UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Campus Loma Bonita

INGENIERÍA AGRÍCOLA TROPICAL

SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) Y JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN CONDICIONES DE CASA SOMBRA Y CAMPO ABIERTO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA AGRÍCOLA TROPICAL

PRESENTA:

MARIA DEL CARMEN ANTONIO LUIS

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ ANTONIO YAM TZEC

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO 2020

UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

***Campus* Loma Bonita**

LA PRESENTE TESIS TITULADA "**SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) Y JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN CONDICIONES DE CASA SOMBRA Y CAMPO ABIERTO**" PRESENTADA POR LA PASANTE **MARIA DEL CARMEN ANTONIO LUIS**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL **DR. JOSÉ ANTONIO YAM TZEC**, HA SIDO APROBADA POR EL JURADO EXAMINADOR Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE **INGENIERA AGRÍCOLA TROPICAL**.

JURADO EXAMINADOR

DR. JÓSE ANTONIO YAM TZEC

DIRECTOR

DR. HIPOLITO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

REVISOR

M.C. GABIELA DÍAZ FÉLIX

REVISOR

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO, 2020

Universidad del Papaloapan

FECHA:	30 de Enero del 2020
ÁREA:	Vice-Rectoria Académica
OFICIO NÚMERO:	UNPA/VRA/032/2020
ASUNTO:	Autorización de Impresión de tesis.

C. Maria del Carmen Antonio Luis
P R E S E N T E:

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **"Simulación del crecimiento de pepino *(Cucumis sativus L.)* Y jitomate *(Solanum lycopersicum L.)* en condiciones de casa sombra y campo abierto"** asi como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. José Antonio Yam Tzec.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente.
terra ubérrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chi jí jú

MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA
Vice-Rector Académico.

VICE-RECTORIA ACADEMICA

C.c.p. Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres Jefe de Carrera de la Lic. En Ingeniería Agrícola Tropical
C.c.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares
C.c.p. Dr. José Antonio Yam Tzec. Directora de Tesis.
C.c.p. Archivo.

UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

CAMPUS LOMA BONITA

Oficio No. JCIAT/03/20

Loma Bonita, Oaxaca a 30 de enero de 2020

M.E. YESENIA BARRIENTOS ARENAL
JEFA DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
PRESENTE

Por este medio le comunico que la Jefatura de Carrera a mi cargo a designado como jurado del proyecto de tesis titulado"**SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) Y JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN CONDICIONES DE CASA SOMBRA Y CAMPO ABIERTO**", para examen de titulación de la egresada **C. MARÍA DEL CARMEN ANTONIO LUIS** a los profesores

Presidente: M I Gabriela Díaz Félix
Secretario: Dr. Hipólito Hernández Hernández
Vocal: Dr. José Antonio Yam Tzec

Como suplentes:
Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres
Dr. José Angel Rueda Barrientos

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo

Atentamente
"Terra Uberrima, mens aperta"
Bou Lo tama, Chi Ji Jú

Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres
Jefe de la Carrera de Ingeniería Agrícola Tropical

UNPA
INGENIERÍA AGRÍCOLA TROPICAL

Vo. Bo.

M.C. Héctor López Arjona
Vice-Rector Académico

c.c.p. Archivo

DEDICATORIA

A mis padres

Margarita Luis Martínez

& Mauro Antonio Pacheco

A quienes amo y admiro incondicionalmente.
Por ser el mejor ejemplo de vida.
Por su apoyo incondicional y por los sacrificios que han hecho para brindarme una educación de calidad.
Por enseñarme que cuando se quiere se puede, que el límite en mis aspiraciones depende sólo de mí.

A mis hermanos

Armando Antonio Luis

Faustino Antonio Luis

Silvia Antonio Luis

Por depositar su confianza en mí.
Por brindarme su apoyo en los momentos más difíciles.

A mi mejor amigo

Hafid Rodríguez

Por ser mi familia lejos de casa.
Por enseñarme el valor de la amistad.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, la **Universidad del Papaloapan** por haberme formado a nivel profesional.

A **PRODEP**, por la beca de tesis que se me otorgó mediante el proyecto "Modelación y simulación del crecimiento y desarrollo de jitomate (*Solanum lycopercicum* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en la región del Papaloapan bajo condiciones de invernadero, casa sombra y campo abierto (UNPA-PTC-161)", dirigido por el Dr. José A. Yam Tzec.

A mi director, **Dr. José A. Yam Tzec**, por su acertado acompañamiento en el desarrollo del trabajo de tesis. Por su humildad al trasmitir el conocimiento en las diversas asignaturas.

Al **Dr. Rogelio E. Palacios Torres,** por sus consejos, por su conocimiento, por su apoyo, por su amistad y por motivarme para emprender nuevos caminos.

Al **Dr. Hipólito Hernández Hernández**, por enriquecer la calidad técnica del presente documento.

A la **M.C. Gabriela Díaz Félix**, por sus aportaciones a mi formación académica, tanto en el aula como en la revisión del documento de tesis.

A mis profesores **Cesar J. Martínez & Ana R. Ramírez**, por innumerables conocimientos y experiencias compartidas en las aulas.

A mis amigos: **Rodolfo, Gumaro, Catalina, Amadeo & Mauricio,** quienes fungieron como un soporte importante, tanto en el aspecto profesional como a nivel personal.

A los **alumnos de Ingeniería Agrícola Tropical** y a los estudiantes de bachillerato que desarrollaron su servicio social en la Universidad del Papaloapan. Todos ellos involucrados en algún momento en el registro de información de campo.

A **Angel Rueda,** por su desinteresada amistad.

CONTENIDO

DEDICATORIA i
AGRADECIMIENTOS ii
ÍNDICE DE CUADROS v
ÍNDICE DE FIGURAS vi
ÍNDICE DE APÉNDICE viii
RESUMEN ix
ABSTRACT x
1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVO 2
2.1. OBJETIVO GENERAL 2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3
3. HIPÓTESIS 3
4. REVISIÓN DE LITERATURA 3
4.1. LOS MODELOS EN LA AGRICULTURA. 3
4.2. AGRICULTURA A CAMPO ABIERTO 5
4.3. AGRICULTURA PROTEGIDA 6
4.4. CASA SOMBRA 8
4.5. PEPINO (*Cucumis sativus* L.) 9
4.5.1. Origen y Distribución 10
4.5.2. Importancia del pepino 11
4.5.3. Producción en México 12
4.5.4. Características botánicas 12
4.5.5. Requerimientos climáticos 14
4.6. JITOMATE (*Solanum lycopercicum* L.) 16
4.6.1. Origen y Distribución 16
4.6.2. Importancia del Jitomate 17
4.6.3. Producción en México 17
4.6.4. Características botánicas 18
4.6.5. Requerimiento Climáticos 20
5. MATERIALES Y MÉTODOS 22
5.1. Localización 22
5.2. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO. 22
5.2.1. Campo abierto 22
5.2.2. Casa sombra 22
5.3. Material experimental 23

5.4. Diseño experimental 23
5.5. VARIABLES EVALUADAS 23
5.5.1 Variables morfológicas 23
5.6. MANEJO AGRONÓMICO 24
5.6.1. Siembra 24
5.6.2. Análisis de suelo 25
5.6.3. Sustrato y llenado de bolsas 25
5.6.4. Trasplante 25
5.6.5. Riego y fertilización. 26
5.6.6. Poda y tutoreo 28
5.6.7. Monitoreo y control de plagas y enfermedades 28
5.6.8. Monitoreo de Temperatura 29
5.6.9. Cosecha 30
5.7. OBTENCIÓN DE MATERIA SECA 31
5.7.1. Secado de muestras. 31
5.8. SIMULACIÓN 32
5.8.1. Introducción de datos de clima 32
5.8.2. Creación de una nueva estación climática en el software DSSAT 32
5.8.3. Introducción de datos del cultivo en el software 33
5.8.4. Análisis de datos 36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 37
6.1. Crecimiento morfológico real y simulado de jitomate 37
6.2. Crecimiento morfologico real y simulado en Pepino 51
6.3. Materia seca obtenida en frutos 63
6.4. Desarrollo del cultivo con base en la materia seca acumulada 68
7. CONCLUSIONES 69
8. LITERATURA CITADA 70
9. APÉNDICE 80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del pepino (ITIS, 2019). 9
Cuadro 2. Clasificación taxonómica de jitomate (USDA, 2019). 16
Cuadro 3. Solución Steiner utilizada para nutrición de jitomate y pepino en condiciones de campo y casa sombra. 27
Cuadro 4. Medias de la variable número de hojas para la simulación y datos reales obtenidos en jitomate 37
Cuadro 5. Peso obtenido en la variable hoja, medias presentadas en la simulación, así como las reales representadas en kg ha^{-1}. 38
Cuadro 6. Medias reales t obtenidas en la simulación en cada una de las condiciones para la variable raíz para jitomate. 40
Cuadro 7. Variable de peso de tallo, medias obtenidas en la simulación y en la parte real del experimento, representado en kg ha^{-1}, durante los días de muestreo en jitomate. 42
Cuadro 8. Simulación y datos reales obtenidos, así como la suma de pesos de hojas y tallo, representando el peso vegetativo de la planta expresado en kg ha^{-1}en jitomate. 43
Cuadro 9. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, $P \leq 0.05$, para las variables estudiadas en jitomate en campo abierto. 44
Cuadro 10. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, $P \leq 0.05$, para las variables estudiadas en Jitomate en Casa sombra 50
Cuadro 11. Medias obtenidas en el análisis de datos, así como los datos arrojados en la simulación para la variable de número de hoja para pepino. 52
Cuadro 12. Simulación y datos reales obtenidos para la variable de peso de hojas, de la planta expresado en kg ha^{-1} 53
Cuadro 13. Simulación y datos reales obtenidos para la variable de peso de raíz de la planta de pepino expresada en kg ha^{-1}. 54
Cuadro 14. Simulación y datos reales obtenidos para la variable de peso de tallo en el cultivo de pepino, expresado en kg ha^{-1} 56
Cuadro 15. Simulación y datos reales obtenidos para la suma de peso de tallo y hojas de pepino, el cual representa el peso vegetativo expresado en kg ha^{-1} 57
Cuadro 16. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, $P \leq 0.05$, para las variables estudiadas en pepino en campo Abierto 57
Cuadro 17. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, $P \leq 0.05$, para las variables estudiadas en pepino en casa sombra.63
Cuadro 18. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, $P \leq 0.05$, para peso seco de frutos en jitomate para campo abierto (CAB) y casa sombra (CAS) 65
Cuadro 19. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, $P \leq 0.05$, para peso seco de frutos en pepino para campo abierto (CAB) y casa sombra (CAS) 67
Cuadro 20. Acumulación de materia seca total para cultivo de jitomate en condiciones de casa sombra y campo abierto. 68
Cuadro 21. Medias de peso seco acumulado durante la etapa del cultivo de pepino en condiciones de casa sombra y campo abierto, representado en gramos por planta y kilogramos por metro cuadrado. 69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes y módulos que conforman la estructura de DSSAT-CSM. Fuente: Hoogenboomet al. (2017). 5
Figura 2. Comportamiento de las variables de Temperatura y Humedad Relativa en condiciones de casa sombra en los días que se desarrolló el experimento expresado en días Julianos. 30
Figura 3. Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa en condiciones de campo durante el desarrollo del experimento expresado en Días Julianos..... 30
Figura 4. Esquema de conformación del software DSSAT, módulos principales y secundarios..... 34
Figura 5. Información y datos que se proporcionaron en el módulo de medio ambiente y clima..... 34
Figura 6. Módulo de manejo, información que se proporciona a cada submódulo. 35
Figura 7. Información proporcionada y requerida en el módulo de simulación. 35
Figura 8. Comportamiento de la variable número de hojas en condiciones de campo abierto (CAB) en jitomate..... 38
Figura 9. Datos obtenidos en condiciones de campo abierto (CAB) para la variable peso de hoja en jitomate..... 39
Figura 10. Medias obtenidas para la variable peso de raíz en condiciones de campo abierto (CAB) en jitomate..... 40
Figura 11. Comportamiento de la variable peso de tallo en condiciones de campo abierto para cultivo de jitomate..... 41
Figura 12. Comportamiento del peso vegetativo (tallo y hojas) en condiciones de campo abierto en jitomate..... 43
Figura 13. Cantidad de hojas desarrolladas por la planta de jitomate en condiciones de casa sombra (CAS), y la cantidad de hojas a desarrollar de acuerdo con la simulación. 45
Figura 14. Peso de hojas que se obtuvo en condiciones de casa sombra para jitomate, así como el peso arrojado por la simulación. 46
Figura 15. Peso obtenido por la planta en la variable raíz en condiciones de casa sombra comparado con los resultados obtenidos en la simulación para el cultivo de jitomate..... 47
Figura 16. Peso obtenido por la planta en la variable tallo, en condiciones de casa sombra comparada con las medias obtenidas en la simulación para la misma variable, esto en jitomate 48
Figura 17. Comportamiento de la variable peso vegetativo de jitomate tanto reales como simuladas bajo condiciones de casa sombra. 49
Figura 18. Variable hoja, cantidad de hojas que obtuvo la planta en condiciones de campo abierto (CAB) así como el número de hojas obtenidas en la simulación para el pepino. 51
Figura 19. Peso obtenido de la variable hoja para condiciones de campo abierto (CAB) así como el peso simulado en el DSSAT para las mismas condiciones en pepino. 53
Figura 20. Simulación y datos medidos de peso en la variable raíz para condiciones de campo abierto en cultivo de pepino. 54
Figura 21. Peso de tallo en plantas de pepino en condiciones de campo abierto, así como el peso obtenido en la simulación para esta misma condición..... 55
Figura 22. Peso acumulado de tallos y hojas (peso vegetativo) por planta durante su proceso productivo, así como los datos simulados para el cultivo de pepino. 56
Figura 23. Número de hojas originadas por la planta de pepino en condiciones de casa sombra, comparado con el número de hojas simulado por el DSSAT..... 58

Figura 24. Peso que obtuvieron las hojas que desarrollaron las plantas de pepino en casa sombra, comparado con los datos arrojados por la simulación en DSSAT. 59
Figura 25. Comportamiento del peso de la raíz en el cultivo de pepino en su desarrollo en condiciones de casa sombra, así como el comportamiento de la variable en la simulación. . 60
Figura 26. Peso obtenido en la variable tallo en el cultivo de pepino en condiciones de casa sombra, en diferentes días de su ciclo vegetativo, así como el peso obtenido en la simulación. 61
Figura 27. Peso acumulado en tallo y hoja de pepino, como variable de peso vegetativo comparado con las medias obtenidas en la simulación del DSSAT. 62
Figura 28. Datos de peso seco de frutos de jitomate en condiciones de campo abierto, así como los obtenidos en la simulación mediante el DSSAT-TOMGRO..... 64
Figura 29. Datos medidos de peso seco en condiciones de casa sombra para cultivo de jitomate comparado con los datos obtenidos mediante la simulación. 65
Figura 30. Datos medidos en condiciones de campo abierto, así como los datos arrojados por la simulación mediante el software DSSAT en cultivo de pepino para la variable de peso seco de frutos. 66
Figura 31. Datos obtenidos de la simulación comparados con los datos medidos en la parte experimental en condiciones de casa sombra para el cultivo de pepino. 67

ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice 1 Resultado de análisis de suelo 80
Apéndice 2 Cuadro de datos de temperatura y humedad en condiciones de casa sombra y campo abierto 81
Apéndice 3 Gráficas de regresión lineal de variables de jitomate en campo abierto y casa sombra 85
Apéndice 4 Gráficas de regresión lineal de variables de jitomate en campo abierto y casa sombra 86
Apéndice 5 Evidencia fotográfica del desarrollo del trabajo experimental 89
Apéndice 6 Participación en eventos de divulgación científica con trabajos derivados de esta investigación y relacionados con los cultivos desarrollados 93

RESUMEN

La modelación y la simulación como parte de la agricultura de precisión pretende producir una mayor cantidad de alimentos con el uso óptimo de insumos y energía. Este avance tecnológico ayuda a predecir el comportamiento del cultivo, con el fin de proponer y establecer mejoras para el manejo. En el Papaloapan el cultivo de hortalizas como el pepino y el jitomate está muy limitado, debido a las condiciones climáticas presentes en la región, las cuales hacen propenso la aparición de diferentes patógenos que causan algún tipo de daño dentro de una parte del proceso productivo. En la región se estableció el cultivo de jitomate y pepino en condiciones de casa sombra y campo abierto, mediante un diseño experimental completamente al azar, realizando muestreos destructivos con un tamaño de muestra de 4 plantas de jitomate y 4 plantas para pepino para cada una de las condiciones establecida, aplicando riegos tres veces al día de solución Steiner. El presente trabajo se realizó con objetivo de simular, modelar y calibrar el modelo DSSAT-TOMGRO en las dos condiciones antes mencionadas. Se calibró y se simuló el modelo, reportando ecuaciones de regresión, con valores de coeficiente de correlación para las condiciones de casa sombra en jitomate, para estas variables: número de hojas (NH), peso de hojas (PH), peso de tallo (PT), peso de raíz (PR) peso seco de frutos (PSF) y peso vegetativo (PV), este último engloba peso de tallo más hojas, donde se obtuvo una R^2=0.93, R^2=0.93, R^2=0.96, R^2=0.90, R^2=0.87, R^2=0.95 para tomate en campo abierto. En condiciones de casa sombra para el mismo cultivo se obtuvo R^2=0.84, R^2=0.98, R^2=0.95, R^2=0.96, R^2=0.56, R^2=0.98. En condiciones de casa sombra y campo abierto para las mismas variables en el cultivo de pepino se presentaron las siguientes; R^2=0.74, R^2=0.80, R^2=0.91, R^2=0.80, R^2=0.5, R^2=0.91, mientras para casa sombra el ajuste fue R^2=0.57, R^2=0.80, R^2=0.74, R^2=0.2, R^2=0.60; obteniendo de esta manera un ajuste favorable para dichas condiciones en ambos cultivos, para Loma Bonita Oaxaca.

