

# DISEÑO Y PROTOTIPADO DE

**Un sistema de siembra automático de semillas de tomate en bandejas de germinación, para plantulación en la empresa Plantuladora Curití Palmar.**

## **Autores**

**Johan Ferley Fuentes Merida**, Ingeniero Electrónico, SENA – Centro Agroturístico. Investigador.  
jffuentes60@misena.edu.co

**Nathalie Tarazona Rojas**, Ingeniera Electricista, Especialista en Gerencia de Proyectos,  
Instructora Sena - Centro Agroturístico.  
natarazona@sena.edu.co

## **Resumen**

El siguiente trabajo tuvo como objetivo el desarrollo de un prototipo funcional usado para la siembra de semillas de hortalizas de interés agronómico como tomate *Solanum lycopersicum*, el cual fue desarrollado sobre bandejas de germinación comerciales de poliuretano negro de 162 alveolos. Los requerimientos técnicos del prototipo inicial fueron obtenidos a través de visitas y análisis técnico de plantuladores comerciales que operan en la región, además de entrevista y análisis que fueron realizados directamente con empresarios del sector productivo. Una vez obtenida y filtrada la información esta fue usada para el desarrollo de los primeros diseños, inicialmente generando un diseño virtual en 3D con ayuda del software AutoCAD, el diseño incluyó los requerimientos técnicos, agronómicos y ergonómicos del sector productivo representados por la empresa Plantuladora Curití-Palmar. El prototipo incluye módulos de perforación, módulo de siembra, sistema de soporte, el diseño del sistema de control y un sistema neumático para la captura de la semilla. Una vez listos cada uno de los diseños que componen el prototipo estos fueron impresos usando manufactura aditiva con un equipo BIQU usando ácido polilactico PLA de 1.75 mm de diámetro como filamentos de impresión.

El módulo electrónico y de automatización fue diseñado usando los programas Autocad, Eagle, y Arduino, con los cuales se realizó la planimetría, el conexionado, la distribución de elementos y la programación. Como resultado del proceso se identifican los elementos críticos, de los cuales se realiza prototipado con el fin de mejorar las condiciones de trabajo del operario, disminuyendo riesgos ergonómicos, los elementos de prototipado generan estática lo que ocasiona que se adhieran las semillas debido a su bajo peso, el elemento de perforación no requiere de motorización por lo que se realiza un diseño específico para que con el arrastre de la bandeja esta se auto perfore.



Fotografía tomada en la Escuela Militar de Suboficiales Alumnos en instrucción, Colombia 2019, por **Miguel Díaz**



### Palabras clave

Perforación, sistema neumático, siembra, tomate, motor paso a paso.

### Abstract

The following work was aimed at developing a functional prototype used for planting seeds of vegetables of agronomic interest such as *Solanum lycopersicum* tomato, which was developed on commercial germination trays of 162 alveoli black polyurethane. The technical requirements of the initial prototype were obtained through visits and technical analysis of commercial seedlings operating in the region, as well as interviews and analyzes that were carried out directly with entrepreneurs in the productive sector. Once the information was obtained and filtered, it was used for the development of the first designs, initially generating a virtual 3D design with the help of AutoCAD software, the design included the technical, agronomic and ergonomic requirements of the productive sector represented by the Curití Planting Company -Palm grove. The prototype includes drilling modules, planting module, support system, control system design and a pneumatic system for seed capture. Once each of the designs that make up the prototype were ready, these were printed using additive manufacturing with a BIQU device using 1.75 mm diameter PLA polylactic acid as printing filaments.

The electronic and automation module was designed using the Autocad, Eagle, and Arduino programs, with which the planimetry, the connection, the distribution of elements and the programming were carried out. As a result of the process the critical elements are identified, of which prototyping is carried out in order to improve the working conditions of the operator, reducing ergonomic risks, the prototyping elements generate static which causes the seeds to adhere due to their low weight, the drilling element does not require motorization so a specific design is made so that with the drag of the tray it is self-drilling.

### Keywords

Drilling, pneumatic system, sowing, tomato, stepper motor.

