

## Caracterización del sistema de crecimiento del jitomate en prototipo

### Characterization of the growth system of tomato in prototype

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ Sergio†\*, LAGUNA-AGUILAR, Fabiola María del Carmen, SERRANO-CABALLERO, Amando Gabriel, MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Verónica y NERI-LUNA, Cecilia

*Cuerpo Académico Optimización de Procesos Productivos de la Universidad Tecnológica Tula-Tepeji.*

*Cuerpo Académico Integración Tecnológica de la Universidad Tecnológica de Jalisco*

*Cuerpo Académico Ecología Terrestre de la Universidad de Guadalajara*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Sergio, Martínez-Sánchez*

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Fabiola María del Carmen, Laguna-Aguilar*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Amando Gabriel, Serrano-Caballero*

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Verónica, Martínez-Martínez*

ID 4<sup>o</sup> Coautor: *Cecilia, Neri-Luna*

Recibido 4 de Enero, 2018; Aceptado 6 de Marzo, 2018

#### Resumen

En la actualidad existe una problemática ambiental que impacta seriamente en nuestros cultivos, algunos de ellos son la contaminación de agua, suelo y aire. Esto afecta directamente la productividad del campo. Un ejemplo claro de esto son los que se dedican al cultivo del jitomate. El siguiente proyecto presenta la caracterización del proceso de crecimiento de jitomate como una propuesta para optimizar el desarrollo del jitomate, en prototipo a través de un modelo matemático, metodología que permite manipular los niveles significativos, para crecimiento óptimo de la planta, y con ellos mayor producción de jitomate en periodos cortos de tiempo. Las variables que se tomaron en cuenta son la temperatura y la humedad. Así mismo el impacto socioeconómico en la región de Tul-Tepeji, estado de Hidalgo.

**Optimización, variables, Desplazamiento lineal, Factores, Diseños factoriales**

#### Abstract

At present, there is an environmental problem that seriously impacts our crops, some of them are the contamination of water, soil and air. This directly affects the productivity of the field. A clear example of this are those that are dedicated to the cultivation of tomatoes. The following project presents the characterization of the tomato growth process as a proposal to optimize the development of the tomato, in prototype through a mathematical model Factorial Design, methodology that allows us to manipulate the significant parameters to obtain the greatest growth of the plant, and with them greater tomato production in short periods of time, throughout the year. The variables that were taken into account are temperature and humidity. Likewise, the socioeconomic impact in the Tul-Tepeji region, Hidalgo State.

**Optimization, Variables, Linear displacement, Factor designs**

**Citación:** MARTÍNEZ-SÁNCHEZ Sergio, LAGUNA-AGUILAR, Fabiola María del Carmen, SERRANO-CABALLERO, Amando Gabriel, MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Verónica y NERI-LUNA, Cecilia. Caracterización del sistema de crecimiento del jitomate en prototipo. Revista de Invención Técnica 2018. 2-5:9-14

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: sergio.martinez@utt.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