Palabras clave: Simulación, Modelo de cultivo, DSSAT, Casa sombra, Campo abierto.

ABSTRACT

Modeling and simulation as part of precision agriculture aims to produce a greater amount of food with the optimal use of supplies and energy. This technological advance helps to predict the behavior of the crop in order to propose and establish improvements for management. In the lower Papaloapan River basin región, the cultivation of vegetables such as cucumber and tomato is very limited, due to the climatic conditions present in the region which can cause the appearance of different pathogens that cause some type of damage within a part of the productive process. In the región, tomato and cucumber cultivation was established under conditions of shade house and open field, through a completely randomized experimental design, performing destructive sampling with a sample size of 4 tomato plants and 4 cucumber plants for each of the conditions established applying irrigation three times a day of Steiner solution. The present work was carried out with the objective of simulating, modeling and calibrating the DSSAT-TOMGRO model in the two conditions mentioned above.The model was calibrated and simulated, reporting regression equations, with correlation coefficient values for shade house conditions in tomato. For these variables: number of leaves (NL), weight of leaves (WL), stem weight (SW), root weight (RW) dry fruit weight (DFW) and vegetative weight (VW), the latter includes stem weight plus leaves, where R^2=0.93, R^2=0.93, R^2=0.96, R^2=0.90, R^2=0.87, R^2=0.95was obtained for tomato in the open field. Under shade house conditions for the same crop R^2=0.84, R^2=0.98, R^2=0.95, R^2=0.96, R^2=0.56, R^2=0.98 was obtained.In conditions of shade house and open field for the same variables in the cultivation of cucumber the following were presented; R^2=0.74, R^2=0.80, R^2=0.91, R^2=0.80, R^2=0.5, R^2=0.91, while for shade house the setting was R^2=0.57, R^2=0.80, R^2=0.74, R^2=0.2, R^2=0.60; obtaining in this way, a favorable adjustment for these conditions in both crops, for Loma Bonita, Oaxaca.

Keywords: Simulation, Crop model, DSSAT, Shade house, Open Field

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades realizadas por las familias mexicanas principalmente como generadora de ingresos en comunidades rurales del país, el cultivo de frutas y hortalizas es una de ellas y es una de las aportadoras a la economía mexicana. De acuerdo con la SADER (2017), el desarrollo de productos agrícolas se incrementó en un 11 % en 2016 con respecto a lo obtenido en 2012, debido al aumento de cosechas en algunos cultivos donde las hortalizas tienen una participación de 21%, con aumentos significativos en el cultivo de pepino (48%), chile verde (25%), jitomate (13.4%) y elote (13.4%). Cabe mencionar que nuestro país se mantiene como uno de los principales proveedores externos de tomate, importando principalmente a Estados Unidos (FIRA, 2016).

La horticultura y el desarrollo de la agricultura protegida han venido con los años añadiendo nuevas tecnologías, que se pueden adaptar al campo mexicano, con el fin de mejorar los rendimientos y la obtención de mejores productos hortícolas que ofrecer al mercado nacional e internacional, debido a la efectividad en la productividad, así como eficiencia en aprovechamiento de los recursos (Pratt y Ortega, 2019)

Debido a muchos factores como la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la radiación, las temperaturas, la baja de precipitaciones, así como la presencia de plagas, enfermedades y malezas que afectan considerablemente la producción se han desarrollado bioespacios, así como la aplicación de avances tecnológicos en el sector agropecuario (Juárez *et al.,* 2011). Aunado a esto, el consumidor tiene una gran influencia en el desarrollo de dichos espacios, esto debido a la exigencia en cuanto a productos de mejor calidad, sin estragos por cambios climáticos o agentes patógenos,

en cualquier época del año (Santos *et. al,* 2010). El desarrollo de nuevas tecnologías, el uso de sistemas computarizados y la importancia de la agricultura ha implementado el uso de modelos para su estudio y planificación con el fin de obtener una producción optimizada, eficiente y sustentable. Un modelo no es más que una representación de un sistema, dichos sistemas pueden ser descriptivos o de simulación, esté ultimo tiene como salida datos numéricos y gráficos (Candelaria *et al.*, 2011).

De acuerdo con Esperanza (2013) la modelación en el sector agrícola surge como una alternativa en los procesos de planificación y como una herramienta para la generación de investigación. Sin embargo, el uso de tecnología en el sector agropecuario toma una gran importancia de acuerdo con Hernández *et.al.* (2009) debido a la ayuda en la toma de decisiones, esto al cuantificar, interpretar y predecir las necesidades hídricas de los cultivos durante su desarrollo al igual que sus rendimientos. Tomando un mayor auge principalmente debido a la baja disponibilidad de recursos hídricos, lo cual es una de las situaciones más preocupantes en el mundo y sobre todo en el sector agrícola, quien es el más demandante de este recurso (Martínez-Ruiz *et al.*, 2012).

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Simular variables de crecimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) y jitomate (*Solanum lycopersicum* L) en condiciones de casa sombra y campo abierto mediante el modelo DSSAT.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Simular el crecimiento de cultivo de pepino y jitomate bajo condiciones de casa sombra y campo abierto en el trópico húmedo.
- Registrar variables del cultivo como número de hojas, peso de hojas, tallo, raíz y frutos, así como parámetros agroclimáticos, mediante el uso de sensores, y de la Estación Meteorológica Automática (EMA) con el fin de obtener datos de clima que se utilizarán para la simulación en el software DSSAT-TOMGRO.
- Calibrar el modelo DSSAT para que se pueda utilizar en condiciones de trópico húmedo.

3. HIPÓTESIS

La simulación de variables de crecimiento del cultivo de pepino y jitomate mediante el modelo DSSAT-TOMGRO se adapta a las condiciones de casa sombra y campo abierto en el trópico húmedo.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. LOS MODELOS EN LA AGRICULTURA.

Los modelos en las actividades agrícolas han sido desarrollados básicamente para ayudar a entender fenómenos dentro de un sistema, como herramienta de investigación y para monitorear el crecimiento y desarrollo de los cultivos a nivel comercial (Rojas *et. al.*, 2011).

La producción hortícola en condiciones de agricultura protegida demanda, que las prácticas tengan el efecto esperado, para ello es necesario que se pueda determinar con precisión las desviaciones que ocurran durante el crecimiento y desarrollo de los

cultivos. La modelación permite tener de forma cuantitativa la interacción de procesos simultáneos en la planta y en consecuencia se pueden anticipar los cambios de las variables de estado en los cultivos (Hernández- Hernández *et al.*, 2011).

El Sistema de Soporte de Decisión para Transferencia Agrotecnológica (DSSAT) desarrollado en 1982, es un programa que ayuda a simular o predecir el desarrollo y producción de un cultivo con base en información ambiental y de manejo proporcionado por el usuario (Uehara y Tsuji, 1998; Rojas *et. al*, 2011). Comprende modelos de simulación para más de 42 cultivos, así como las herramientas necesarias para el uso de los modelos de manera efectiva, las cuales incluyen base de datos de suelo, clima, gestión de cultivos, datos experimentales, servicios público y datos de aplicación. Simulan crecimiento de cada cultivo, relacionando cada base de datos para obtener un gráfico de salida (Hoogenboom*et al*., 2017)

El modelo comprende un módulo primario que engloba los factores: clima, manejo, suelo-planta-atmósfera, suelo, planta. Cada uno de estos módulos tiene acceso al módulo secundario que incluyen componentes que permite introducir los datos del cultivo, datos ambientales, de manejo, fertilización y riego (Hoogenboom*et al*., 2017).

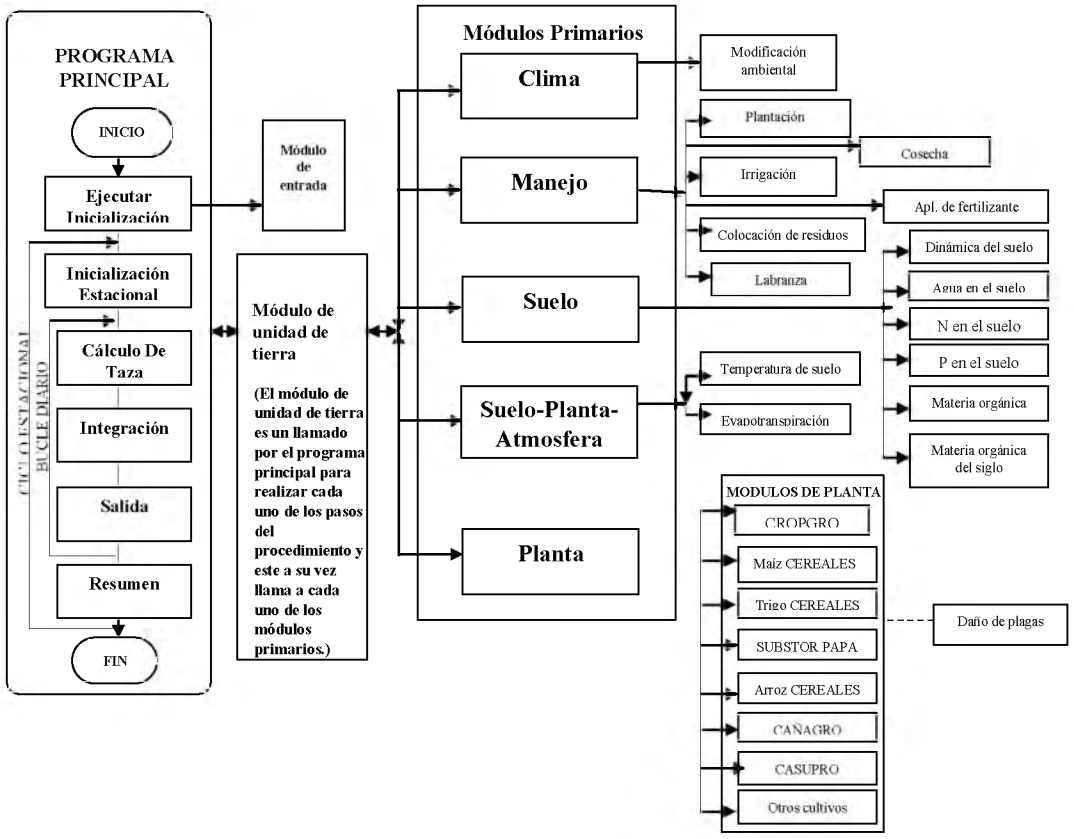


Figura 1. Componentes y módulos que conforman la estructura de DSSAT-CSM. Fuente: Hoogenboom*et al*. (2017).

4.2. AGRICULTURA A CAMPO ABIERTO

La agricultura a cielo abierto o a campo abierto es una actividad desarrollada desde hace muchos años en el mundo, antes de la llegada de la tecnología, como el implemento de invernaderos y la hidroponía (Enciso, 2011).

Gran parte de la agricultura establecida en campo abierto se ha ido enfrentando a una serie de problemas fitosanitarios que en gran medida afectan de manera considerable la producción y la calidad de los productos agrícolas. Cada vez es más difícil la producción de hortalizas y otros cultivos básicos en campo abierto, debido a la serie de cambios en los aspectos ambientales y a la incidencia que se tiene de plagas y enfermedades (Mondragón, 2007).

El cambio climático y la inseguridad alimentaria son desafíos que no se pueden afrontar sin la recolección, preservación y el uso sostenible de los recursos (Hernández, 2011). El cambio climático sin duda ha tenido un gran impacto en la agricultura en México, debido a la vulnerabilidad que tiene ante los eventos climáticos extremos, por las condiciones en que la agricultura se desarrolla tanto de temporal, como de riego (SAGARPA, 2012).

El aumento de las temperaturas, así como el cambio que tienen los regímenes pluviales tiene un gran impacto en la agricultura, afectando directamente los rendimientos de los cultivos, e indirectamente la disponibilidad de agua de riego (Nelson *et al.* 2009), además las sequias, heladas y las inundaciones que afectan severamente el sector agropecuario (SAGARPA, 2012). Debido al cambio climático el sector agrícola, es quien ha absorbido por lo menos el 25 % del total de los daños, esto debido a las sequias, inundaciones y fenómenos climáticos, afectando a pequeños productores que son quienes menos han contribuido a este cambio (FAO, 2017).

4.3. AGRICULTURA PROTEGIDA

A lo largo de los años, se ha ido desarrollando una serie de construcciones que nos ayudan a generar distintas alternativas para el desarrollo óptimo de los vegetales (Juárez *et al,* 2011). En el sector agropecuario, la agricultura protegida está definida como un conjunto de prácticas que nos permiten controlar una serie de factores que influyen dentro del proceso de producción. De acuerdo con SADER (2019) la agricultura protegida es aquella que se realiza bajo métodos de producción, esto ayuda a ejercer determinado grado de control sobre los diversos factores del medio ambiente. Permitiendo con ello minimizar las restricciones de condiciones adversas

como las condiciones climáticas. Es considerada como una tendencia que contribuye a modificar las condiciones de producir alimentos y genera ventajas sobre el campo mexicano, que permite a los productores producir alimentos en ciclos diferentes, además de ser más eficientes en el desarrollo de las prácticas de manejo, teniendo mejores resultados en la productividad y rendimiento (Navarro, 2011).

La agricultura protegida ha generado un aumento en el rendimiento de la producción beneficiando así a muchos productores quienes producen durante todo el año lo que no sería posible en campo abierto. Algunas ventajas que tiene la agricultura protegida sobre la agricultura convencional (cielo abierto), es la protección brindada a la planta principalmente de los factores climáticos y presencia de las plagas y enfermedades (Cedillo y Calzada, 2016).

Por otro lado, Santos *et al.,* (2010) define a la agricultura protegida como una serie de estructuras cerradas que se encuentran rodeadas por cubiertas transparentes y semitransparentes, las cuales permiten la obtención de un ambiente artificial donde se pueden desarrollar una serie de cultivos adaptando dichos ambientes a sus necesidades agroclimáticas, dichas instalaciones suelen ser distintas entre sí por sus características y complejidad de sus estructuras.

En México, el desarrollo de la agricultura protegida ha sido bajo condiciones muy heterogéneas tanto a nivel tecnológico, como de la superficie (Cedillo y Calzada, 2016). En lo que se refiere a la implementación de invernadero y casa sombra gran parte de esta actividad se desarrolla al norte del país. La cubierta predominante en la agricultura protegida es de: 50% malla sombra, 47% es plástico, vidrio 2% y 1% otro tipo de material (López-Elías *et. al*., 2011). Las principales hortalizas producidas bajo estas condiciones son pepino, tomate, pimiento, melón y lechuga, en algunos

casos plantas ornamentales como rosa, crisantemos y gerberas (Juárez *et al,* 2011). Con el uso de invernaderos y casa sombra de acuerdo con la SAGARPA en 2012 se incrementó 5 veces más la producción con relación a los cultivos en campo abierto.

México tienen muchas regiones donde las condiciones naturales son ideales para el establecimiento de invernaderos, por ello el desarrollo de la agricultura protegida ha sido de manera acelerada (Juárez *et al.*, 2011). En nuestro país, la mayor parte de agricultura protegida de acuerdo con la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC, 2017) se concentra en tres principales estados; Sinaloa (20%), Jalisco (20%) y Michoacán (17 %). En donde los principales cultivos son el jitomate (68%), pepino (15 %) y chile verde (14 %).

4.4. CASA SOMBRA

Se define como casa sombra a una estructura compuesta de tubos galvanizados, malla antiáfidos, malla sombra plástica, utilizada para aislar y producir hortalizas. Ayudando a disminuir la alta radiación y temperatura e incrementa la humedad relativa (INIFAP, 2014).

De acuerdo con Juárez *et al., (*2011) una casa sombra es una estructura tipo cobertizo, que nos ayuda a proteger a los cultivos de la radiación solar, además de ayudar a las inclemencias climáticas como el granizo y evitar el exceso de la temperatura en el interior, estas mallas no evitan el paso de la lluvia y son permeables al viento.

La casa sombra tiene muchas ventajas y desventajas, al ser una estructura con malla nos ayuda a beneficiarnos de las condiciones climáticas de la región y ayuda a una mejor ventilación. A pesar de ello se tiene como punto en contra el hecho de que no se puede controlar del todo la humedad relativa (Potisek *et al.*, 2013). Estas

estructuras pueden ser fijas o móviles, es uno de los primeros pasos para los productores para desarrollarse en el ámbito de la agricultura protegida, cultivando productos hortícolas; tomate, pepino, pimiento, y en ocasiones verduras de hojas verdes. (Pratt y Ortega, 2019), para almácigos de algún cultivo, al igual que para plántulas de árboles forestales, pues con esto se evita un estrés hídrico y calórico en el cultivo, obteniendo así un mejor desarrollo vegetativo (Santos *et al.* 2010).

Por lo general en casa sombra se hace uso de malla de color negro, sin embargo, el uso de mallas de otros colores ayuda a incrementar rendimientos. De acuerdo con Ayala-Tafoya *et al.* (2015), se puede utilizar mallas de color debido a que mejora las propiedades fotosintéticas y crecimiento de la planta.

El SIAP en 2018 reportó un total de superficie sembrada a nivel nacional de 34,767 ha, dedicadas a la agricultura protegida, entre invernadero, malla sombra y macro túnel.