## Introducción

Hoy en día, en gran parte de las zonas donde se realiza siembra de tomates, se práctica de forma artesanal, legado de los ancestros, con técnicas obsoletas haciéndolas poco efectivas e ineficientes, de este modo no se garantiza la germinación de las semillas, obteniendo baja productividad, es por ello, que realizar una máquina con una parte del sistema automático con un grado de efectividad en la fase de germinación hace de este proyecto una solución para todos estos inconvenientes.

Uno de los principales inconvenientes que se presenta en el proceso de siembra es la precisión debido a que por situaciones externas se puede tener fallas o equivocaciones propias del ser humano (Guallichico, Rodríguez, pg-14, 2019).

Con la búsqueda tecnológica y estudio de mercado, hay gran demanda de máquinas que contienen elementos sofisticados y niveles de automatización avanzados al proceso de siembra que elevan el costo de la producción, estas maquinarias adquiridas por lo general del extranjero son de elevada inversión.

El objetivo de este proyecto es la realización de un prototipo de bajo costo para brindar una solución que cumpla con el proceso de siembra implementando bandejas de germinación, por lo cual en este artículo se encontrará el diseño en 3D de las piezas del prototipo y construcción sistema neumático, sistema motriz y de transmisión y la construcción sistema electrónico.

## Metodología

La ingeniería concurrente, la cual es una filosofía orientada a integrar sistemáticamente y en forma simultánea el diseño de productos y procesos (C., 1986), es el proceder para cada una de las fases que se han trazado en el diseño, como lo es el diseño conceptual y funcional; lo anterior con el fin de acabar con los requerimientos, las piezas en todo el prototipo, la fabricación y todo lo que conlleva a un diseño muy cercano a la realidad, de esta manera se puede materializar las ideas en el momento de la construcción.

## 1. Diseño

### Diseño conceptual y funcional

En esta fase del proyecto se planeó los requerimientos para el alcance de los objetivos, con la necesidad presentada para el diseño y construcción del prototipo del sistema de siembra automático de semillas de tomate en bandejas de germinación. Se entiende por especificación requerida aquella sin la cual la máquina como prototipo pierde su objetivo y por deseada, aquella sin ser estrictamente necesaria mejora algún aspecto del prototipo.

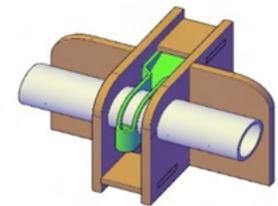
Lo primero a tener en cuenta fue la exploración y diagnóstico del proceso de plantulación en la empresa Plantuladora Curití Palmar, revisando la problemática para buscar alternativas de solución ante la baja productividad, desgaste del recurso humano; con el fin de optimizar la producción a un valor accesible y automatizar el proceso.

Las variables a tener en cuentas fueron los productos existentes, costos y tiempos de producción, el recurso humano es muy importante como el entorno socioeconómico de la región y la adquisición tecnológica.

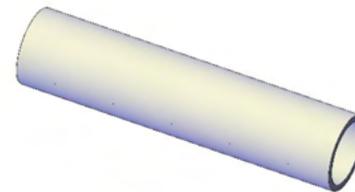
Finalizados los diseños estructurales, se procede a la fabricación de las piezas con el elemento de plástico PLA impreso en 3d que involucra la tolva contenedora de semillas y el extractor de semillas. Esta pieza se desarrolló como primer prototipo con el fin de funcionar en conjunto con tubería PVC de 1" con una perforación de 0.5mm y una base en madera MDF previamente cortada con láser y ensamblada, mostrados en la Figura 1, 2 y 3 respectivamente.



**Figura 1**  
Sembrador propuesto  
**Fuente**  
Dñor. Félix Molina



**Figura 2**  
Conjunto ensamblado  
**Fuente**  
Dñor. Félix Molina

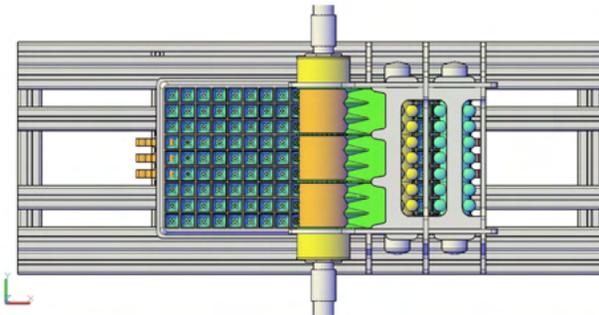


**Figura 3**  
Tubería de Ø1" con perforación de Ø.3 mm  
**Fuente**  
Dñor. Félix Molina

El prototipo N 1, presentó falencias en el rose de la pieza impresa en 3d con el tubo, generándose estática, de este modo las semillas se adhieren al tubo, por lo cual es necesario eliminarla, en cuanto al tamaño de la tolva solo permite una cantidad limitada de semillas, y la inclinación de la misma permite la caída de la semilla hacia el tubo, pero limita el volumen de la semilla.