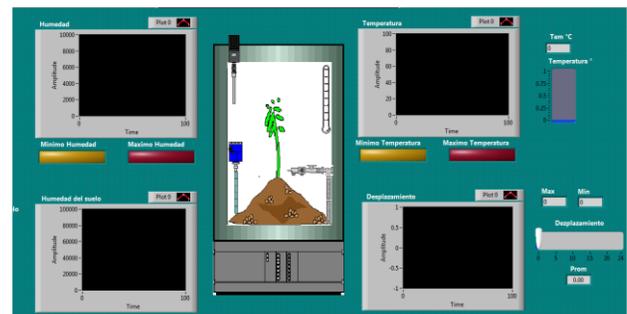
## Introducción

En México el cultivo del jitomate es de gran importancia, 70% de los cultivos que se producen bajo condiciones protegidas corresponde al jitomate. (Antonio Juárez-Maldonado 2015). Por esto es importante realizar un manejo eficiente en la agricultura intensiva para lo que se requieren conocer los factores que condicionan el potencial de producción de los cultivos. La producción de cultivos en invernaderos es de suma importancia ya que nos da una ventaja sobre la producción a cielo abierto porque se establece una barrera entre el ambiente externo y el cultivo, creando un microclima interno que permite proteger el cultivo de condiciones adversas (viento, contaminación, plagas) y controlar factores como la temperatura, radiación, concentración de CO<sub>2</sub>, y humedad relativa. Es importante mencionar que la actividad agrícola es fundamental para el desarrollo del campo y de sus habitantes, por tal motivo nos hemos dado a la tarea de trabajar continuamente aplicando el modelo matemático que permita optimizar la producción del jitomate, como es el caso en este trabajo, sin embargo existe una gran cantidad de productos agrícolas que se pueden aplicar modelos matemáticos de optimización de la producción y obtener productos eficientemente y a corto plazo. Aún falta trabajo pero es un inicio obtener estos resultados como lo es la disminución en el periodo de crecimiento de la planta.

En este artículo se describe la experimentación en dos etapas, la primera se habla del prototipo de un invernadero diseñado con la finalidad de llevar a cabo la experimentación involucrando sensores de humedad, temperatura y desplazamiento, la segunda el modelo matemático Diseño Factorial que es una técnica que se facilita obtener resultados concretos y fácil de interpretar, con dos factores y una variable de salida, asimismo los resultados y conclusiones correspondientes. Se trabajó bajo una hipótesis concreta diciéndonos que la aplicación de un modelo matemático eficiente el crecimiento de la planta de jitomate.

## Materiales y métodos

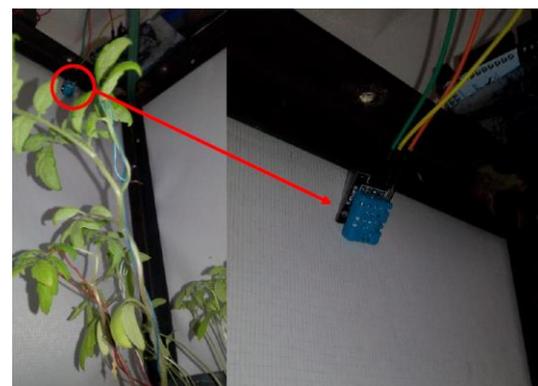
El experimento fue realizado a través de un prototipo de invernadero, donde se controlaron dos variables del proceso de producción, para analizar y observar el crecimiento de la planta, con tres sensores, el HC SR04, DHT11 y el óptico, de temperatura, humedad y desplazamiento respectivamente. El desarrollo del panel para el monitoreo de las variables fue realizado en el programa de LabVIEW, como se muestra en la figura 1 ubicando las principales variables a medir dentro del prototipo, en el cual como se mencionó anteriormente se agregaron la temperatura, humedad en el ambiente, humedad en el suelo y el desplazamiento (Crecimiento de la planta).



**Figura 1** Pantalla principal de Lab VIEW

*Fuente (Fuente propia 2015)*

La ubicación de los sensores en el prototipo del invernadero, fueron ubicados estratégicamente de tal manera que se obtuvieran los mejores datos de medición; como se muestra en la figura 1 Los datos del desplazamiento de la planta se obtuvieron al ejecutar el programa, los valores obtenidos se graficaron cada diez mediciones, en el programa de Lab VIEW.



**Figura 2** Ubicación de los sensores

*Fuente (Propia 2015)*

Se examinaron los factores y haciendo variar los parámetros para lograr el desplazamiento lineal de forma horizontal de la planta, propiciando un acelerando crecimiento, al variar los niveles de los factores, sin embargo es importante mencionar que se pueden emplear más factores, pero los costos de la investigación aumentan considerablemente.

El propósito es optimizar la producción, al cambiar los niveles de los factores a través del modelo es posible regular ciertos factores involucrados en el crecimiento del jitomate, de esta manera la planta crecería con mayor rapidez.

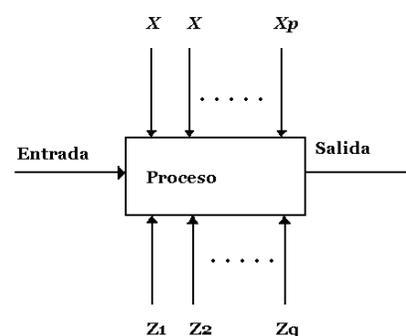
Para lograr esta investigación se realizaron pruebas, con 18 plantas de jitomate para hacer la evaluación de su crecimiento en diversas etapas y poder definir qué condiciones son las que dan los mejores resultados.