4.5. PEPINO (*Cucumis sativus* L.)

El pepino es una hortaliza que pertenece a la familia de las cucurbitáceas, del género *Cucumis*, se difundió como cultivo en todo el mundo, cultivado en la India por más de 3000 años (Hernández, 2011).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del pepino (ITIS, 2019).

REINO:	*Plantae*
SUBREINO:	*Viridiplantae*
DIVISION:	*Tracheophyta*
CLASE	*Magnoliopsida*
SUPERORDEN	*Rosanae*

ORDEN	*Cucurbitales*
FAMILIA	*Cucurbitaceae*
GENERO	*Cucumis*
ESPECIE	*sativus*
NOMBRE COMÚN	*Pepino*

4.5.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

El pepino es una hortaliza que tiene sus orígenes en las regiones tropicales de Asia del Sur, (Reyes, 2012) y después se distribuyó por Europa y posteriormente fue introducida por Cristóbal Colon a América, apareciendo en 1872 el primer híbrido (Zamudio y Félix, 2014). Es una planta herbácea que presenta un tallo espinoso, de tipo rastrero y de crecimiento indeterminado, el fruto es de estructura pepónide, áspero o liso dependiendo de la variedad, exigente en cuanto a luminosidad; crece, florece y fructifica con normalidad y soporta elevadas intensidades luminosas (Zamudio y Félix, 2014). Para su cultivo, esta hortaliza requiere de temperaturas altas y de humedad moderada. Las temperaturas óptimas para desarrollo y crecimiento oscilan entre 18 y 30 °C, y humedad relativa de 80 a 90 % (Reyes, 2012).

Compuesto principalmente de agua, es una planta que demanda altos niveles de este recurso, y sobre todo en los periodos críticos de crecimiento como son los periodos de fructificación, durante este proceso se utiliza mayores cantidades de lámina de riego (Zamudio y Félix, 2014). De acuerdo con SAGARPA (2014), el cultivo de pepino tiene requerimientos de 1.5 litros por planta de agua al día y va en aumento de acuerdo con la etapa fenológica, aunado a esto existen una serie de factores que impiden el desarrollo óptimo del cultivo y va ligado a la zona de establecimiento y sus variables climáticas tanto precipitación, temperaturas y humedad relativa, así

como la presencia de plagas y enfermedades que se pueden presentar durante el ciclo vegetativo.

4.5.2. IMPORTANCIA DEL PEPINO

El pepino es una hortaliza que se consume en fresco además de ser utilizada dentro de la industria como un aditivo a productos de belleza gracias a sus propiedades como lo es el alto contenido de agua junto con el contenido de vitamina E y contenido de aceites; es usado en jabones y cremas para el cuidado de la piel (Reyes, 2012). Al igual que el jitomate esta hortaliza destaca principalmente por las exportaciones que se realizan.

Según Ramírez *et. al,* (2012) al ser reciente la implementación de pepino bajo condiciones de invernadero, se han adoptado prácticas de manejo que realizan otros países donde las condiciones climáticas y las variedades utilizadas son distintas a las que se utilizan y se desarrollan en México.

Barraza (2012), realizó un experimento, evaluando el híbrido Saber, bajo cuatro tratamientos, los cuales correspondían a diferentes concentraciones de solución Steiner (25%, 75%, 125%, 175%). Bajo cada tratamiento realizó un muestreo destructivo, y por medio de la acumulación de materia seca de cada uno de los órganos de la planta, determinó el mejor rendimiento de acuerdo con la concentración de solución nutritiva. Teniendo como resultado que el tratamiento con 175% de solución presentaba un mejor rendimiento, con una mayor acumulación de materia seca.

4.5.3. PRODUCCIÓN EN MÉXICO

En los últimos años la producción de pepino ha ido en aumento, el Sistema de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2018 reportó una producción de 848,636 toneladas a nivel nacional con una superficie sembrada de 17,034 ha, obteniendo rendimientos de 51 t ha^{-1}, del total de esta producción el estado de Oaxaca aporta una producción de 591 t (0.06%) para el cultivo de pepino obteniendo rendimientos de 11.5 t ha^{-1}. Concentrándose la mayor producción en el estado de Sinaloa con 253 t ha^{-1} lo que representa el 30 % de la producción nacional. Para agosto 2018 Oaxaca reporta 440 toneladas con un rendimiento de 11 t ha^{-1} y a nivel nacional 574, 995 toneladas con rendimiento de 63 t ha^{-1}

4.5.4. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

4.5.4.1. Semilla

Esta hortaliza, desarrolla semillas que son ovaladas y aplanadas, con una coloración blanca amarillenta, el tiempo de germinación es de 3 a 4 días. Su tamaño va desde los 8 a 10 mm de largo (López, 2003). La viabilidad de la semilla puede ser hasta de 5 años, con una buena germinación (Casilimas *et al*, 2012).

4.5.4.2. Raíz

Es un órgano que llega a medir hasta 1.2 m, desarrolla raíces secundarias, además de que éstas son demasiado superficiales, herbácea y rastrera (López, 2003).

4.5.4.3. Tallo

Los tallos en esta hortaliza son de tipo trepador, compuesto por un tallo principal y un tallo secundario modificado llamado zarcillo, el cual le sirve a la planta para sostenerse o adherirse a una superficie, además el tallo tiene 4 ángulos muy

marcados lo que le hace tener una estructura en forma cuadrangular (Casilimas *et al*, 2012). Llega a alcanzar hasta los 3.5 m de altura, entre cada nudo del tallo alterna una hoja y un zarcillo, esto entre los 20 y 30 cm (López, 2003).

4.5.4.4. Hojas

Estas se encuentran en sentido opuesto de los zarcillos ubicados en cada entre nudo presente en el tallo, son alternas y de forma acorazonada o palmeada, tienen una textura áspera, esto debido a que cuentan con tricomas, que no son más que pequeñas pubescencias, lo que le da esta textura (López, 2003). El limbo de la hoja cuenta con tres lóbulos, con bordes dentados y de forma triangular (Casilima *et al,* 2012).

4.5.4.5. Flor

Las flores son de color amarillo, están presentes en las axilas del tallo junto a las hojas, pueden ser hermafroditas o unisexuales, algunas variedades comerciales, tienen solo flores femeninas con presencia de ovario ínfero lo que las distingue de las masculinas (Zamudio y Félix, 2014).

Es de polinización cruzada, las flores masculinas presentan 3 estambres. La corola esta adherida al cáliz, el cual tiene 5 dientes los cuales sostiene la corola. Las flores femeninas por su parte cuentan con un ovario ínfero, cuenta con corola y cáliz al igual que las flores masculinas (López, 2003)

4.5.4.6. Fruto

Es de forma pepónide, una baya alargada y cilíndrica, de textura áspera o lisa esto de acuerdo a la variedad, el color va desde un verde claro a un verde oscuro, la pulpa de la fruta es blanquecina (Zamudio y Félix, 2014). El fruto alcanza entre 15 y 35 cm de largo de acuerdo a la variedad, cuando los frutos aún están en sus primeras etapas

antes de la madurez fisiológica, presentan falsas espinas color blanco, las cuales desaparecen a medida que maduran (López, 2003).

4.5.5. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS

Para un buen desarrollo de este cultivo, es indispensable que se conozcan las condiciones y los requerimientos edafoclimáticos que nos ayuden a dar un buen manejo al cultivo.

4.5.5.1. Altitud

Esta hortaliza puede cultivarse en alturas que van de 0 a 1200 msnm, se adapta fácilmente a climas cálidos y templados (López, 2003).

4.5.5.2. Temperatura

Para el desarrollo de flores y para que se lleve a cabo una buena polinización, las temperaturas son importantes no solo para este cultivo sino para todos y de esta manera tener un buen desarrollo morfológico.

Este cultivo se desarrolla con temperaturas que oscilan entre los 18 a 25 °C que no tienen efectos negativos en la producción, sin embargo, una temperatura por encima de los 40 °C, causa desequilibrio en las plantas directamente en los procesos de fotosíntesis y respiración (Infoagro, 2016).

De acuerdo con Zamudio y Félix (2014), la temperatura óptima en el día debe estar entre los 20 a 25 °C, mientras que la óptima en la noche entre 18 a 22 °C. La temperatura de germinación se encuentra entre 12 y 35 °C, para un buen desarrollo de flores se debe tener temperaturas óptimas de 16 a 35 °C, teniendo una maduración de frutos con una óptima de 16 a 19 °C.

4.5.5.3. Humedad Relativa (HR)

La humedad relativa (HR)para esta hortaliza es de importancia, sin embargo, la HR alta en el día puede reducir la producción ya que disminuye la transpiración, si supera el 90% y con ello una acumulación alta de vapor esto puede ser un ambiente propicio para la generación de enfermedades fungosas y la baja humedad puede ser un factor para la presencia de acaro rojo y trips (Infoagro, 2016).

La humedad relativa para la germinación y crecimiento es de 90 %, mientras que la floración es de 80 % y el desarrollo de frutos de 75 % (López, 2003), el óptimo para desarrollo del cultivo está dentro de 50% a 90%, pero depende de la temperatura que se presente, si se cuenta con una temperatura de 25 °C la óptima es de 50% a 80% , si tenemos una óptima de 32 °C la humedad optima será de 90% (Zamudio y Félix, 2014).

4.5.5.4. Luminosidad

Es una planta que se ve influenciada por la incidencia de luz, aunque a pesar de eso soporta elevada intensidad luminosa (Infoagro, 2016).

La incidencia de luz tiene un efecto en la cuestión de floración, para flores femeninas los días cortos favorecen a su mejor desarrollo, mientras que los días largos favorecen al desarrollo de flores masculinas (López,2003).

4.5.5.5. Suelo

Es un cultivo con un cierto grado de tolerancia a la salinidad, puede adaptarse a suelos francos, y que tengan un buen drenado. Si las sales son demasiado concentradas en el riego tiene dificultad de absorción, el pH oscila entre 5.5 y 7

(Infoagro, 2016). Si se siembra en suelos con problemas de encharcamiento puede ser propicio al desarrollo de enfermedades de raíz.

4.6. JITOMATE (*Solanum lycopercicum* L.)

El jitomate es una especie del género *Solanum*, su nombre deriva del náhuatl *xictli,* ombligo y *tomatl*, tomate, que significa tomate de ombligo (SAGARPA, 2010). Su clasificación taxonómica se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de jitomate (USDA, 2019*)*.

REINO:	*Plantae*
DIVISION:	*Magnoliophyta*
CLASE	*Magnoliopsida*
SUBCLASE	*Asteridae*
ORDEN	*Solanales*
FAMILIA	*Solanaceae*
GENERO	*Solanum*
ESPECIE	*Lycopersicum*L.
NOMBRE COMÚN	*Jitomate, tomate rojo*

4.6.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

El jitomate, es originario de las regiones andinas al sur de América, principalmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile, es una de las hortalizas de mayor producción dentro de nuestro país, por su alto consumo per-cápita (SAGARPA, 2010). México es considerado como el centro de domesticación más importante, sin embargo, la mayor variabilidad genética y abundancia silvestre se pueden encontrar en la región andina (Navarro, 2011).

De acuerdo con los datos morfológicos, el jitomate es una hortaliza de tipo arbustivo, con hojas compuestas por foliolos lobulados y bordes de manera aserrada, cada uno de estos distribuidos de manera alterna en lo largo del tallo, el cual presenta un grosor aproximado de 2-4 cm. Presenta flores perfectas, de color amarillo constituida por 5 sépalos. En cuanto a raíz, este presenta una raíz principal corta, desarrolla raíces secundarias y adventicias (Navarro, 2011). Es un cultivo anual de crecimiento indeterminado, determinado y semideterminado, con frutos de tipo ovalado de distintos tamaños, desde pequeños frutos hasta frutos de 750 g (SAGARPA, 2010).

4.6.2. Importancia del Jitomate

Dentro de nuestro país el desarrollo de la agricultura protegida ha sido de gran ayuda para el mejoramiento de los procesos de producción. De acuerdo con FIRA (2017), el desarrollo de tecnologías como invernaderos y estructuras de protección a los cultivos, ha aumentado el volumen de producción de jitomate hasta en un 59.6 %

El jitomate es una de las hortalizas más consumidas en nuestro país, esto gracias a sus altos contenidos de vitaminas y minerales, gran parte de la superficie sembrada está destinada a la producción de esta hortaliza. Siendo un producto que además de ser consumido en fresco, lo es de manera industrializada (Mondragón 2007).

4.6.3. Producción en México

Esta hortaliza sigue siendo de gran importancia, considerada como alguno de los cultivos básicos de la dieta mexicana, y por ser la hortaliza con mayores índices de exportación (FIRA, 2017), manteniéndose como principal aportador en la economía de nuestro país. Hasta el 2016, México se encontraba en el décimo lugar a nivel mundial, con mayor superficie cosechada de dicha hortaliza. Y entre los primeros lugares como exportador, se encuentra Estados Unidos, quien es uno de los

principales generadores de procesos industrializados (FIRA, 2016). La producción de jitomate de acuerdo con el SIAP 2018 reportó una producción de 3, 267, 350 toneladas a nivel nacional con una superficie sembrada de 47,200 ha de riego y temporal, obteniendo rendimientos de 70 t ha^{-1}. Concentrándose la mayor producción en 5 estados: Sinaloa (24.8 %), San Luis potosí (11.6 %), Michoacán (6.9 %), Zacatecas (5.5 %) y Jalisco (4.2 %). Sin embargo, el estado de Oaxaca aporta un 3.1%. Para el 2019, la producción a nivel nacional reportada hasta agosto es de 1,385,925 toneladas, con rendimientos de 62.5 t ha^{-1}, Oaxaca participa con 66, 180 toneladas.

4.6.4. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

Las semillas son es aplanadas en forma ovalada, puede medir de 3 a 5 mm de diámetro, su tonalidad va de un grisáceo, hasta un color paja. (Sañudo, 2013).

4.6.4.1. Raíz

Este órgano de la planta está conformado por una raíz principal de tipo pivotante, desarrolla raíces secundarias, así como adventicias, la principal puede llegar a medir 0.5 m de profundidad, además de que esta puede extenderse en un diámetro de 1.5 metros (Pérez *et al.*, S/A).

4.6.4.2. Hojas

Tamaño mediano, largas, son compuestas de coloración verde en el haz y en el envés presenta un color grisáceo, presenta una forma pinnada además de dividirse en 7 a 9 foliolos en ocasiones más. (López, 2016)

Son delgadas y al igual que el tallo presentan pequeños tricomas o pubescencias, los foliolos pueden ser grandes y alternar con 2 más pequeños, la forma de las hojas no

solo depende de la variedad, también está determinado por las condiciones ambientales (León, 2000).

4.6.4.3. Tallo

Es grueso con una coloración verde, con un ancho de 2 a 4 cm de ancho, forma tallos secundarios entre en el tallo primario y las hojas (López, 2016).

En esta hortaliza el tallo puede llegar a desarrollarse hasta alcanzar una altura que va desde los 40 hasta los 250 cm, esto de acuerdo a qué tipo de variedad es, si son de crecimiento determinado o indeterminado, tiene presencia de pubescencia (tricomas) además de que segrega una sustancia aromática (Sañudo, 2013).

Cuando las plantas terminan con yemas reproductivas y alternancia de inflorescencias con hojas se clasifican como determinado y si la alternancia con inflorescencias no se hace más espaciada y las yemas son vegetativas serán indeterminados (Sañudo, 2013).

4.6.4.4. Flor

Esta hortaliza cuenta con flores perfectas (hermafrodita), la cual tiene una tonalidad amarilla, agrupada en racimos de 4 a 12 flores. Si se presentan temperaturas mayores a 30 °C ocasionan caída de la flor, así como la falta de fecundación de las mismas debido a que el polen no madura en estas temperaturas y en ocasiones se reseca (Pérez *et al.,* S/A).

Estas brotan en sentido opuesto a las hojas, las flores cuentan con un cáliz en tonalidad verde, compuesto de 6 lóbulos o sépalos, la flor está compuesta de 6 pétalos, el androceo cuenta alrededor con 4 estambres con anteras en color amarillo y el pistilo está formado por un ovario de varias celdas (León, 2000).

4.6.4.5. Fruto

El fruto de esta hortaliza es tipo baya muy colorido, su color verde acuerdo al desarrollo del mismo, desde verdes, amarillos y rojo en estado de madurez. Generalmente redonda y achatada, en el caso de la variedad saladette es alargado, regularmente grande. (SAGARPA, 2017). En algunas variedades es ovalada y lisa, también existen en forma elipsoide. La epidermis es una capa fina y persistente puede tener pigmentos desde amarillos a rojos de acuerdo con la variedad (León, 2000).

4.6.5. REQUERIMIENTO CLIMÁTICOS

El jitomate es considerado un cultivo de clima cálido debido a que es muy susceptible a las heladas y a temperaturas muy altas, algunas variaciones en la temperatura y la humedad que no sean satisfactorias al cultivo pueden provocar un desarrollo inadecuado en las inflorescencias, además de un incremento en la producción de flores comparado con las que se desarrollan en las condiciones adecuadas (Santiago, *et al.,* 1998).

4.6.5.1. Altitud

Esta hortaliza, puede producirse desde alturas de 20 a 2000 msnm, de acuerdo a la variedad que se desea producir, se puede tomar como referencia el rango de altitud para explotar al máximo su potencial (Pérez *et al.,* S/A)

Esta hortaliza tiene un gran número de especies que se han adaptado a condiciones de clima templado. Con los avances en cuestiones de mejoramiento, hay híbridos que se pueden manejar en condiciones protegidas en zonas por arriba de los 1000 m.s.n.m. (López, 2016).