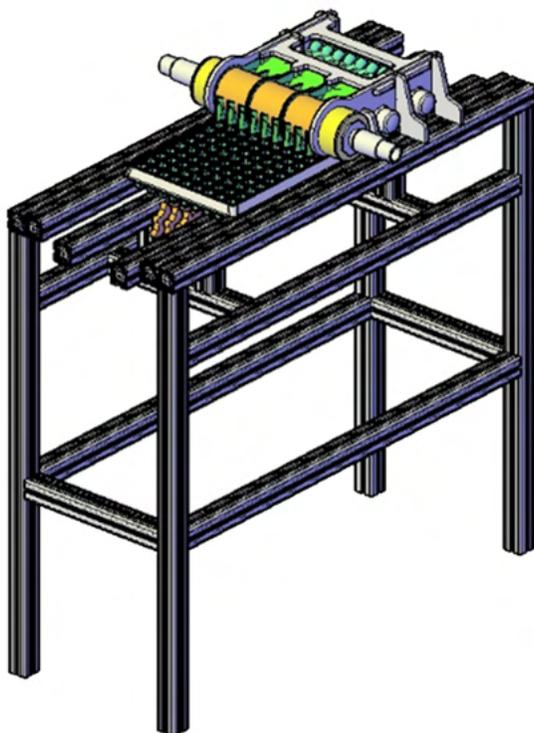
Se realizaron mejoras en el sistema de sembrado dando un ángulo más elevado de inclinación para asegurar que las semillas se acerquen al tubo, con el fin de asegurar la captura de las mismas, es necesario realizar el mantenimiento oportuno de los orificios, igualmente el tubo sembrador se mejoró haciéndolo más corto para mejorar la succión de las semillas de tomate.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establece lo prioritario para la máquina, realizando las modificaciones necesarias, donde se propone un sistema perforador impreso en 3d con material PLA con una forma específica que se adapta a la bandeja, se mejora también el sistema de retiro de semillas, reuniendo las características fundamentales y funcionales con ayuda del software de diseño asistido por computador. El diseño presentado en la figura 4, es la cara superior donde se muestra el sistema de captura de semillas, bandeja para el proceso de germinación, sistema de desplazamiento de bandejas y boquillas para la salida de la semilla.



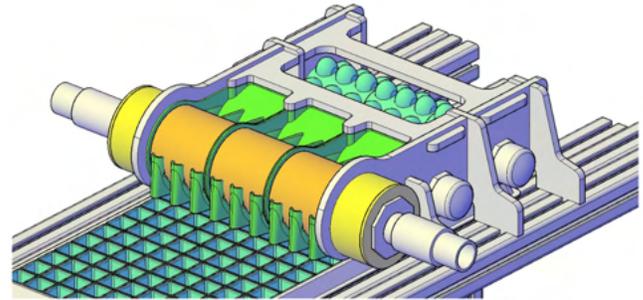
**Figura 4**  
Diseño 3D de la cara superior del prototipo  
**Fuente**  
Dñor. Félix Molina

Se realizaron mejoras para optimizar las condiciones de trabajo del operario diseñando una mesa a la medida como se presenta en la figura 5, con una vista frontal mostrando el prototipo en forma general.



**Figura 5**  
Diseño 3D del prototipo  
**Fuente**  
Dñor. Félix Molina

El detalle de sus piezas se presenta en la figura 6, mostrando el sistema de absorción de semillas, desplazamiento de bandejas para el cultivo de semillas de tomate y el sistema innovador de boquillas donde permite la salida de las semillas, los rodillos de color verde, tienen una forma ergonómicamente estudiados que permiten la perforación en la tierra para el sembrado.