El monitoreo de las variables será llevado a cabo mediante un programa en el software Lab VIEW, donde se graficarán los valores obtenidos por medio de herramientas que el software proporciona, obteniendo los datos de sensores a través de una tarjeta de adquisición de datos Arduino MEGA.

En la actualidad, los productores de jitomate se enfrentan a diversas problemáticas, tanto al sembrar como al cosechar, por causas ambientales el crecimiento del jitomate es muy variable y hay factores que pueden intervenir en su crecimiento como son: las estaciones del año, la radiación solar, la humedad o temperatura a la que están expuestas, o incluso a los nutrientes que les sean suministrados. La tecnología ha tenido una evolución muy grande en los últimos años por lo cual es posible la utilización de diversos softwares para optimizar este tipo de producciones.

### Caracterización del proceso de crecimiento de la planta

Se aplicó la metodología del diseño factorial aplicando el análisis de varianza (ANOVA), definiendo el proceso del experimento siendo esta una prueba o ensayo y un diseño de experimento sabemos que son pruebas donde las variables involucradas en la entrada de un proceso pueden ser variadas para la observación de resultado, o respuestas de salida, bajo la identificación de las causas que producen estos cambios. Durante cualquier proceso existen variables que pueden ser controladas  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$  y otras que no pueden  $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_q$ , aunque para efectos de alguna prueba si pudieran ser controlables.



**Figura 3** Diseño general de un proceso

*Fuente (Diseño y análisis de experimentos; Douglas C. Montgomery)*

Dos son los factores durante el proceso de desarrollo: La humedad (A), (B) la temperatura. Es sencillo controlar ambos factores. Sin embargo, para realizar el experimento; se decide realizar todo lo necesario para asegurar el éxito total. Se elige dos niveles de humedad relativa, (60%, 70%), tres niveles de temperatura (20 °C, 25°C, y 30°C). Con tres réplicas de un diseño factorial con estos dos factores. La variable de respuesta a investigar es el desplazamiento lineal de la planta de jitomate. Una vez identificado las variables que pueden ser controlables, y los instrumentos confiables para su operación, así como el diseño factorial, se procede a realizar el experimento, con tres plantas iniciándolas con 21 cm de altura, obteniendo datos de las mediciones realizadas, de tal manera que podamos cambiar los valores de las magnitudes como son la temperatura y la humedad. Este diseño basado en un modelo matemático de Diseño Factorial, se puede ver en la siguiente tabla 1.

		Temperatura (B)		
		20 °C	25 °C	30 °C
Humedad	60 %	28.0	29.5	28.5
		28.5	30.0	29.0
		29.0	31.0	29.3
	70 %	23.0	23.5	22.0
		23.5	24.0	22.5
		24.0	26.0	23.0

**Tabla 1** Diseño factorial  
Fuente (Fuente propia 2017)

### Planteamiento de la hipótesis.

El Diseño de experimentos nos permitirá aprobar o rechazar la hipótesis establecida:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \quad (1)$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \quad (2)$$

Si  $F_0$  es mayor que  $F_\alpha$  Se rechaza  $H_0$

### Hipótesis Nula

Si  $F_0$  es menor que  $F_\alpha$  Se acepta  $H_0$

### Hipótesis Alternativa

Con:  $\alpha = 0.05$

La solución se realiza a través del software Minitab, cargando los datos y obteniendo los siguientes resultados, como se ilustra en la tabla 2

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value
Model	5	156.69	31.33	57.91
linear	3	155.148	51.71	95.57
Humedad (A)	1	146.205	146.2	270.1
Temperatura (B)	2	8.943	4.47	8.26
Iteración	2	1.543	0.772	1.43
Humedad (A)*Temperatura (B)	2	1.543	0.772	1.43
Error	12	6.493	0.541	
Total	17	163.185		

**Tabla 2** Solución del diseño factorial, mediante software Minitab

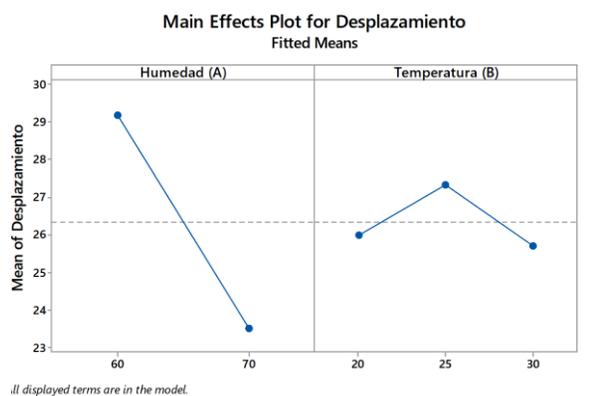
Fuente (Fuente propia 2018)