4.6.5.2. Temperatura

Para su producción soporta altas temperaturas, la óptima es de 20 a 24 °C y humedad relativa que no superen el 75 %. En cuanto a suelos se recomienda suelos profundos, con buena aireación y proporción de materia orgánica, con un pH ligeramente ácido (SIAP, 2018).

De acuerdo con SAGARPA (2014), el cultivo de jitomate tiene un ciclo de 135 días y el consumo de agua es aproximadamente de 270 litros de agua por planta. Cabe mencionar que hay cultivos que tienen hábitos de crecimiento indeterminados y determinados.

4.6.5.3. Humedad relativa.

Una humedad relativa (HR) no adecuada, para el cultivo de tomate, puede ocasionar que estas desarrollen alguna enfermedad en el follaje (Pérez *et al.* S/A), además de propiciar defectos en el fruto, esto cuando está en etapa de fructificación, una HR adecuada se maneja dentro de los 70 a 80 % (López, 2016).

4.6.5.4. Luminosidad

La luminosidad es importante en el cultivo, la falta de luminosidad afecta procesos como la floración, fructificación, debido a que no hay proceso de fecundación. Por ello la producción de este cultivo no se recomienda en lugares donde los días son más nublados, igual afecta el desarrollo vegetativo provocando elongación del cultivo (López, 2016).

4.6.5.5. Suelo

Para cultivo de tomate es preferible que se tenga suelos de textura media, es decir suelos que sean de textura franca o franco-limoso, con buen drenaje y permeabilidad

con pH de 5 a 6 (López, 2016). La humedad del suelo puede ser de 50% y no ser un suelo que se encharque, ya que la disponibilidad del agua también afecta el desarrollo del cultivo (Sañudo, 2013).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

El proyecto se desarrolló dentro de las instalaciones de la Universidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita, localizada en la región del Papaloapan en el estado de Oaxaca con coordenadas de 95° 53' longitud oeste y 18° 06' latitud norte, a una altura de 30 m.s.n.m. El Clima es cálido húmedo (Am) con abundantes lluvias en verano (García, 2004). La temperatura promedio es de 25 °C, siendo la mensual máxima promedio de 35.5 °C y la mensual mínima de 16.5 °C

5.2. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO.

5.2.1. CAMPO ABIERTO

Para la realización del experimento se utilizó un espacio experimental a cielo abierto, con un área de 84.48 m^2 para el desarrollo de pepino y tomate (42.24 m^2 para cada cultivo).

5.2.2. CASA SOMBRA

La casa sombra utilizada es de dos aguas, de un túnel (10 m x 30 m) con un área de 300 m^2, estructura constituida por PTR de acero galvanizado desmontable cal. 14 G90, cubierto en la parte superior por malla sombra 70 % negra y a los costados con malla antiáfidos. El área destinada para los cultivos fue de 84.48 m^2 dentro de casa sombra (42.24 m^2 para cada cultivo).

5.3. Material experimental

Se evaluó el híbrido SUN 7705 de tomate (*S.lycopersicum*) tipo saladette de la empresa NUNHEMS de Bayer® de tipo indeterminado, así como el híbrido Green Slam HY de pepino (*C. sativus*) de la empresa Caloro®.

5.4. Diseño experimental

Para el desarrollo del experimento se utilizó un diseño experimental completamente al azar, en dos condiciones diferentes: casa sombra y campo abierto, con 5 repeticiones, en los dos cultivos, el de pepino y el de jitomate. Para la toma de muestras, se utilizaron 4 plantas completamente al azar cada muestreo se realizó una vez por semana haciendo un total de 7 muestreos para pepino y 9 para tomate.

5.5. VARIABLES EVALUADAS

5.5.1 VARIABLES MORFOLÓGICAS

Las variables evaluadas en el cultivo de pepino y tomate fueron medidas durante todo el desarrollo del cultivo, cabe destacar que fue un muestreo totalmente destructivo, cada muestreo se tomó cada 8 días aproximadamente obteniendo un total de 7 muestreos en pepino y 9 en jitomate, el primer muestreo realizado a los 19 ddt para pepino y 14 ddt en jitomate las variables evaluadas fueron las siguientes:

- Radio de dosel: por medio de un flexómetro se tomó la medida de la hoja a partir del tallo hasta la parte del ápice de la hoja o final del foliolo más grande de la planta a muestrear.

- Diámetro de tallo: mediante un vernier digital, se tomó el diámetro del tallo en la parte más gruesa, entre la base de la planta. y la primera hoja.

- Longitud de tallo: se tomó con ayuda de un flexómetro, se midió desde la base del tallo en la superficie del sustrato hasta el crecimiento apical.

- Peso de tallo: con la báscula electrónica de precisión Rhino®, con capacidad para 3 kilogramos y un error de 0.2 gramos, se pesó todo el tallo de la planta eliminando las hojas.

- Número de hojas: se contaron cada una de las hojas que presentaba la planta.

- Peso de hojas: con ayuda de una báscula electrónica Rhino®, se tomó el peso en gramos de las hojas producidas por la planta.

- Número de frutos: se contó la totalidad de frutos, considerando frutos ideales para cosecha y los frutos pequeños.

- Peso de frutos: se pesó con una báscula el total de frutos por planta.

- Longitud de raíz: se tomó mediante un flexómetro, a partir del cuello de la raíz hasta la raíz más larga.

- Peso de raíz: se pesó la raíz en la báscula, previamente se lavó para eliminar el sustrato que podría contener.

5.6. MANEJO AGRONÓMICO

5.6.1. SIEMBRA

La siembra se realizó el 1 de septiembre de 2017, utilizando charolas de poliestireno de 200 cavidades. Como sustrato para la germinación se usó peat- moss, el cual se humedeció hasta capacidad de campo, colocando una semilla por cada cavidad, para posteriormente tapar la semilla con una capa delgada de peat-moss. Los riegos en almacigo fueron diarios una vez al día, hasta el punto de escurrimiento de cada uno de los semilleros. A los 12 días después de la siembra se comenzó a realizar la

fertilización, usando la solución nutritiva propuesta por Steiner (1984), la solución aplicada fue al 50% compuesta por sulfato de potasio, sulfato de magnesio, nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de cobre, fuente de boro.

5.6.2. ANÁLISIS DE SUELO

Para el área de campo abierto se realizó un muestreo en 5 puntos dentro de la parcela, en el centro y los cuatro puntos cardinales, mezclando las muestras, se obtuvo un kilogramo para realizar el análisis de suelo correspondiente. Una vez que se tuvieron las muestras se mandó a analizar teniendo como resultado un suelo franco, con pH ácido, con altos contenidos de fósforo, pero deficiente en potasio y calcio. En lo que respecta al contenido de micronutrientes este suelo es deficiente en el elemento boro. En aspectos de retención de humedad y capacidad de campo se mantienen en nivel medio. En el Anexo 9.1 se puede consultar los resultados de análisis de suelo, realizado por FERLILAB, Fertilidad de suelos S. de R.L.

5.6.3. SUSTRATO Y LLENADO DE BOLSAS

El sustrato que se utilizó para el llenado de bolsas en casa sombra fue la arena de rio, ya que es un sustrato inerte, es fácil de conseguir, además de ser el más utilizado en la región, obteniendo buenos resultados en rendimiento y calidad de frutos de tomate en condiciones de invernadero (Prieto, 2016).

Se manejaron bolsas de polietileno negro calibre 600 de 30 x 30 cm, las cuales se llenaron con 7 kilogramos de sustrato aproximadamente.

5.6.4. TRASPLANTE

Para la distribución en la casa sombra las plantas fueron colocadas a una distancia de 30 cm entre planta a doble hilera y 60 cm entre doble hilera. Una vez que se realizó

la distribución se procedió a la perforación de las bolsas, realizando 4 perforaciones a los costados para liberar el excedente de agua, así como la aireación del área de raíces. En condiciones de campo abierto se tomaron las mismas distancias entre cama y entre planta

Para el cultivo de pepino se estableció a los 22 días después de la siembra, para lo cual se realizó un riego previo con el objetivo de humedecer el cepellón y evitar la ruptura. Se colocaron las plantas en el centro de cada una de las bolsas en casa sombra, mientras que en campo se colocaron directamente al suelo. Una vez que se terminó el trasplante se aplicó una solución de Captan (2 g L^{-1}), Imidacloprid (2 ml L^{-1}) y aminoácidos (3 ml L^{-1}), mediante una bomba aspersora de 20 L con el fin de prevenir, el desarrollo de enfermedades fungosas y posibles insectos plagas que pueden atacarla en sus primeras etapas de desarrollo, y los aminoácidos con el fin de un mejor desarrollo radicular y crecimiento de la plántula.

El cultivo de tomate se trasplantó a los 33 días después de la siembra al igual que se realizó el trasplante de pepino, se aplicó la solución de captan (1.5 g L^{-1}), metalaxil + clorotalonil (1.5 ml L^{-1}), Tiabendazol(1.5g L^{-1}) y aminoácidos (1.5ml L^{-1}) con el fin de evitar la posible proliferación de algún patógeno que nos cause daños en la primera etapa de cultivo.

5.6.5. RIEGO Y FERTILIZACIÓN.

Se aplicaron riegos tres veces al día en casa sombra y campo abierto, aplicando un total de 1000 L de solución por día en horarios de: 8:00 am, 12:00 pm; 16:00 pm regando en cada uno 333 litros. La solución nutritiva aplicada durante todo el desarrollo del cultivo, propuesta por Steiner (1984), cuadro 3. En casa sombra se

aplicó mediante riego localizado, en campo se distribuyó mediante riego por goteo (30 cm entre gotero).

Cuadro 3. Solución Steiner utilizada para nutrición de jitomate y pepino en condiciones de campo y casa sombra.

Fertilizante	Solución nutritiva universal de Steiner (%)			
	25%	50%	75%	100%
Ácido Fosfórico	3 ml	9 ml	11 ml	12 ml
Sulfato de Potasio	217.5 g	435 g	652.5 g	870 g
Sulfato de Magnesio	307.5 g	615 g	922.5 g	1,230 g
Nitrato de Potasio	187.5 g	375 g	562.5 g	750 g
Nitrato de Calcio	325 g	650 g	975 g	1,300 g
Sulfato de Cobre	1.24 g	2.5 g	3.74 g	5 g
Carboxy	5 g	10 g	15 g	20 g

Se tomó periódicamente el pH de la solución ajustándolo a 5.5-6.0, así como la conductividad eléctrica (CE) que osciló entre 2.0 a 3.5 mS cm^{-1}(mili Siemens/cm) esto de acuerdo a concentraciones dependiendo del desarrollo fenológico del cultivo.

La primera concentración para el pepino fue 25 %, esta se aplicó desde el trasplante hasta los 8 días, la concentración de 50 % se mantuvo hasta los 21 días, después se aumentó la concentración a 75 %, para los 62 días, la concentración comenzó a ser del 100 %. En el cultivo de tomate se manejaron las mismas concentraciones a excepción de la concentración de 25%, una vez realizado el trasplante se comenzó con una dosis de 50 % hasta los 16 días, posteriormente se aumentó la concentración de 75%, a partir de los 45 días y hasta la etapa final la concentración fue de 100 %.

5.6.6. PODA Y TUTOREO

Para llevar a cabo el tutoreo de la planta se utilizó rafia sujetada a los alambres instalados en la casa, mientras que, en campo abierto, se adaptaron líneas de tutoreo. La base de cada planta sujeto con anillos tutores, esto con el fin de evitar estrangulamiento o daños en la planta y dirigir el tallo principal, para cada planta de jitomate y pepino.

Para realizar la poda en cada uno de los cultivos, se usó una tijera para podar de 8'' con la que se eliminaron las primeras 4 hojas del tallo principal del jitomate con el fin de mantener la ventilación y la buena circulación del aire, también se eliminaron los brotes laterales y hojas en estado de senescencia.

Para el cultivo de pepino solo se realizó una poda de las primeras hojas para mejor circulación de aire, y se mantuvo las ramificaciones secundarias.

5.6.7. MONITOREO Y CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Durante el desarrollo de cultivo del pepino y jitomate se presentaron síntomas de minadores en el caso del tratamiento en campo, aunque no de manera severa, ya que al detectar los síntomas a tiempo se procedió a su control mediante la aplicación de abamectina (Agrimec®) a razón de 2 ml L^{-1}

La presencia de mosca blanca (*Bemisiatabaci*) se controló mediante aplicaciones de abamectina (Agrimec) a razón de 1 ml L^{-1}y se mantuvieron aplicaciones de jabón (2 g L^{-1}) con el fin de bajar la población restante.

En el caso del cultivo del pepino solo tuvo en común con el tomate la presencia de mosca blanca, aparte de esta se presentaron otras diferentes plagas una de ellas fue *Diaphania hyalinata* la cual se mantuvo control mediante aplicaciones de

cipermetrina, así como abacmectina ambos insecticidas a razón de 1 ml L^{-1}. En la última etapa del cultivo se presentó *Diaphania nitidalis*, barrenando frutos, a pesar de ello el daño no afectó de manera considerable la producción.

En cuestión de enfermedades estas no se presentaron de manera severa, en el caso del cultivo de pepino, se presentó mildiu velloso (*Pseudoperonosporacubensis*) el cual se estuvo controlando con aplicaciones de Oxicloruro de cobre (1g L^{-1}), metalaxil + clorotalonil (1.5 ml L^{-1}) y Azoxistrobin+difenoconazol (1.5 ml L^{-1}).

En condiciones tanto de casa sombra como de campo abierto, en jitomate se presentó *Botrytis cinérea*, a pesar de ello la incidencia fue mayor en casa sombra, para su control se realizaron aplicaciones de tiofanato de metilo (Prontius) a razón de 1.5 g L^{-1}

5.6.8. Monitoreo de Temperatura

El monitoreo de temperatura y humedad relativa se realizó mediante un Data Logger, para datos de radiación se usaron sensores de luz Quantum, mientras que para la medición de CO_2 se usó un Data logger Mod. A160 Temp/HR/CO_2 los cuales se programaron para la toma de lectura cada 10 minutos. Realizando un promedio diario en las variables de temperaturas, se calculó la máxima, mínimas y las medias de esta al igual que la humedad relativa diaria. En la figura 2 y 3 se muestra el comportamiento de la temperatura y humedad presentada en condiciones de casa sombra y campo abierto, durante los días en que se llevó a cabo el experimento, se manejó en días julianos debido a que así se empleó en el software, cabe señalar que en los primeros días no hubo registro debido a falla del equipo.

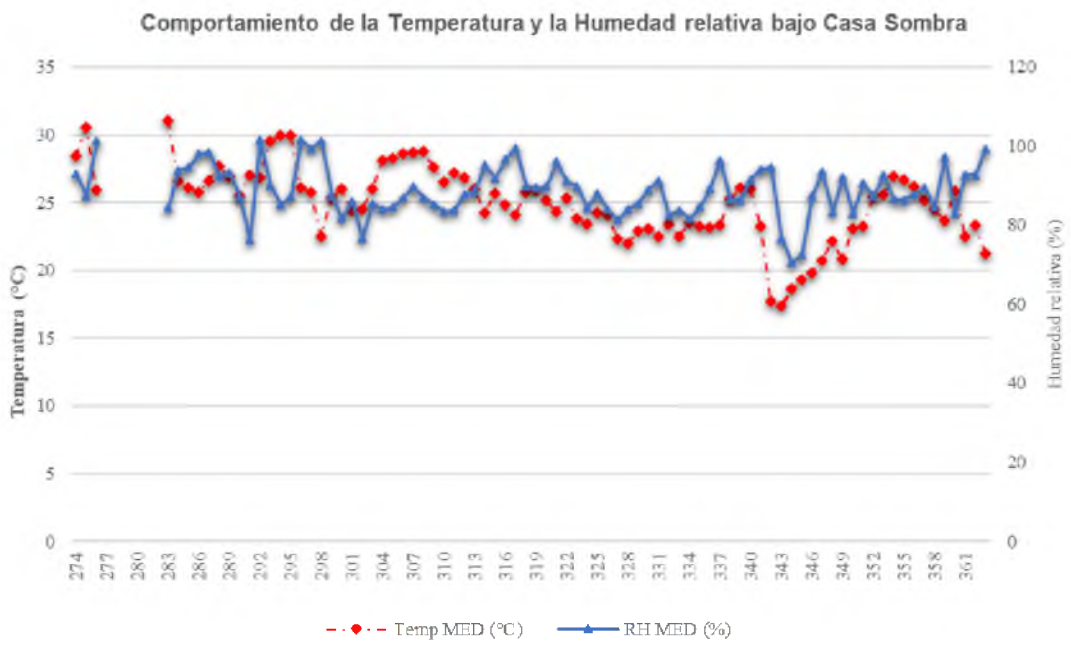


Figura 2. Comportamiento de las variables de Temperatura y Humedad Relativa en condiciones de casa sombra en los días que se desarrolló el experimento expresado en días Julianos.