**Figura 6**  
Diseño detallado en 3D de los sistemas que involucran el prototipo  
**Fuente**  
Dñor. Félix Molina

## 2. Elaboración del prototipo

El prototipo construido, tiene un sistema tubular que alcanza niveles considerables de producción gracias a la disposición de forma transversal de las bandejas, permitiendo que avancen de manera separada para garantizar una mayor limpieza lo cual permite reducir la necesidad de mano de obra. El rodillo marcador o perforador permite dejar una marca perfectamente regular y centrada en el alvéolo.

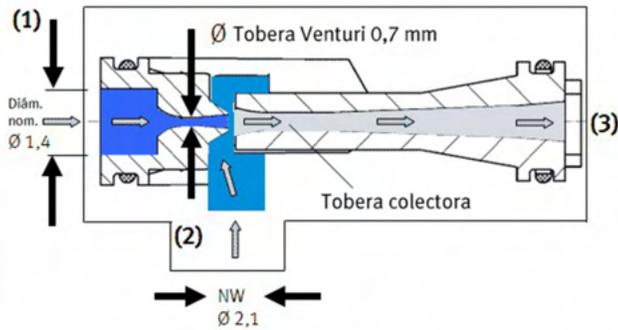
La tecnología aplicada en el sistema de siembra permite obtener una óptima individualización de las semillas de tomate.

Cada componente del prototipo ha sido diseñado y construido para mejorar el trabajo de los sembradores de la región y agilizar las operaciones. A continuación, se presenta cada uno de los sistemas conformados para la construcción:

### Sistema neumático

El sistema neumático se realizó manteniendo el principio de efecto venturi, usado para generar vacío, el cual comprende de un generador de vacío, un tubo flexible y una ventosa con rosca de fijación, para la construcción del sistema se tuvo en cuenta el peso, la porosidad (pieza hermética) y superficie (lisa), este sistema funciona mediante el aire comprimido que fluye desde la conexión de presión hacia el eyector. Mediante la reducción al pasar por la tubería venturi está aumenta la velocidad de circulación del aire, expandiéndose y fluyendo por la tubería receptora.

Está técnica se muestra en la figura 7, cuya ventaja más relevante es el sistema dinámico que maneja y es de bajo costo la implementación.

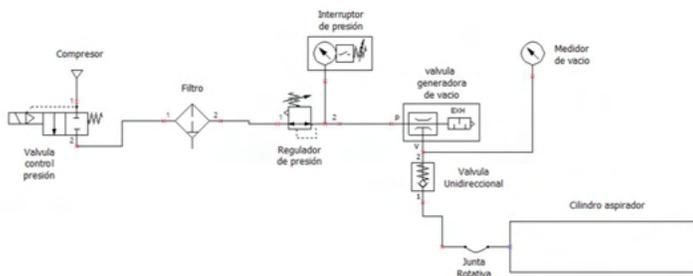


**Figura 7**  
Efecto Venturi  
Fuente

[https://www.festo.com/cms/es-ve\\_ve/9814.htm](https://www.festo.com/cms/es-ve_ve/9814.htm)

El sistema neumático en el proyecto es usado para absorber las semillas y la separación de éstas es de manera mecánica. Está compuesto de una bomba neumática o compresor - válvula generadora de vacío (modifica o transforma el flujo de aire en vacío), en la entrada de la válvula se encuentra un manómetro y vacuo-metro encargado de medir la cantidad de vacío que se genera, como también se maneja en el prototipo un regulador de presión.

La bomba genera un flujo de aire constante medido con el manómetro, esto con el fin de revisar la presión con la que se está trabajando, de allí pasa por un regulador que mantiene estable el aire garantizando un flujo de aire constante a la entrada de la válvula de vacío, una vez ingresa genera un flujo de vacío constante medido por el vacuo-metro llegando al sistema de captura de semillas.