En esta solución nos indica que los datos obtenidos para la humedad, temperatura y la relación entre ambos factores es los siguiente respectivamente con un  $\alpha = 0.05$ , la humedad  $F_0 = 270.1$  calculada y la  $F_\alpha = 4.75$  obtenida de tablas, temperatura  $F_0 = 8.26$  calculada y la  $F_\alpha = 6.93$  obtenida de tablas, para la iteración entre ambos factores es  $F_0 = 1.43$  calculada y la  $F_\alpha = 6.93$  obtenida de tablas, lo que nos indica que la hipótesis nula se acepta y la hipótesis alternativa se rechaza, lo que nos indica que existe influencia entre la humedad y la temperatura para el crecimiento del jitomate, asimismo existe una relación entre ambos factores tal y como se en la iteración Plot for desplazamiento, véase graficas 1 y 2.

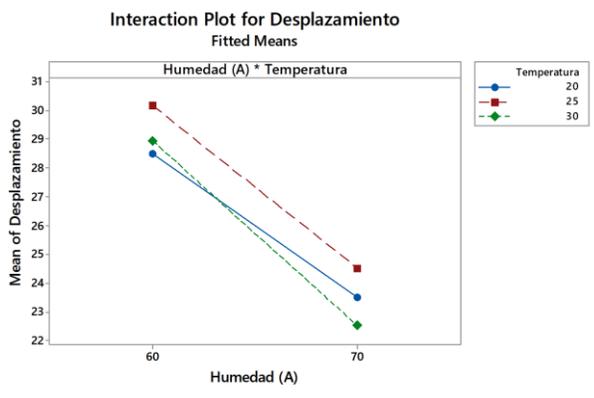
En el proceso de crecimiento de la planta de jitomate bajo condiciones controlables como son la humedad, la radiación solar y otras magnitudes de influencia que puedan afectar el crecimiento, así como el lugar donde se efectuara el experimento, se debe contar con el prototipo del invernadero, asimismo las condiciones necesarias a fin de evitar magnitudes de influencia que aun cuando no participan en el proceso, si influyen en el resultado del crecimiento de la planta, se recomiendo utilizar un sistema de aire acondicionado para obtener el control de la temperatura afín de evitar que perjudique la respuesta de salida.

### Graficas de resultados

Las gráficas nos presentan el grado de influencia que tienen con el crecimiento del jitomate, así como los parámetros óptimos de mayor crecimiento.



**Gráfico 1** Comportamiento de la humedad y temperatura  
Fuente: (Empresa, 2016)



**Gráfica 2** Comportamiento de la humedad y temperatura  
Fuente: (Empresa, 2016)

En la segunda etapa se diseñó el modelo de diseño factorial se aplicó en el prototipo de invernadero.

Lo que nos muestra la gráfica 1.3 es que la humedad óptima es del 60% y la temperatura de 25 °C. Lo que indica una salida de 29.5 cm de crecimiento.

## Resultados y discusión

Después de concluir los procesos experimentales se generaron gráficas de crecimiento de los diferentes órganos de las plantas de jitomate. Después de definir la problemática actual de los cultivos del campo y la importancia de trabajar en investigaciones encaminadas a mejorar la productividad de los cultivos bajo condiciones protegidas, por tal motivo los trabajos que actualmente se están llevando a cabo es con la finalidad de apoyar este sector productivo, siendo la justificación del proyecto.

Se trabajó con el diseño factorial lo que permitió optimizar el desplazamiento de la planta de jitomate, así como diseñar un prototipo de invernadero automatizado que nos permitió monitorear y controlar los niveles de los factores, a través de un software de instrumentación virtual, para analizar el crecimiento del tallo de la planta variando los parámetros de humedad y temperatura, estos datos obtenidos como resultados en esta primera etapa, nos indica que la mejor humedad y temperatura es a 60% y 25 °C, respectivamente, valores que le permiten a la planta tener mayor crecimiento de aproximadamente de 5 a 8 cm, y el desarrollo durante 15 días de prueba que se realizó.