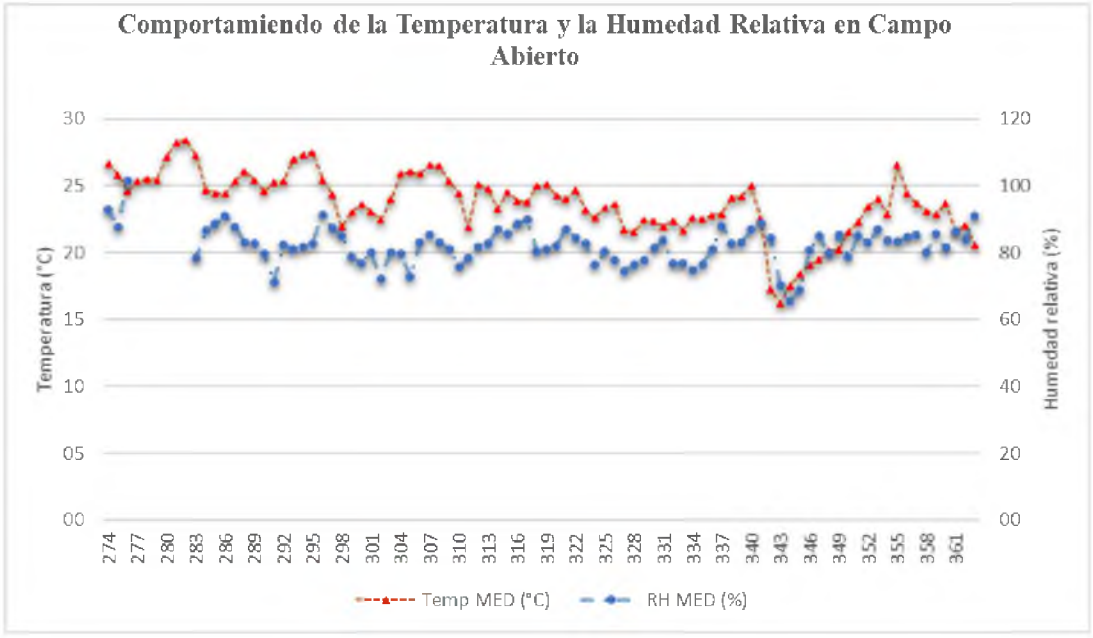


Figura 3. Comportamiento de la Temperatura y Humedad Relativa en condiciones de campo durante el desarrollo del experimento expresado en Días Julianos.

5.6.9. COSECHA

Para el cultivo de jitomate la primera cosecha se realizó a los 73 días después del trasplante (ddt) esto para los tratamientos establecidos en casa sombra y campo

abierto. Para el caso de casa sombra la primera cosecha se realizó a los 87 ddt. Cuando los frutos presentaban indicadores de maduración tales como color rojo. Se realizaron cosechas cada 15 días llegando al tercer racimo, obteniendo un total de 4 cosechas.

Para el cultivo de pepino la primera cosecha en campo se realizó a los 35 ddt mientras que en casa sombra a los 52 ddt las cosechas fueron cada 8 días, teniendo un total de 4 cosechas para cada uno de los tratamientos.

5.7. OBTENCIÓN DE MATERIA SECA

5.7.1. Secado de muestras.

Una vez que se realizaron las mediciones de las variables morfológicas, cada una de las partes de las plantas fueron pesadas y colocadas en bolsas de papel para llevarlas a secar, para la obtención de biomasa seca tanto de tallos, hojas, raíz y frutos. Una vez perdido el contenido de agua se procedió a pesar cada una de las muestras con ayuda de una balanza, para los primeros muestreos al ser cantidades pequeñas se hizo uso de la balanza analítica marca CITIZEN® CX220 con capacidad de 220 gramos y un error de 1 mg, para el pesado de las siguientes, al a ver presencia de frutos y mayor cantidad de biomasa se utilizó una balanza electrónica de precisión Rhino®, con capacidad para 3 kilos y un error de 0.2 gramos. Para la obtención de la materia seca, la planta fue destruida y pesada por separado cada una de las partes vegetativas, para este caso fueron hojas, tallo, raíz, frutos, estos últimos en el momento en que comenzaron a presentarse. Para llevar a cabo el secado se tomó en consideración el proceso que se llevó a cabo por Juárez-Maldonado *et al.* (2015).

Para el secado se utilizó un horno de secado de aire forzado, en donde se colocaron las muestras a una temperatura de 80 °C durante 72 horas, hasta mantener un peso

constante, una vez que pasaron las horas en el horno se procedió a pesar las muestras en una báscula analítica.

5.8. SIMULACIÓN

El programa DSSAT cuenta con una serie de módulos en los cuales se ingresaron los datos para poder llevar a cabo la simulación de crecimiento de cultivo de jitomate, así como de pepino, tomando las variables de peso fresco y peso seco de cada parte vegetativa, así mismo la altura de planta y área de dosel.

5.8.1. INTRODUCCIÓN DE DATOS DE CLIMA

Para poder llevar a cabo la simulación, en el programa se realizó la creación de una estación con datos climáticos observados un año antes y el año del experimento, una vez que se creó la estación se procesaron los datos climáticos para que se pudieran utilizar en el módulo que corresponde.

Se llevo a cabo la descarga de datos para cada una de las estaciones, en campo abierto y datos obtenidos en casa sombra, la estación meteorológica automática de la Universidad del Papaloapan, está programada para una toma de datos cada 10 minutos, por lo cual se realizaron los cálculos para obtener, temperatura (°C), humedad (%), radiación solar (W m^{-2}) y precipitación (mm) por día. Una vez que se tuvieron todos los datos diarios, se ordenaron en una hoja de cálculo para posteriormente ser importados al programa DSSAT.

5.8.2. CREACIÓN DE UNA NUEVA ESTACIÓN CLIMÁTICA EN EL SOFTWARE DSSAT

Para la introducción y creación de una nueva estación al programa DSSAT, dentro del módulo de "*weather data*" se proporcionan opciones para crear una nueva y configurarla.

Los datos importados desde una hoja de cálculo fueron modificados manualmente; a cada una de las variables se le asigna un nombre, así como las unidades de medida.

Se establecieron dos estaciones diferentes una para realización de la simulación en condiciones de campo abierto y otra para la de casa sombra.

5.8.3. INTRODUCCIÓN DE DATOS DEL CULTIVO EN EL SOFTWARE.

El programa DSSAT-TOMGRO consta de módulos principales, para la entrada de datos a nuestro programa se realizó la introducción de los datos principales del lugar en donde se llevaría a cabo, así como el nombre del archivo de simulación y la selección del cultivo que se desea simular. Para poder establecer cada una de las características del cultivo dentro del panel principal del programa, se ingresa al apartado de datos de manejo de cultivo, una vez en esta sección se abre un nuevo archivo en donde se introduce cada uno de los datos requeridos para el cultivo. Dentro de este módulo existen otros submódulos en los cuales se capturan datos referentes al cultivo elegido, en este caso fue jitomate y pepino. En la figura 4 se muestra la información que se requiere para comenzar con nuestra simulación y los módulos con los que cuenta nuestro software. Mientras que en la figura 5 se puede mostrar la información que se requiere para el llenado de información en el primer módulo principal. El llamado a la estación meteorológica creada con anterioridad y especificaciones de suelo, condiciones iníciales del lugar de establecimiento, si en su caso se estableció un cultivo con anterioridad y cuáles fueron los métodos usados y si esto influyo en la modificación del ambiente.

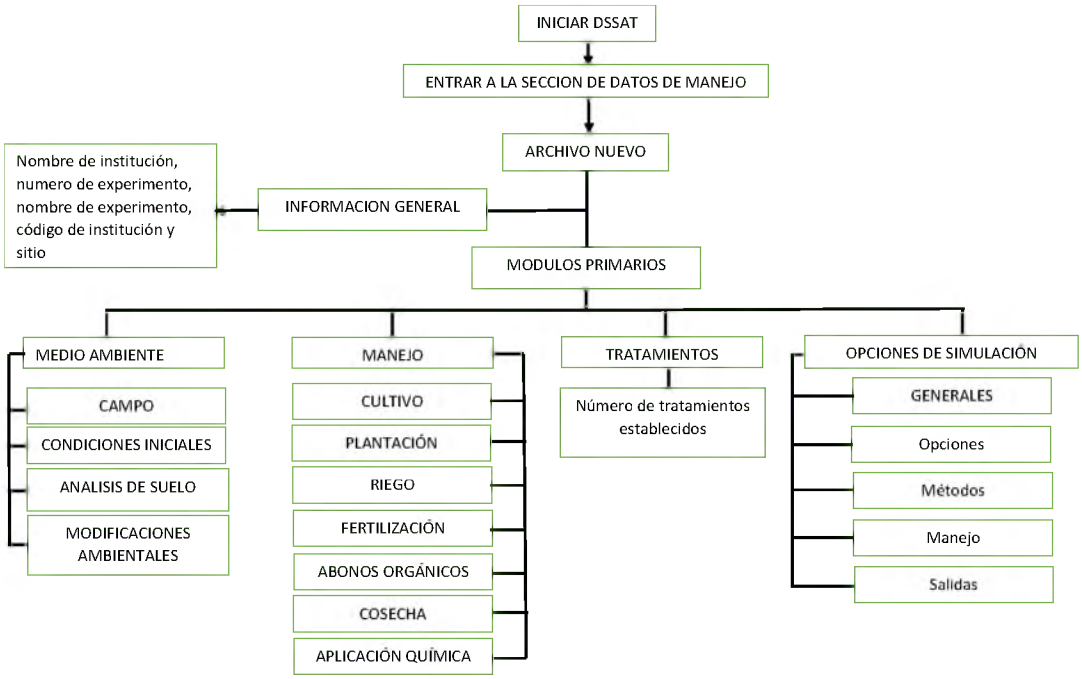


Figura 4. Esquema de conformación del software DSSAT, módulos principales y secundarios.

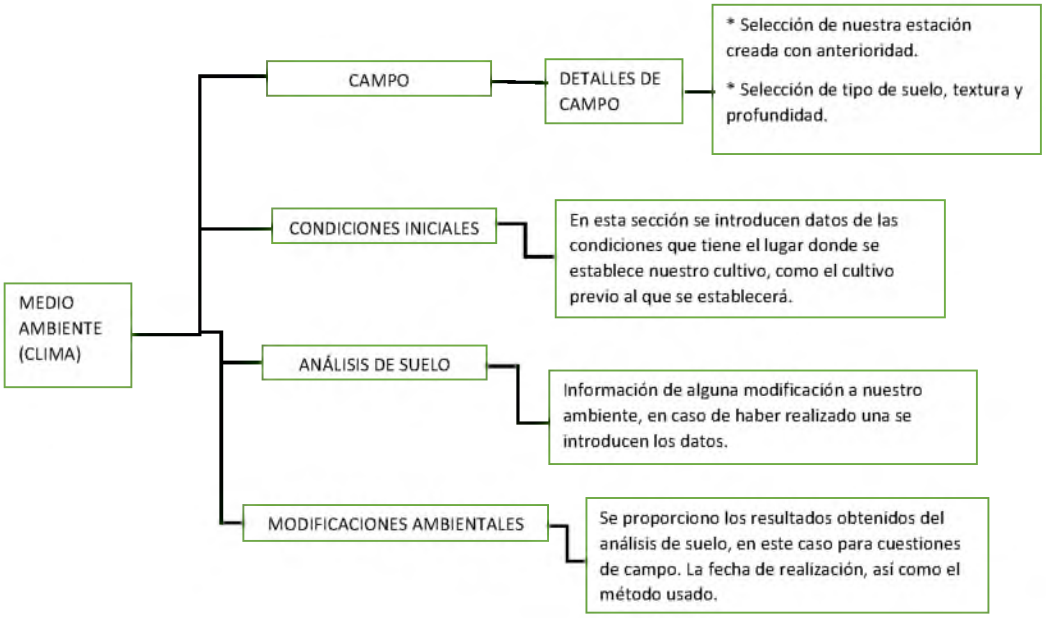


Figura 5. Información y datos que se proporcionaron en el módulo de medio ambiente y clima.

El siguiente es el módulo de manejo donde se introduce toda la información de cómo se pretende llevar el cultivo desde la plantación hasta la cosecha, así como las dosis

de nutrientes y riegos que se establecerán en la parte experimental o real. En la figura 6 muestra el módulo de manejo del cultivo y la información que debe ser ingresada.

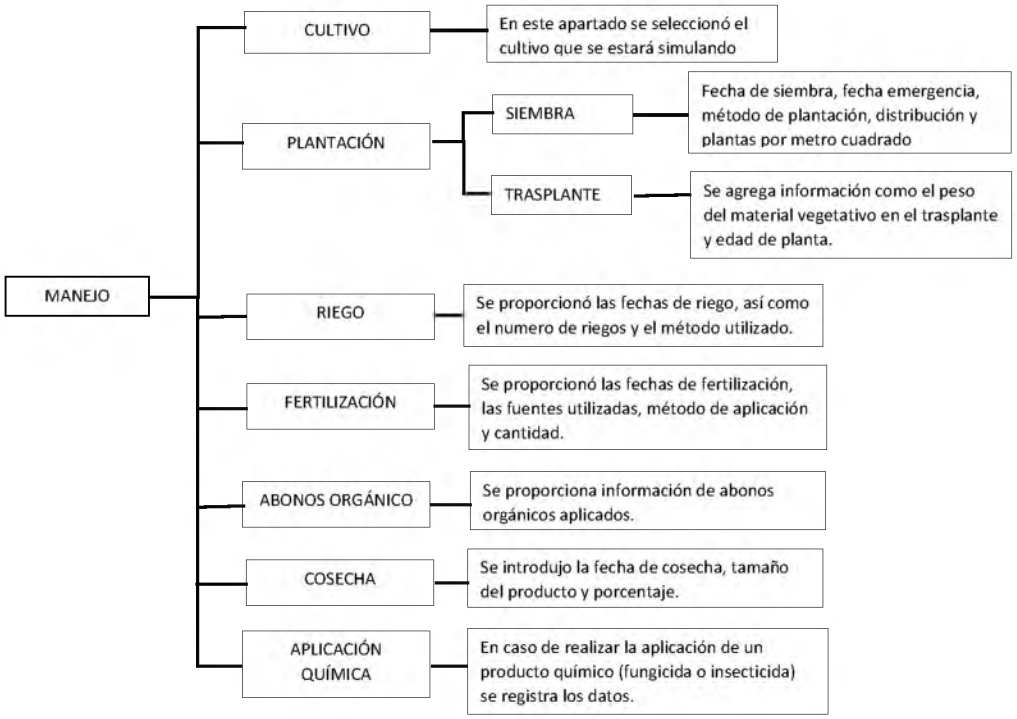


Figura 6.Módulo de manejo, información que se proporciona a cada submódulo.

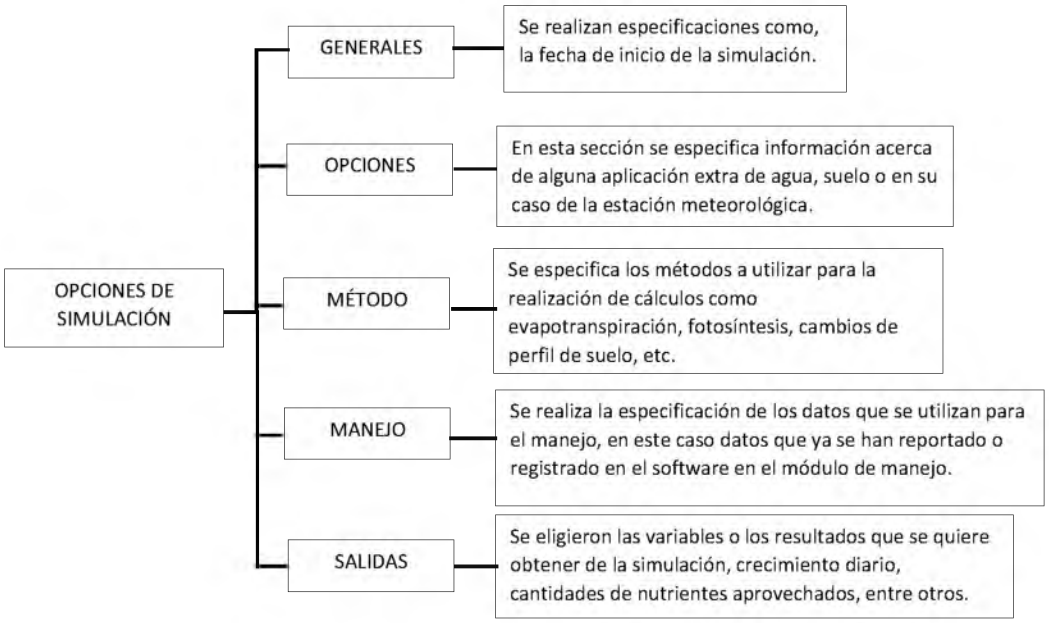


Figura 7. Información proporcionada y requerida en el módulo de simulación.

En la figura 7 se muestra el ultimo módulo a rellenar o al cual se le proporcionará datos, en el cual se eligen las especificaciones con las que se desea trabajar la

simulación, en que época del desarrollo del cultivo se desea comenzar a simular hasta las variables de salida que se quieren obtener.

Para cada uno de los cultivos establecidos y para cada una de las condiciones se realizó el mismo procedimiento descrito en la figura 6 y 7.

5.8.4. ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis estadístico se utilizó el programa The SAS System ® 9.0 en el cual se procesaron todos los datos de las variables medidas en campo, realizando una prueba de medias Tukey ($P>0.05$). Posteriormente estos datos fueron graficados en el programa Sigmaplot® donde se analizaron para realizar una regresión lineal y de esta manera obtener los ajustes entre la simulación y los datos reales medidos.

Una vez que se obtuvieron las gráficas de simulación, los datos simulados se compararon con los datos medidos. Para ello los datos arrojados por el simulador, se graficaron en el programa SigmaPlot®, que cuenta con un apartado para realización de análisis estadístico, en este caso fue utilizado para la realización de gráficos y para el análisis de regresión lineal, cuyas graficas obtenidas se pueden consultar en el apéndice 3 y 4.