**Figura 8**  
Sistema neumático  
Fuente  
Johan Fuentes

**Tabla 1**  
Especificaciones del motor

Tipo de motor	Angulo de paso	Par de Retención	Corriente Nominal/Fase	Resistencia de Fase	Inductancia
Paso a paso bipolar	1.8 grados	13Nm (1841oz.in)	5.0A	1.0 ohms	11mH +/- 20% (1KHz)

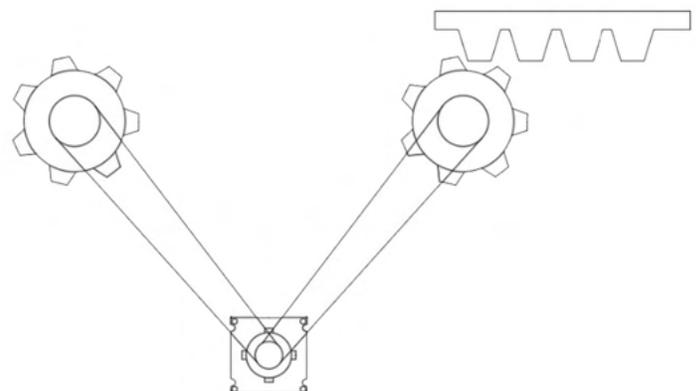
Uno de los motores cumple con dos objetivos primordiales, permite transmitir el movimiento al piñón de entrada o alimentación y el segundo piñón de salida o extracción de la bandeja los cuales estarán acoplados a dos piñones. Las especificaciones de las poleas y bandas utilizadas en el prototipo se presentan en la tabla N- 2.

**Tabla 2**  
Especificaciones Correas dentadas y poleas

Poleas	Bandas
Polea Aluminio Gt2 60 Dientes (10mm Interno)	Correa dentada GT2 de 10 mm de ancho y 200mm de largo, para la transmisión movimiento piñón de arrastre entrada.
Polea Aluminio Gt2 de 20 Dientes doble (10mm Interno)	Correa dentada GT2 de 10 mm de ancho y 300mm de largo, para la transmisión movimiento piñón giro cilindro capturador.
Polea Aluminio Gt2 de 20 Dientes (10mm Interno)	Correa dentada GT2 de 10 mm de ancho y 400mm de largo, para la transmisión movimiento piñón de arrastre salida.

A través de la correa cuya longitud es de 820 mm, la bandeja tiene un punto medio donde se sincronizan los piñones para asegurar el movimiento continuo de la bandeja.

El segundo motor paso a paso tiene la función de rotar el cilindro del sistema de captura de semillas, el objetivo es mover una banda de 280 mm transmitiendo el movimiento a la polea de 40 dientes en aluminio. En la figura 9, se presenta el sistema motriz con el desplazamiento de la bandeja.



**Figura 9**  
Sistema motriz  
desplazamiento de la bandeja

## Sistema motriz y de transmisión

Para el sistema motriz y de transmisión se utilizaron dos motores paso a paso, cuyas características reposan en la tabla 1, estos motores se eligieron por su alto torque y precisión, además son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requiere movimientos precisos, uno de los motores es utilizado para transmitir el movimiento por una banda dentada cumpliendo con la normatividad CT2.

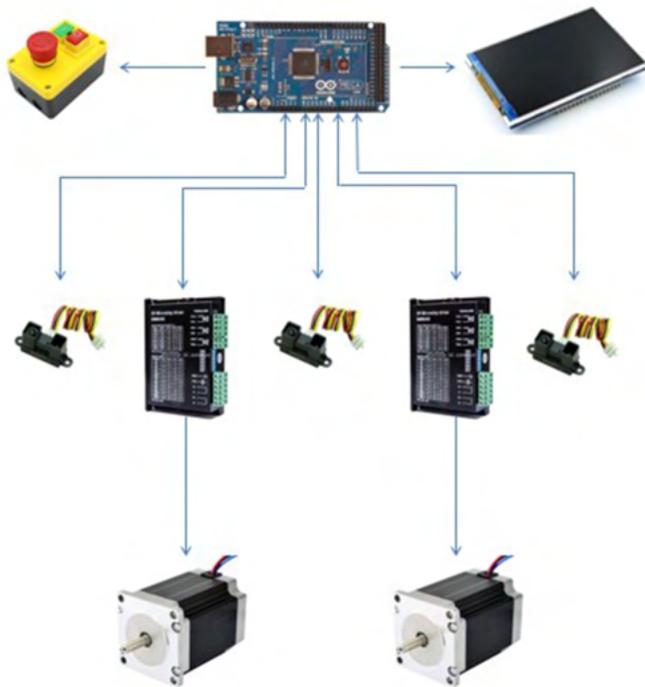
**Sistema electrónico**

El sistema electrónico consta de una tarjeta de arduino cuyas especificaciones se presentan en la tabla 3, esta tarjeta es programada para controlar de forma automática el proceso de siembra de la máquina, manejando dos funciones:

1. Sensa la entrada, punto intermedio y punto final para obtener la posición de la bandeja en la máquina, a través de los piñones ubicados en la mesa de trabajo. Los sensores utilizados son óptimos autoreflex, emitiendo y recibiendo un haz de luz láser.
2. Controla el movimiento de los motores paso a paso.

La programación a través de la tarjeta arduino es recibir las entradas de los sensores y comunicarla con los módulos de control de los motores a través de las salidas, adicionalmente gestiona el HMI (Human Machine Interface), compuesto por una pantalla que visualiza la información de la operación de la máquina, como por ejemplo cuantas bandejas se han sembrado, la cantidad de semillas que se han depositado en las bandejas y las horas de funcionamiento.

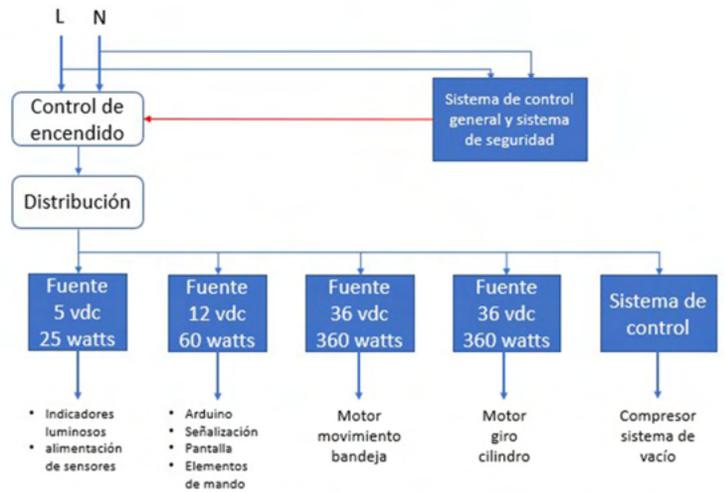
En este apartado se presenta un diagrama de bloques representando el sistema electrónico utilizado en la máquina.



**Figura 10**  
Diagrama de bloques del sistema electrónico  
**Fuente**  
Johan Fuentes

**Sistema de eléctrico**

El sistema eléctrico está compuesto por elementos de control, una tarjeta Arduino, una pantalla táctil de 3.5 pulgadas a color esta pantalla se conectará a los pines necesarios en el Arduino a través de un conector, fuentes de alimentación para los distintos componentes que lo requieren.



**Figura 11**  
Diagrama de bloque sistema eléctrico  
**Fuente**  
Johan Fuentes

# DISCUSIÓN CONCLUSIONES

*Hoy en día encontramos máquinas sofisticadas de alta inversión para una producción masiva, que planeando el costo/beneficio.*

*El prototipo permite evidenciar un bajo costo de inversión y lo significativo que puede llegar a hacer para la región disminuyendo el tiempo en el proceso de plantulación.*

*La máquina fue realizada con piezas diseñadas tridimensionalmente por el grupo de investigación, apoyados con una impresora 3D dando los terminados esperados, con una construcción a la medida, del prototipado se obtienen componentes únicos que posiblemente tengan protección intelectual, como lo son los molinos de perforación y el sistema sembrador.*

*La alternativa propuesta cumple las especificaciones planteadas para el cumplimiento de los objetivos.*

*Se evidencia que es posible desarrollar una máquina acorde a la capacidad tecnológica de la región, a precios que son de alcance para la sociedad o el medio en que se requiere, mejorando así las condiciones de trabajo del operario con la implementación de este dispositivo.*

*En cuanto al componente del sembrador; El prototipo cumple con el objetivo de sembrar la semilla, y se recomienda que los orificios deben estar libres de suciedad o con protección para que no se tapen, de esta manera se garantiza una succión constante y medible para que no haya pérdida en las pruebas.*

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abril, M. (2017). *DISEÑO DEL MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA PLANTULACIÓN DE TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill sp) EN LA EMPRESA PLÁNTULAS DE COLOMBIA SAS, SUTAMARCHÁN BOYACÁ. UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA*, 1-14.