Sin embargo esta es una primera etapa de la investigación, tan solo con dos factores y dos y tres niveles, aún falta mucho por trabajar, pero es importante mencionar que incorporando factores como la radiación solar, nutrientes podemos tener mejores resultados en la investigación

## Conclusiones

Las herramientas estadísticas permiten el mejor control de los procesos, ya que un proceso medido es un proceso controlado. Pero su aplicación es más efectiva sí se sigue una metodología para la soluciones de problemas; diseños factoriales, este tipo de metodologías están basadas en herramientas estadísticas para la optimización de procesos. De esta manera las soluciones son más puntuales, asertivas y optimas; porque dirigen los esfuerzos de manera más objetiva.

El Diseño Factorial es de gran ayuda para poder optimizar e identificar los problemas, estos son los más eficientes para este tipo de experimentos, donde se investiga todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores y su porcentaje de afectación y por lo siguiente analizarlos para mejorar el proceso e identificar claramente cuáles son los factores óptimos para su crecimiento.

El Diseño factorial es un tipo de experimento diseñado que permite estudiar los efectos que pueden tener varios factores sobre una respuesta. Al realizar un experimento, el hecho de variar los niveles de todos los factores al mismo tiempo en lugar de uno a la vez permite estudiar las interacciones entre los factores.

Finalmente se realizó un análisis de impacto dando como resultado del experimento donde se obtuvo los valores ideales de mayor crecimiento de la planta.

La generación de nuevos conocimientos el apoyo a los diversos sectores de nuestra sociedad y la transmisión del conocimiento es parte fundamental del Cuerpo Académico y la participación de estudiantes en el proyecto, sin embargo falta mucho camino que recorrer.

A pesar de contar con cultivos protegidos para la producción de jitomate, los climas extremos de los años 2017 y 2018, perjudicaron el crecimiento de las planta de jitomate, debido a que la mayoría de los invernaderos no cuentan con sistema de control automatizados de la temperatura dentro del invernadero, lo que hace que al existir bajas temperaturas ( $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) la planta inniva su crecimiento, por otro lado cuando la temperatura excede, la producción de jitomate tiende a afectarse.

La información presentada aquí puede ser útil en la planeación de los requerimientos de agua y nutrientes a lo largo de un ciclo de cultivo en agricultura protegida. También se puede utilizar para definir épocas de producción para aprovechar los mejores precios del mercado. Además, se puede aplicar en áreas poco exploradas como la modelación y simulación de tomate cultivado en invernadero.

## Referencias

R. E. Walpole, R.H. Myers. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Interamericana. 2. Irwin R. Miller, John E. Freud, Richard Jhonston.

Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Prentice Hall. 3. Richard I. Levin, David s. Rubin. Estadística para Administradores. Prentice Hall. 4. Murria Spiegel, John Schiller, R. Alu Srinivasan.

Probabilidad y Estadística. Mc. Graw - Hill. 5. Paul L. Meyer. Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. Fondo Educativo Interamericana.

Diseño y Análisis de Experimentos Montgomery segunda edición. Limusa Wiley. 2012

Anderson, Sweeney, Williams, Estadística para administración y economía. Editorial Thomson 2. Carot Vicente

Control estadístico de la calidad. Editorial Alfa Omega 3. Montgomery, Runger.

Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Editorial Mc Graw Hill 4. Montgomery C.D., Introduction to statistical quality control, 4th Edition, John Willey and Sons, Inc. 5. R.E. Walpole, R.H. Myers.

Probabilidad y estadística para ingenieros. Editorial Interamericana 6. Murria Spiegel, John Schiller, R. Alu Srinivasan.

Probabilidad y estadística. Editorial Mc Graw Hill 7. Meyer L. P, Probabilidad y aplicaciones estadísticas, Editorial Fondo Educativo Interamericano 8. Irwin Miller, John E. Freuno

Probabilidad y estadística para ingenieros, Editorial Prentice - Hall 9. Erwin Kreyszing, Estadística matemática, Editorial Limusa 10. Spiegel Murray R, Probabilidad y estadística, Editorial Mc Graw – Hill