De acuerdo con Moriasi *etal.*,(2007), los resultados con coeficientes de determinación mayores a 0.5 se consideran aceptables para el modelo que se está analizando. Para el caso de la raíz del cuadrado medio del error (RMSE), para tener un ajuste perfecto del modelo el valor debe ser de 0, aunque no es posible, ya que la mayoría de los valores dependen de la serie de datos que se maneje, mientras los valores se manejen por debajo de la desviación estándar de los datos medidos, esto nos indica un uso adecuado para la comparación y evolución del modelo. La RMSE, se calculó como sigue:

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{Obs}-Y_i^{Sim}\right)}$$ ..... Ec. 1

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Crecimiento morfológico real y simulado de jitomate

Cuadro 4. Medias de la variable número de hojas para la simulación y datos reales obtenidos en jitomate

COND	DDT	NHR	NHS	R^2	EE
CAB	14	5.75	0.60	0.396	0.440
CAS	14	7.50	4.00		
CAB	22	5.75	0.90	0.250	1.250
CAS	22	8.25	7.70		
CAB	35	9_b	6.10	0.818	0.816
CAS	35	15_a	13.10		
CAB	43	12.25_b	9.70	0.505	1.042
CAS	43	18_a	16.40		
CAB	53	15.25_b	14.00	0.844	0.933
CAS	53	22.66_b	20.80		1.077
CAB	59	15.00	16.50	0.015	2.309
CAS	59	14.00	23.30		
CAB	74	14.00	17.20	0.440	1.464
CAS	74	18.75	24.90		
CAB	80	18.50	17.20	0.036	1.113
CAS	80	17.75	24.90		
CAB	87	16.75_b	17.20	0.807	0.810
CAS	87	22.5_a	24.90		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, NHR=Número de hojas real NHS= Número de hojas simulado EE= Error Estándar.

En la figura 8 se muestra la cantidad de hojas desarrolladas por la planta de jitomate, a partir de la fecha del trasplante hasta el día de la última toma de datos, las fechas graficadas para simulación son las mismas que se realizaron en la toma de datos.

El jitomate *sun 7705* en condiciones de campo abierto, manifestó un desarrollo favorable los datos arrojados por la simulación, a pesar de que en la etapa final del cultivo se puede observar que el comportamiento real está por debajo del comportamiento simulado. La correlación entre los datos obtenidos en la simulación y los datos medidos en la parte experimental se obtuvo un R^2 de 0.93.

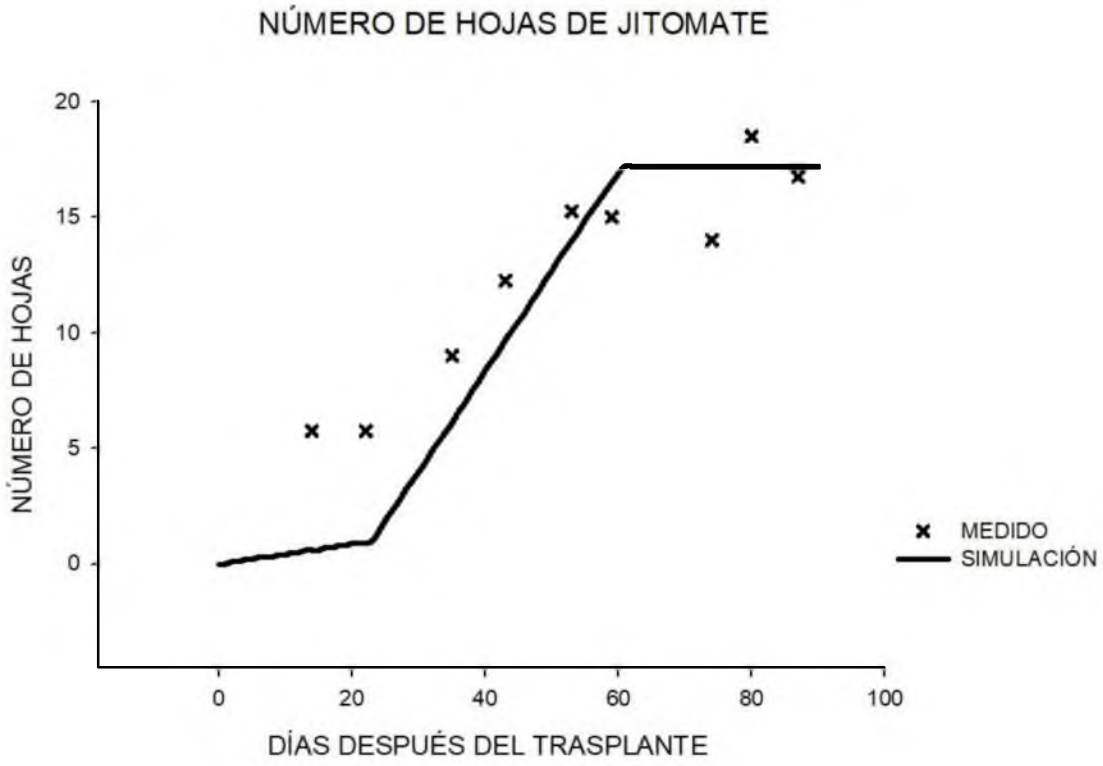


Figura 8. Comportamiento de la variable número de hojas en condiciones de campo abierto (CAB) en jitomate.

Cuadro 5. Peso obtenido en la variable hoja, medias presentadas en la simulación, así como las reales representadas en kg ha^{-1}.

COND	DDT	PHR	PHS	R^2	EE
CAB	14	43.29	37.00	0.03	0.403
CAS	14	51.62	37.00		
CAB	22	93.24	36.00	0.286	4.052
CAS	22	387.95	300.00		
CAB	35	569.43	94.00	0.863	10.771
CAS	35	3691.31	2902.00		
CAB	43	1195.47	469.00	0.882	18.613
CAS	43	7082.91	4796.00		
CAB	53	1961.37	1657.00	0.904	28.287
CAS	53	11028.96	6152.00		32.663
CAB	59	3186.81	2752.00	0.179	40.996
CAS	59	5399.60	6666.00		
CAB	74	3123.54	3418.00	0.752	42.337
CAS	74	11630.03	6958.00		
CAB	80	4292.37	3388.00	0.086	34.513
CAS	80	5514.48	6603.00		
CAB	87	4645.35	3376.00	0.47	54.224
CAS	87	10542.78	6136.00		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, PHR= Peso de hojas real PHS= Peso de hojas simulado EE= Error Estándar.

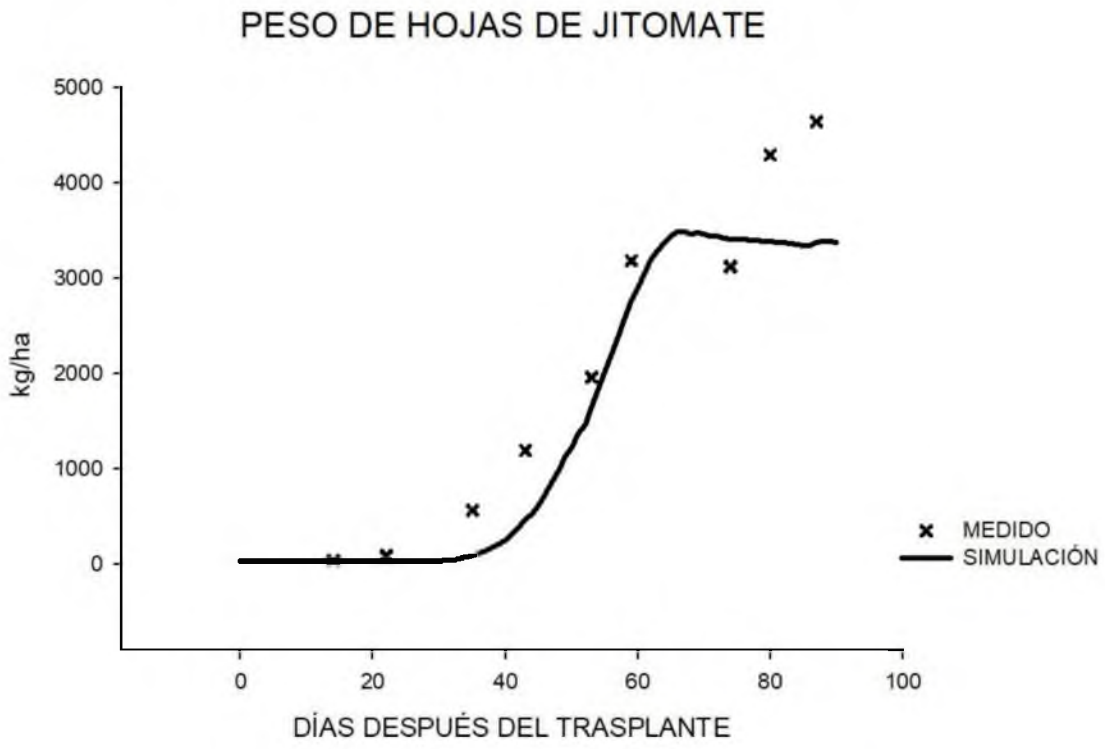


Figura 9. Datos obtenidos en condiciones de campo abierto (CAB) para la variable peso de hoja en jitomate.

Los datos arrojados por la simulación con respecto a la variable peso de hoja, se comportó de manera similar al cultivo establecido, se puede observar (Figura 9) que las medias de los datos medidos están por arriba de la simulación dentro del periodo de los 20 a 50 días después del trasplante, que fue cuando alcanzó su mayor peso. Para el peso de hojas, la correlación obtenida nos proporcionó un R^2 de 0.93.

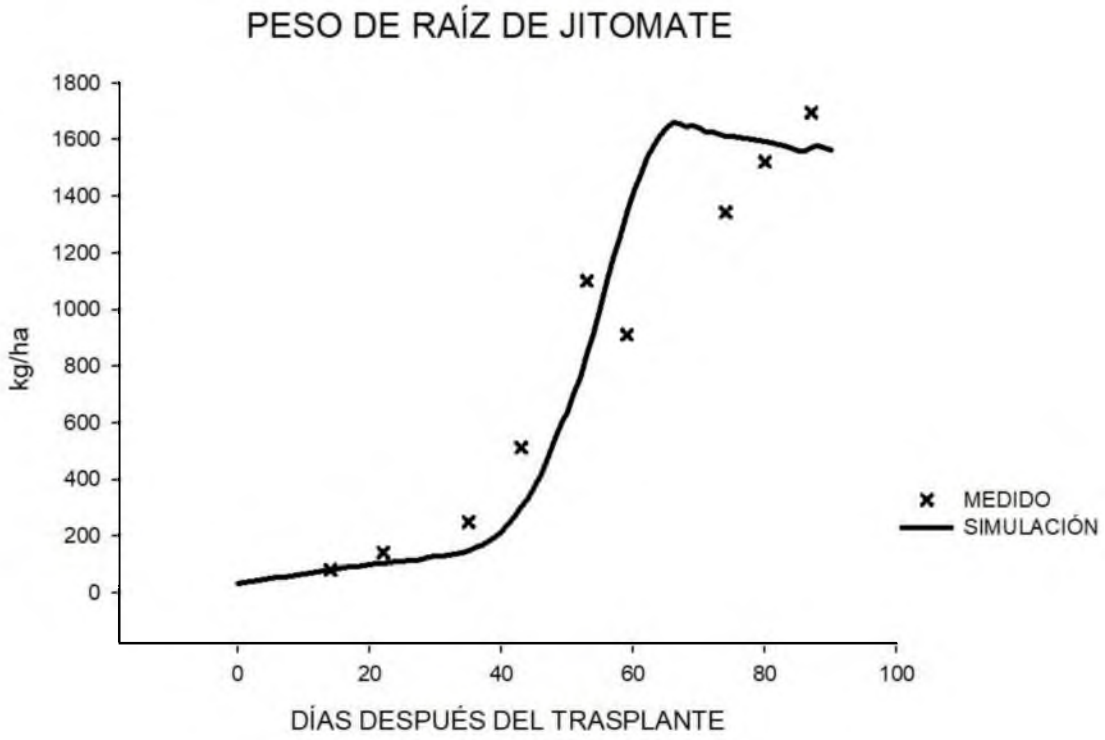


Figura 10. Medias obtenidas para la variable peso de raíz en condiciones de campo abierto (CAB) en jitomate.

Cuadro 6. Medias reales t obtenidas en la simulación en cada una de las condiciones para la variable raíz para jitomate.

COND	DDT	PRR	PRS	R^2	EE
CAB	14	81.50	81.00	0.304	0.588
CAS	14	36.63	185.00		
CAB	22	142.14	105.00	0.124	2.43
CAS	22	86.58	270.00		
CAB	35	249.70	149.00	0.244	9.001
CAS	35	840.83	967.00		
CAB	43	512.82	304.00	0.325	7.224
CAS	43	1093.91	1398.00		
CAB	53	1102.20	843.00	0.839	5.603
CAS	53	2196.14	1732.00		6.469
CAB	59	912.42	1342.00	0.027	9.2
CAS	59	734.27	1923.00		
CAB	74	1343.60	1615.00	0.622	5.932
CAS	74	2222.78	2188.00		
CAB	80	1523.60	1594.00	0.258	9.492
CAS	80	877.46	2162.00		
CAB	87	1696.60	1573.00	0.001	17.71
CAS	87	1625.04	2162.00		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, PRR= Peso de Raíz real PRS= Peso de Raíz simulado EE= Error Estándar.

El peso de raíz obtenido en condiciones de campo abierto para el jitomate *sun 7705* se mantuvo hasta los 50 días por encima de las medias arrojadas en la simulación, para los días restantes en la simulación se observó un aumento, que no se mostró en el desarrollo real, como lo muestra la figura 10, no obstante, para el final del ciclo, la raíz tuvo una mejora en su desarrollo. Realizando el ajuste se obtuvo un R^2= 0.90, esto solo para las fechas establecidas del muestreo.

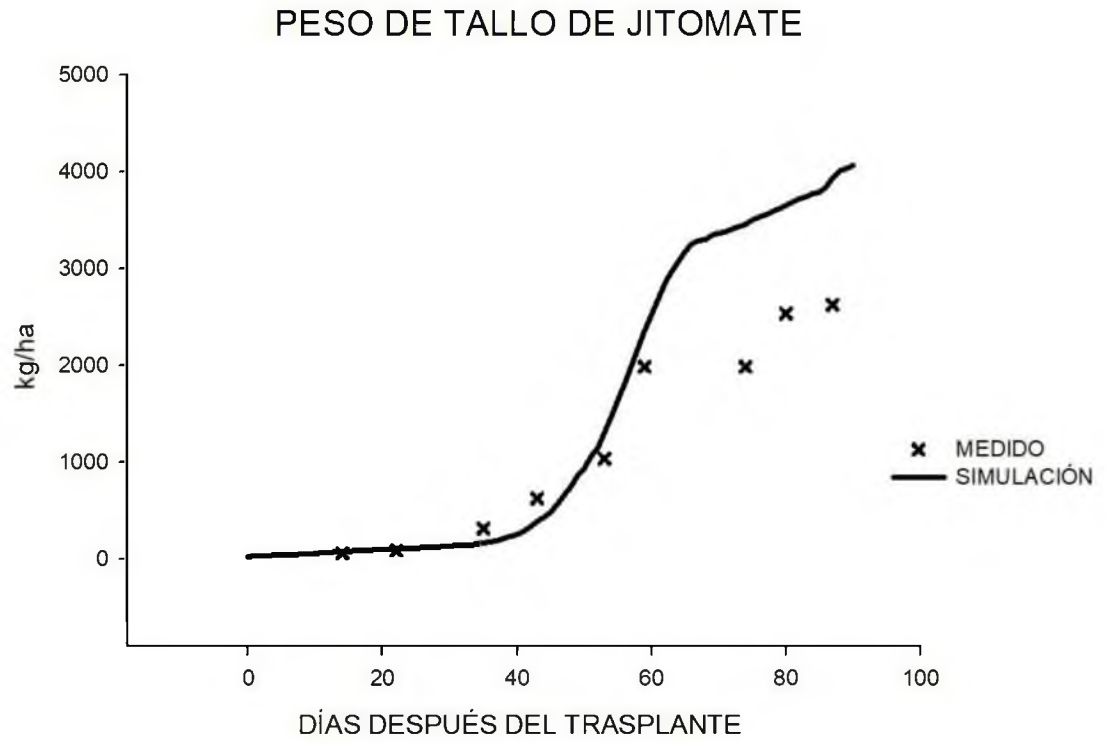


Figura 11. Comportamiento de la variable peso de tallo en condiciones de campo abierto para cultivo de jitomate.

En el caso de la variable peso de tallo a partir de los 60 días después del trasplante, como se puede apreciar en la figura 11, la simulación presentó un peso por encima del peso real obtenido en campo. Sin embargo, en el ajuste realizado con los datos de medias obtenidos en las fechas de muestreo y mediante la correlación lineal se obtuvo un R^2= 0.96.

Cuadro 7. Variable de peso de tallo, medias obtenidas en la simulación y en la parte real del experimento, representado en kg ha^{-1}, durante los días de muestreo en jitomate.

COND	DDT	PTR	PTS	R^2	EE
CAB	14	63.70	79	0.328	0.324
CAS	14	36.63	185		
CAB	22	89.91	109	0.212	1.974
CAS	22	86.58	270		
CAB	35	316.35	168	0.827	6.394
CAS	35	840.83	967		
CAB	43	626.04	387	0.855	9.359
CAS	43	1093.91	1398		
CAB	53	1035.63	1314	0.879	14.325
CAS	53	2196.14	1732		16.541
CAB	59	1984.68	2359	0.273	25.503
CAS	59	734.27	1923		
CAB	74	1988.01	3461	0.796	18.561
CAS	74	2222.78	2188		
CAB	80	2537.46	3658	0.105	17.053
CAS	80	877.46	2162		
CAB	87	2624.00	3933	0.508	23.77
CAS	87	1625.04	2162		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, PTR= Peso de Tallo real PTS= Peso de Tallo simulado EE= Error Estándar.

