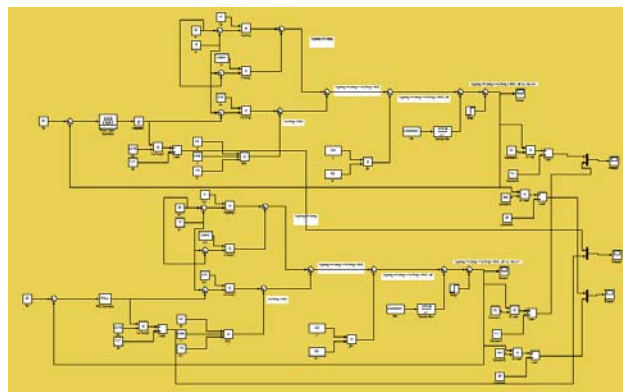


Figura 13. Simulación temperatura y humedad relativa en simulink



El comportamiento de la humedad relativa se presenta de la siguiente manera Figura 14.

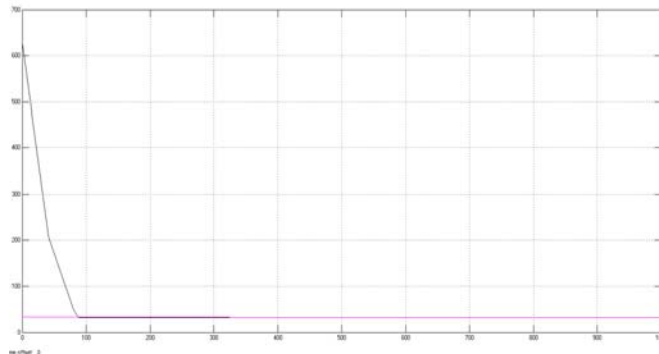


Figura 14. Comportamiento de la humedad relativa.

#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Archivo general: Manual de CIED de laboratorio de Cromatografía (1991). Pequiven- El tablazo.
- Briceño, J. (1998). Transmisión de datos. Consejo de Publicaciones de la ULA. Primera Edición. Mérida –Venezuela.
- Chávez, N. (2008). Introducción a la Investigación Educativa. Maracaibo. Ediluz. Primera Edición.
- Creus, A. (1997). Instrumentación Industrial. 6° edición, Alfaomega marcombo. México.
- Corripio, S. (1991). Control Automático de Procesos. 1° edición. México
- David M., H. (1997). Principios básicos y Cálculos en Ingeniería Química. Sexta edición. Pearson, Prentice hall México
- Felder, R. y Rousseau, R. (1991). Principios Elementales de los procesos químicos. Addison-Wesley.
- ISA/IEC (1996). Techniques for assigning a Target Safety Integrity Level.
- Ledezma, O. (2000). Evaluación – Económica de Proyectos de Automatización. Universidad Corporativa CIED. Venezuela.
- Manual de CIED de Instrumentación Industrial (1993). Pequiven- El Tablazo.
- Méndez, C. (2010). Metodología, Diseño y Desarrollo del Proceso de Investigación. Colombia. Mc Graw Hill.
- Ogata, K. (1998). Ingeniería de control moderna. 3° edición. Prentice Hall. México.
- Ojeda Pérez. A. (1998). Instrumentación de Procesos. Pequiven- MVC II.
- Pallás A., R. (1998) Transductores y Acondicionadores de señales. Editorial ULA.
- Pequiven (2001). Manual de Craqueo y Purificación de EDC. EL TABLAZO.
- Shinsky (1998) Sistemas de Control de Proceso. 1° edición. Editorial Mc Grawhill
- Sánchez L., G. D. (2001). Diagnóstico del cultivo del tomate bajo invernadero en Cundinamarca y Boyacá. Documento de trabajo.
- Sánchez L., G. D. (2002). “Producción de tomate bajo cubierta”. En: Taller de hortalizas, productividad – mercadeo. Corpoica, Tibaitatá, (Mosquera). Octubre 23 – 24 de 2002.
- Stanghellini, C. Balance hídrico en invernaderos: su efecto sobre el microclima y las necesidades hídricas del cultivo; Curso Superior de Especialización: Tecnología de Invernaderos II; Editado por la Dirección General de Investigación y Formación Agroalimentaria de la Junta de Andalucía, FIAPA y Caja Rural de Almería; 1998; pp. 45-61.
- Bot, G.P.A.; Van De Braak, N.J. (1994). Physics of greenhouse climate. Greenhouse climate control: an integrated approach; Wageningen Pers; Holanda.