Allende, M., Salinas, L., Rodríguez, F., Olivares, N., Riquelme, J., Antúñez, A., ... Felmer, S. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, BOLETÍN INIA / N° 12, (12), 112. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12 Manual de Tomate Invernadero.pdf>*.

Ardila, J. (2017). *SIEMBRA DE UN CULTIVO DE TOMATE (Solanum lycopersicum), CON BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN EL MUNICIPIO DE GUADALUPE SANTANDER. UNIVERSIDAD DE LA SALLE FACULTAD*.

Balaguera, H. E., Deaquiz, Y. A., & Alvarez, J. G. (2009). *Plántulas de tomate (Solanum lycopersicum L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA3). Agronomía Colombiana, 1(1), 57-64. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v27n1/v27n1a08.pdf>*.

Berrospe, A., Saucedo, C., Ramírez, P., & Ramírez, E. (2013). *COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE PLÁNTULAS DE POBLACIONES NATIVAS DE JITOMATE EN INVERNADERO. Biochemical and Biophysical Research Communications, 417(1), 62-66. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2011.11.055>*.

Bohorquez-Sandoval, C., Alvarez Herrera, J., & Niño Medina, R. (2011). *Giberelinas y 6-Bencilaminopurina en la plantulación de semillas de tomate (Solanum lycopersicum L.) híbrido Adrale RZ F1. Temas Agrarios, 16(2), 42. <https://doi.org/10.21897/rta.v16i2.690>*.

Bramanti, A. (2015). *Estrategias de innovación en los procesos productivos y su relación con el diseño industrial, 1-23*.

Castro, J. (2016). *Importancia de la tecnología en las empresas en crecimiento. Retrieved from <https://blog.corponet.com.mx/importancia-de-la-tecnologia-en-las-empresas-en-crecimiento>*.

DANE. (2014). *El cultivo del tomate de mesa bajo invernadero, tecnología que ofrece mayor producción, calidad e inocuidad del producto. Biochemical and Biophysical Research Communications, 417(1), 62-66. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2011.11.055>*.

Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, H., Urbina, C., & Martin, A. (2009). *MANUAL DE CULTIVO DE TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill.). Biochemical and Biophysical Research Communications, 417(1), 62-66. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2011.11.055>. [http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs2/PaP/MOT\\_OR\\_PaP\\_FINAL.pdf](http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs2/PaP/MOT_OR_PaP_FINAL.pdf)*

Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., & Zapata, M. (2006). *EL CULTIVO DE TOMATE BA-IOINVERNADERO. (J. Quirós & J. Noreña, Eds.) (Primera Ed). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, financiada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Código*.

López, L. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia En Tecnología Agropecuaria, 63-93. Retrieved from <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3143/1/BVE17079148e.pdf>*.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *EL CULTIVO DE TOMATE CON BUENAS PRÁCTICAS EL CULTIVO DE TOMATE AGRICULTURA URBANA AGRÍCOLAS EN LA Y PERIURBANA*.

Quirós, S. (2016). *GUÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE EN AGRICULTURA FAMILIAR. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia En Tecnología Agropecuaria*.

Sáez, F., García, O., Palao, J., & Rojo, P. (2003). *Influencia De La Tecnología En El Entorno. In Temas básicos de innovación tecnológica en las empresas (pp. 4-4.25). Retrieved from <http://dit.upm.es/~fsaez/intl/indicecontenidos.html>*.

Torres, A., Guzmán, A., Corradini, F., Martínez, J. P., Allende, M., Abarca, P., ... Sepúlveda, P. (2017). *Manual de cultivo del tomate al aire libre. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, BOLETÍN INIA / N° 11, 94. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/11 Manual Tomate Aire Libre.pdf>*.

Torres, A., Guzmán, A., Corradini, F., Martínez, J. P., Allende, M., Abarca, P., ... Sepúlveda, P. (2017). *Manual de cultivo del tomate al aire libre. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, BOLETÍN INIA / N° 11, 94. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/11 Manual Tomate Aire Libre.pdf>*.