El peso vegetativo, representa el peso obtenido por la planta en tallo y hojas, en este caso el peso obtenido en la simulación tiene un buen ajuste con los datos obtenidos en la parte experimental, con lo cual se determina que la predicción obtenida en la parte de simulación es correcta con el comportamiento real que tiene el cultivo en condiciones de campo abierto (figura12). Así mismo, la correlación al realizar el ajuste se obtuvo un R^2= 0.97 esto con las fechas establecidas para el muestreo.

En el cuadro 8 se puede observar las medias obtenidas para la variable peso vegetativo, esto en la parte de experimentación y simulación en ambas condiciones para el cultivo de jitomate.

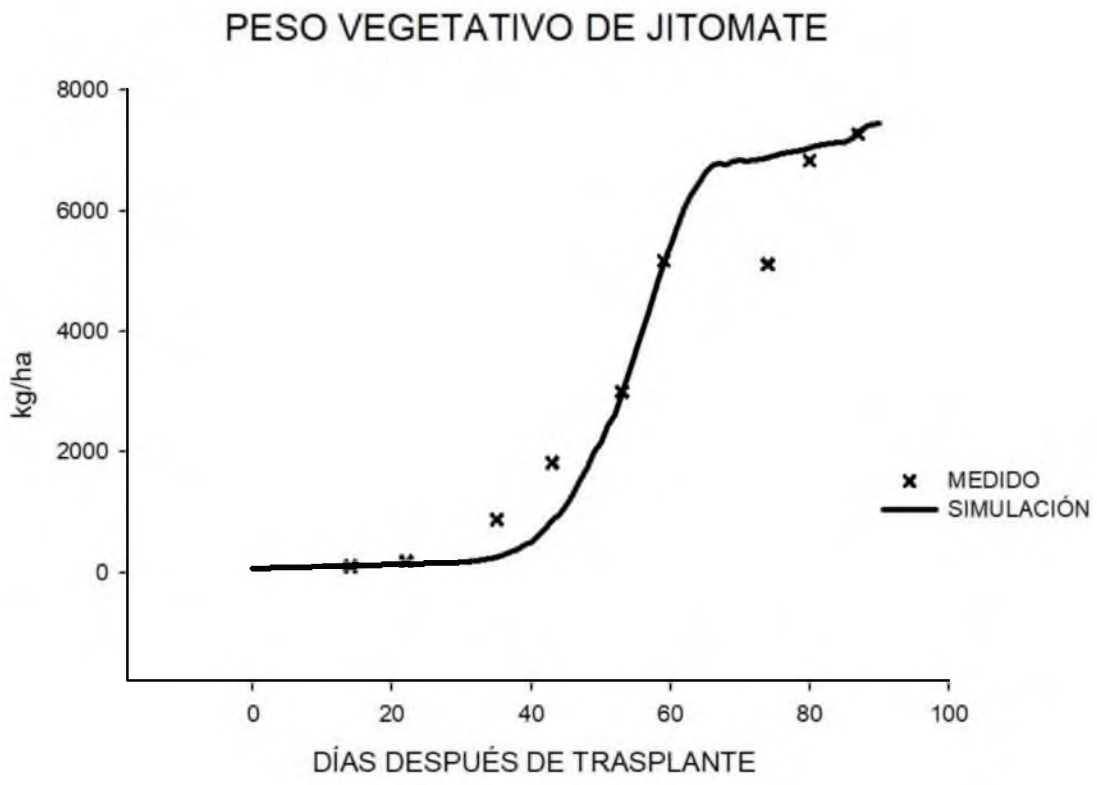


Figura 12. Comportamiento del peso vegetativo (tallo y hojas) en condiciones de campo abierto en jitomate.

Cuadro 8. Simulación y datos reales obtenidos, así como la suma de pesos de hojas y tallo, representando el peso vegetativo de la planta expresado en kg ha^{-1}en jitomate.

COND	DDT	PTHR	PTHS	R^2	EE
CAB	14	106.56	116.00	0.057	0.626
CAS	14	86.58	215.00		
CAB	22	179.82	145.00	0.263	6.003
CAS	22	596.07	606.00		
CAB	35	882.45	262.00	0.852	17.100
CAS	35	5624.37	5041.00		
CAB	43	1821.51	856.00	0.875	27.906
CAS	43	10339.65	8774.00		
CAB	53	2997.00	2971.00	0.523	70.966
CAS	53	16073.91	12297.00		81.944
CAB	59	5171.49	5112.00	0.224	64.792
CAS	59	9190.80	14303.00		
CAB	74	5111.55	6879.00	0.768	60.632
CAS	74	17852.13	17288.00		
CAB	80	6829.83	7045.00	0.094	51.035
CAS	80	8727.93	17304.00		
CAB	87	7269.39	7309.00	0.489	76.924
CAS	87	15954.03	17304.00		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, PTHR= Peso de Tallo y Hoja real PTHS= Peso de Tallo y Hoja simulado EE= Error Estándar.

Cuadro 9. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, P≤0.05, para las variables estudiadas en jitomate en campo abierto.

Variables	Ecuación de regresión y= y0+a*x	R^2	RMSE=$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{Obs} - Y_i^{Sim})}$
NH	y=1.4446x-6.9724	0.93	3.00
PH	y=0.8501x-113.4752	0.93	628.46
PT	y=1.5505x-222.1517	0.96	777.18
PR	y=1.0644x-49.5048	0.90	211.01
PV	y=1.1111x-338.5741	0.95	706.67

NH= número de hojas, PH= peso de hojas, PT= peso de tallo. PR= peso de raíz, PV=peso vegetativo RMSE= raíz del cuadrado medio del error.

Los ajustes realizados para cada variable evaluada en condiciones de campo abierto se consideraron como referencia, los días en que se realizaron los muestreos y de esta manera obtener el valor de la R^2 para cada una de las variables (Cuadro 9).

En la variable número de hojas para condiciones de casa sombra el comportamiento real o medido fue de manera similar al simulado (Figura 13), en el ajuste se obtuvo un R^2=0.93 (Cuadro 10).

Para el cultivo de jitomate en condiciones de casa sombra, se graficaron cada una de las variables medidas en condiciones reales y se compararon mediante gráficas.

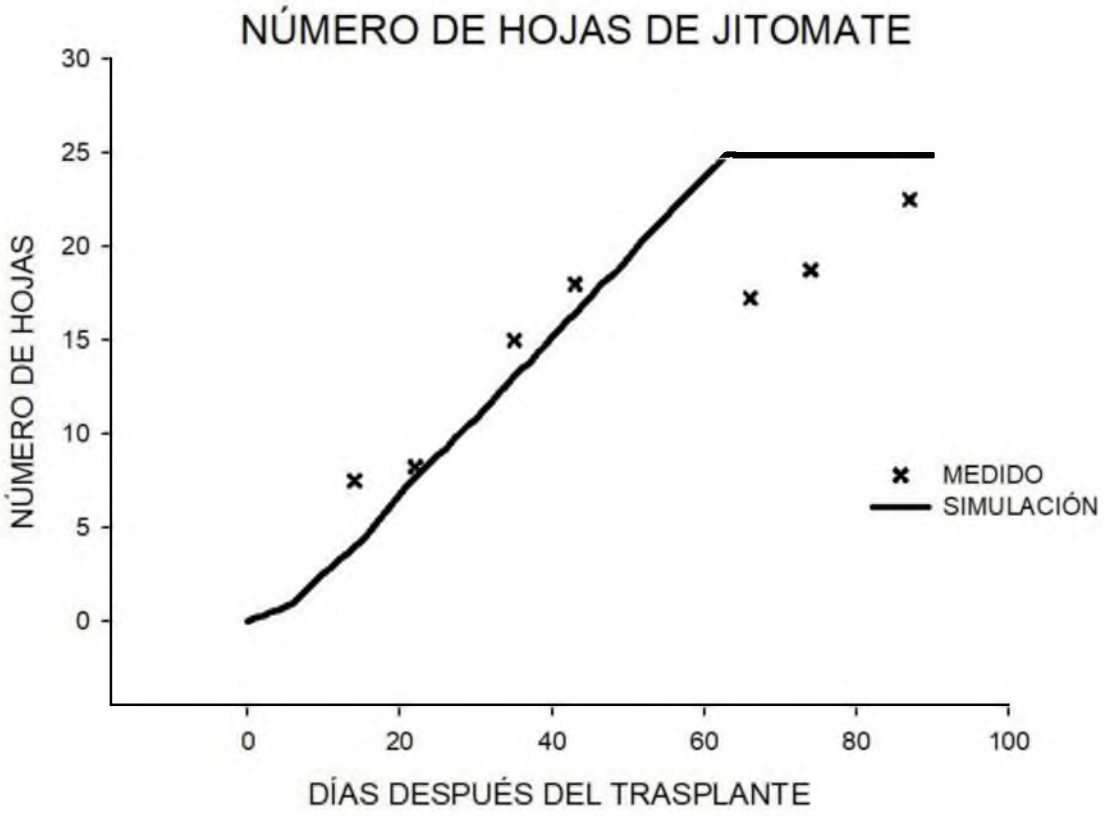


Figura 13. Cantidad de hojas desarrolladas por la planta de jitomate en condiciones de casa sombra (CAS), y la cantidad de hojas a desarrollar de acuerdo con la simulación.

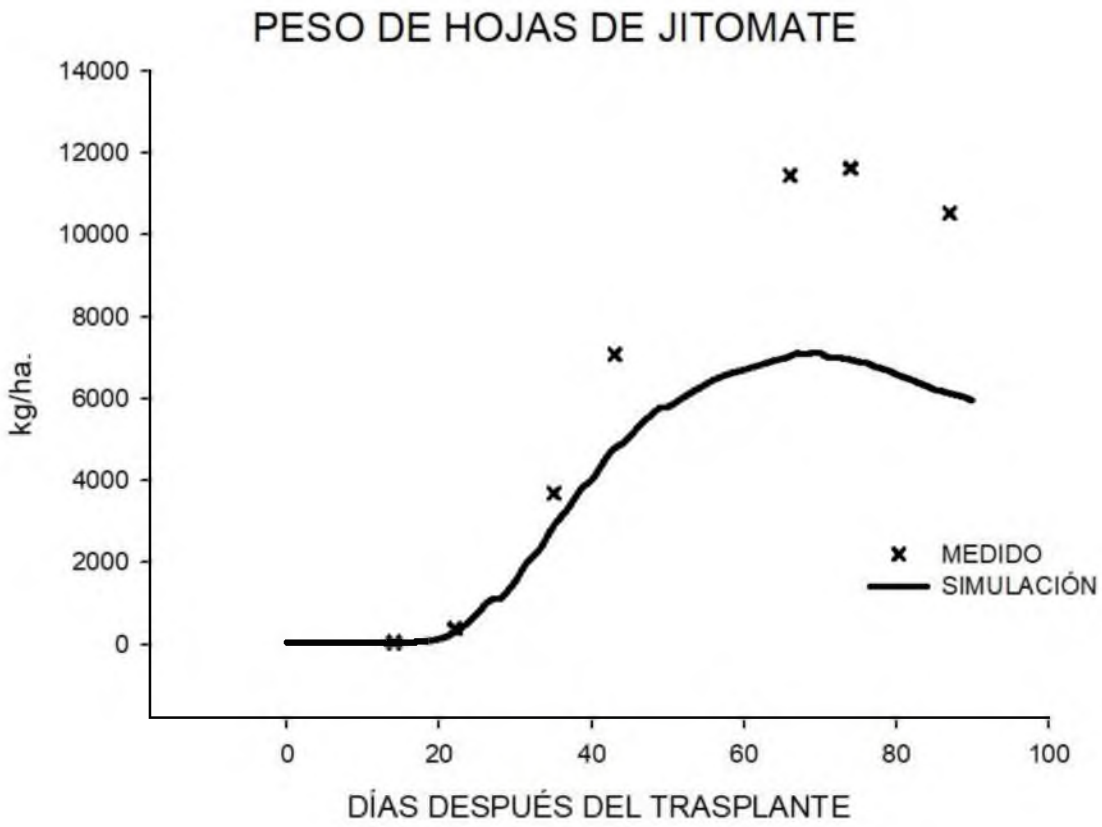


Figura 14. Peso de hojas que se obtuvo en condiciones de casa sombra para jitomate, así como el peso arrojado por la simulación.

El desarrollo de biomasa en la variable hojas fue alto, esto se puede observar en la figura 14, los días después del trasplante en donde alcanzó un mayor peso fue a los 66 y a los 74 obteniendo alrededor de 12000 kg ha^{-1}, mientras los datos obtenidos en los mismos días para la simulación fueron por debajo de los 8000 kg ha^{-1}. En el cálculo del coeficiente de determinación entre los datos medidos y los simulados, se obtuvo un R^2 de 0.96 (Cuadro 10), lo cual indica que el ajuste del modelo es aceptable.

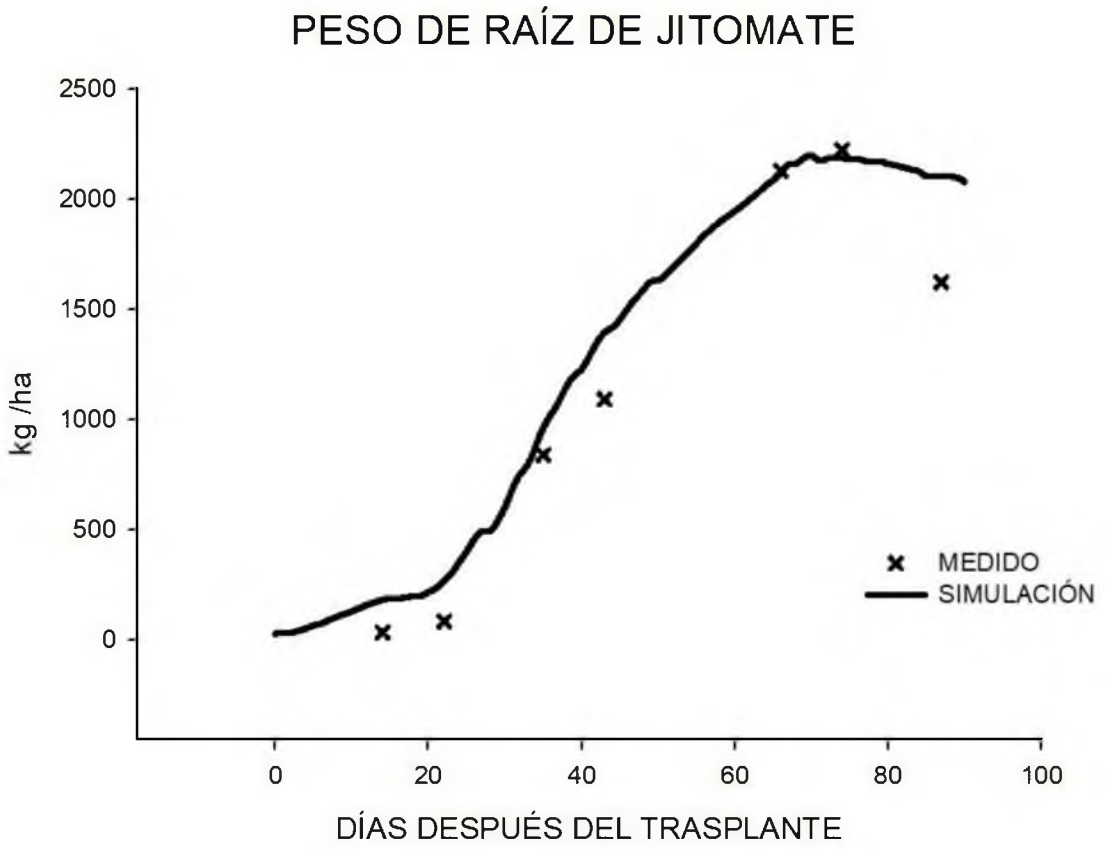


Figura 15. Peso obtenido por la planta en la variable raíz en condiciones de casa sombra comparado con los resultados obtenidos en la simulación para el cultivo de jitomate.

Para condiciones de casa sombra en el cultivo de jitomate, el peso de la raíz en la simulación se comportó de la misma manera que en las condiciones reales del experimento, entre los 60 y 80 días el peso de raíz fue el mismo para la simulación como para el peso medido véase la figura 15, se determinó el coeficiente de determinación obteniendo una R^2= 0.96, lo cual no indica que el modelo, se ajusta de manera satisfactoria con respecto a los datos medidos (Cuadro 10).

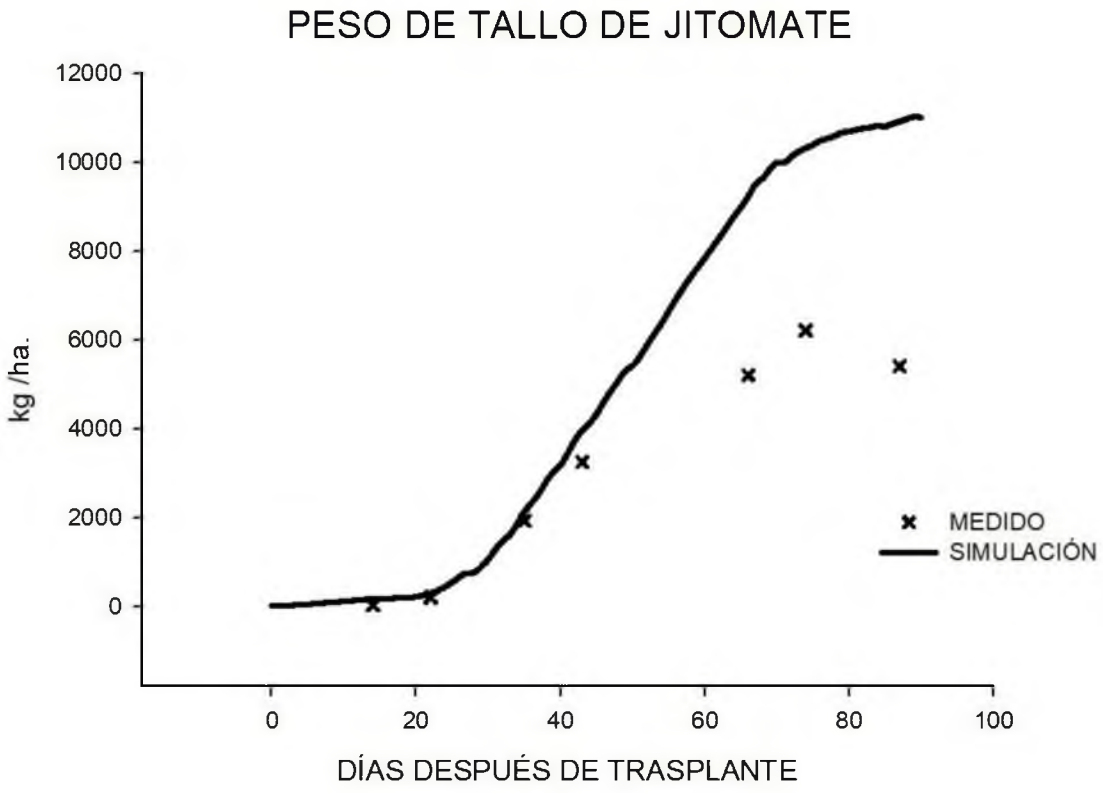


Figura 16. Peso obtenido por la planta en la variable tallo, en condiciones de casa sombra comparada con las medias obtenidas en la simulación para la misma variable, esto en jitomate

En condiciones de casa sombra la variable tallo obtuvo un mejor comportamiento en la simulación en comparación con los datos medidos (Figura 16), teniendo como resultado un tallo con un peso mayor de los 10000 kg ha^{-1} mientras que en los datos medidos la biomasa en verde del tallo fue de un máximo de 6000 kg ha^{-1} en los últimos días de muestreo. Como coeficiente de terminación se obtuvo un $R^2 = 0.95$ con los datos obtenidos en las fechas de muestreo (Cuadro 10).

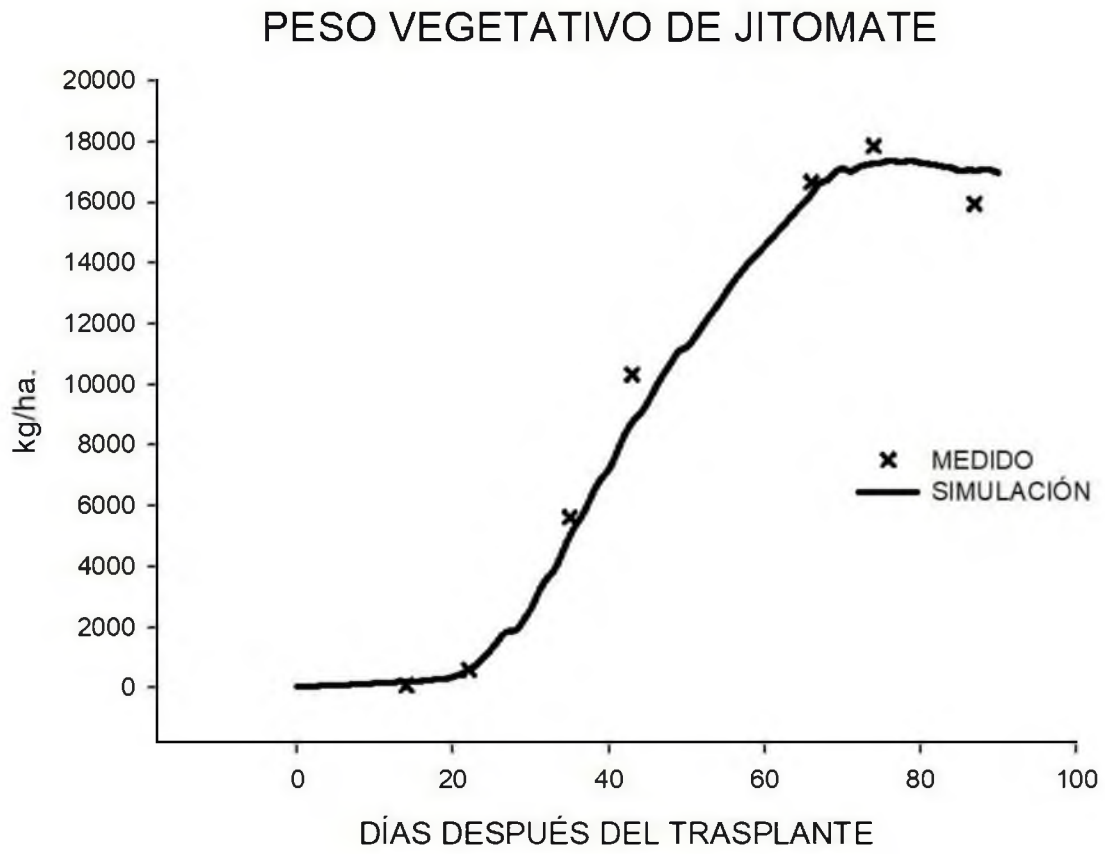


Figura 17. Comportamiento de la variable peso vegetativo de jitomate tanto reales como simuladas bajo condiciones de casa sombra.

La variable de peso vegetativo incluye el peso de las hojas sumado con el peso del tallo por planta, de acuerdo con el comportamiento del cultivo en condiciones de casa sombra el peso vegetativo que se predijo en la simulación se ajusta de manera satisfactoria con las obtenidas en condiciones reales. Tomando en cuenta las simulaciones por separado anteriormente se observa en la figura 14 y 16 que para peso hojas se ajusta considerablemente a lo real, mientras que para la variable tallo las medias obtenidas quedan por debajo de la simulación. Para dicha variable de peso vegetativo se obtuvo un coeficiente de determinación de R^2= 0.98 (Cuadro 10), lo cual ayuda a determinar que el modelo tiene un buen grado de ajuste, con coeficientes mayores a 0.5 son los mejores para un modelo exitoso.

Cuadro 10. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, P≤ 0.05, para las variables estudiadas en Jitomate en Casa sombra

Variable	Ecuación de regresión y= y0+a*x	R^2	RMSE=$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{Obs} - Y_i^{Sim})}$
NH	y=1.4349x-5.4275	0.84	4.15
PH	y=0.0017x+517.3330	0.98	3084.38
PT	y=1.8275x-517.3330	0.95	3024.57
PR	y=0.9517x+226.4936	0.96	237.47
PV	y=0.9983x-249.9019	0.98	802.28

En el cuadro 10 se muestran las ecuaciones de regresion para jitomate, obteniendo para peso de tallo un valor de R^2= 0.95, similares a los observados por Juaréz-Maldonado et al (2015) quien obtuvo para el ciclo 2011, un R^2= 0.97 para su modelo exponencial y R^2=0.86 para el modelo lineal y para el ciclo 2012 fue R^2=0.98 y R^2=0.90 respectivamente, en condiciones de invernadero usando como sustrato una mezcla de peat-moss con perlita en el hibrido "caiman" tipo bola.

Para la variable peso de hoja se observa un R= 0.98 (Cuadro 10) que es mayor comparado con los obtenidos por Juaréz-Maldonado et al. (2015) quiene en el ciclo 2011 obtuvo un R^2=0.97 en el modelo exponencial y R^2= 0.81 para el lineal y para el ciclo 2012 el valor obtenido para los dos modelos fue un R^2=0.97 y R^2=0.72.

Comparando los valores obtenidos para la variable peso de hojas con las obtenidas por Juaréz-Maldonado et al. (2014), fue similar ya que se obtuvo un R^2= 0.98, R^2=0.97 a los 84 y 97 dias despues del trasplante, para su ciclo 2011 y 2012, donde evaluó el hibrido "caiman" tipo bola, en macetas de 19 L, como sustrato se uso la mezcla de peat-moss y perlita, esto en condiciones de invernadero.

6.2. Crecimiento morfologico real y simulado en Pepino

Para la simulación del cultivo de pepino, se analizaron las misma variables que el cultivo de jitomate, de igual manera en condiciones de casa sombra y campo abiertocon ayuda del software DSSAT-TOMGRO.

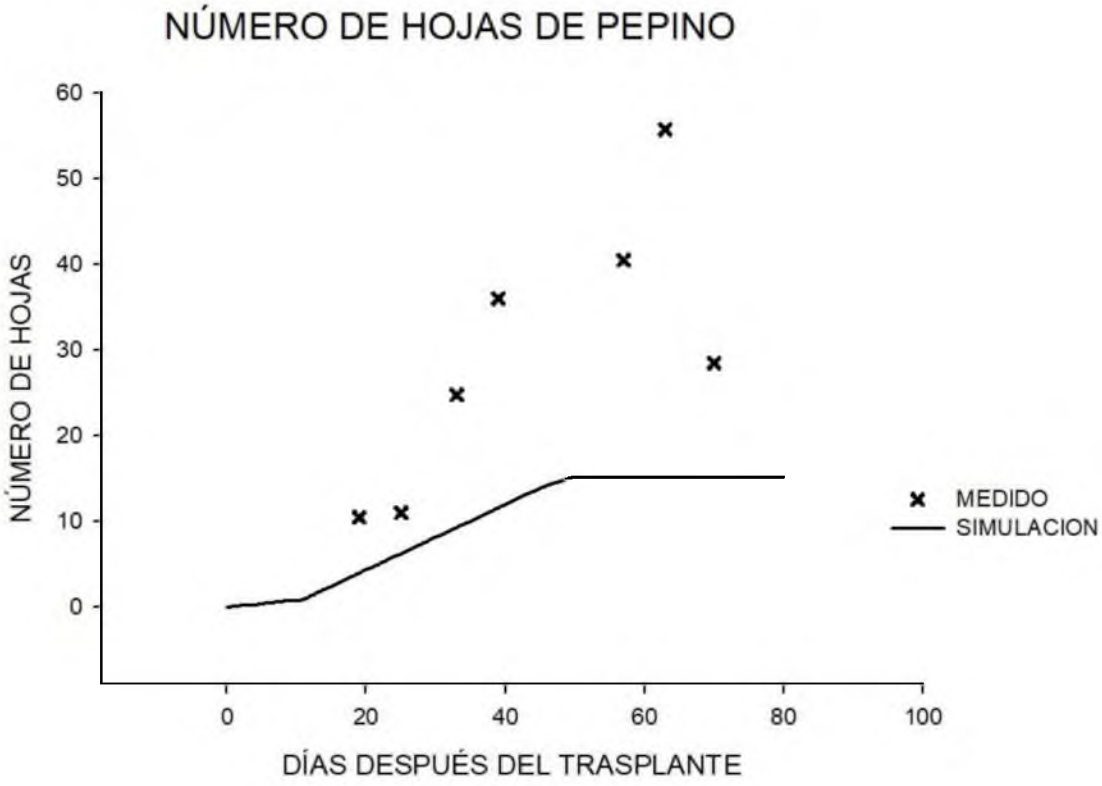


Figura 18. Variable hoja, cantidad de hojas que obtuvo la planta en condiciones de campo abierto (CAB) así como el número de hojas obtenidas en la simulación para el pepino.

En campo, el pepino desarrolló un gran número de hojas (Figura 18), por lo que la simulación quedó por debajo de los resultados obtenidos en condiciones reales obteniendo el mayor número de hojas a los 60 días después del trasplante, mientras en la simulación a partir de los 45 días este se mantuvo constante. Como coeficiente de determinación se obtuvo una R^2 de 0.74, ecuación mostrada en el cuadro 16.

Cuadro 11. Medias obtenidas en el análisis de datos, así como los datos arrojados en la simulación para la variable de número de hoja para pepino.

COND	DDT	NHR	NHS	R^2	EE
CAB	19	10.50	4.00	0.297	1.220
CAS	19	7.75	6.30		
CAB	25	11.00	6.20	0.006	1.837
CAS	25	10.50	8.90		
CAB	33	24.75	9.30	0.336	5.578
CAS	33	11.00	12.20		
CAB	39	36.00	11.60	0.011	10.708
CAS	39	32.00	14.70		
CAB	57	40.50	15.20	0.240	10.525
CAS	57	61.00	22.50		
CAB	63	55.75	15.20	0.047	10.930
CAS	63	64.20	24.90		
CAB	70	28.50	15.20	0.231	4.599
CAS	70	19.70	24.90		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, NHR=Número de hojas real NHS= Número de hojas simulado EE= Error Estándar.

La variable de peso en hoja tuvo un comportamiento similar al resultado en la simulación mediante el modelo DSSAT, a los 60 días después del trasplante, obtuvo el máximo peso en hojas, el cual sobrepasa los 8000 kg ha^{-1} en los datos medidos, para la simulación el máximo peso fue a los 40 días con 6000 kg ha^{-1}.Mediante la correlación lineal, el coeficiente de determinación de R^2 de 0.80, que se encuentra dentro del rango aceptable, ya que indica un ajuste considerable para el modelo (Cuadro 16).

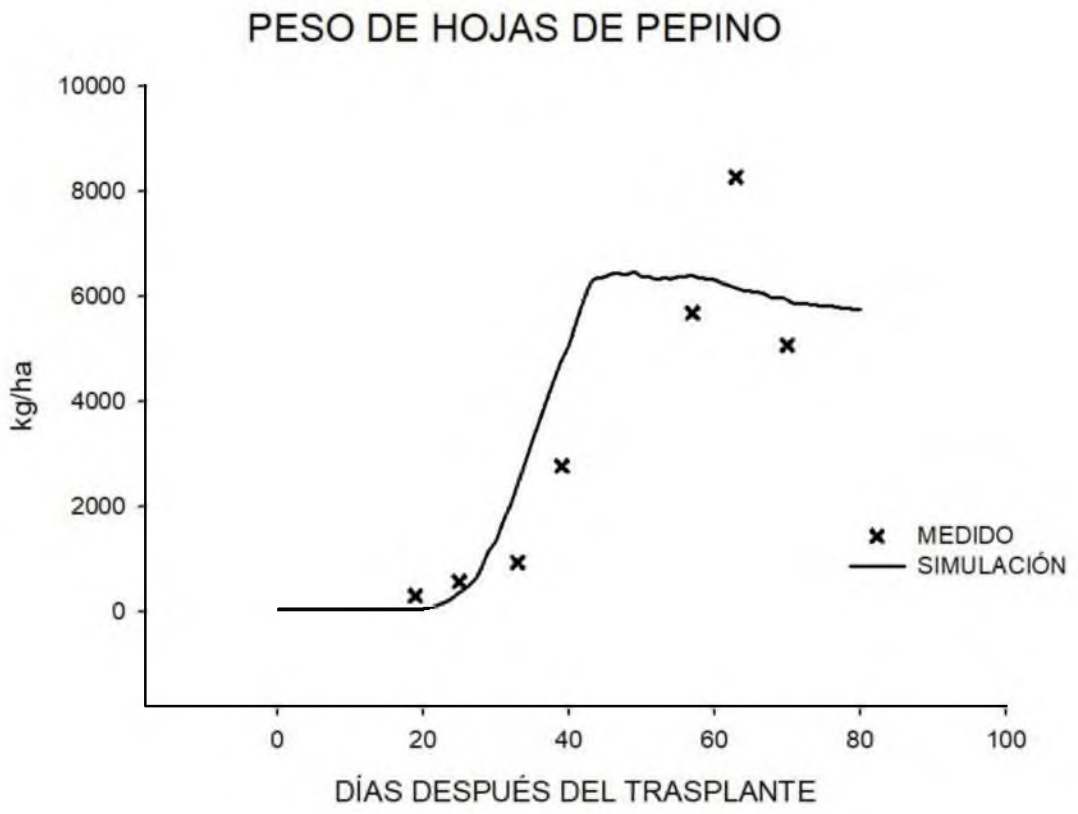


Figura 19. Peso obtenido de la variable hoja para condiciones de campo abierto (CAB) así como el peso simulado en el DSSAT para las mismas condiciones en pepino.

Cuadro 12. Simulación y datos reales obtenidos para la variable de peso de hojas, de la planta expresado en kg ha^{-1}

COND	DDT	PHR	PHS	R^2	EE
CAB	19	301.36	36.00	0.605	1.397
CAS	19	101.56	99.00		
CAB	25	566.10	360.00	0.119	5.957
CAS	25	313.02	771.00		
CAB	33	937.39	2428.00	0.169	11.808
CAS	33	325.01	2286.00		
CAB	39	2763.90	4778.00	0.095	88.495
CAS	39	6085.57	3875.00		
CAB	57	5675.90	6390.00	0.338	50.210
CAS	57	9815.17	6545.00		
CAB	63	8260.06	6150.00	0.050	75.375
CAS	63	10269.72	6881.00		
CAB	70	5068.26	5924.00	0.008	41.362
CAS	70	5507.87	7120.00		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, PHR=Peso de hojas real PHS= Peso de hojas simulado EE= Error Estándar.

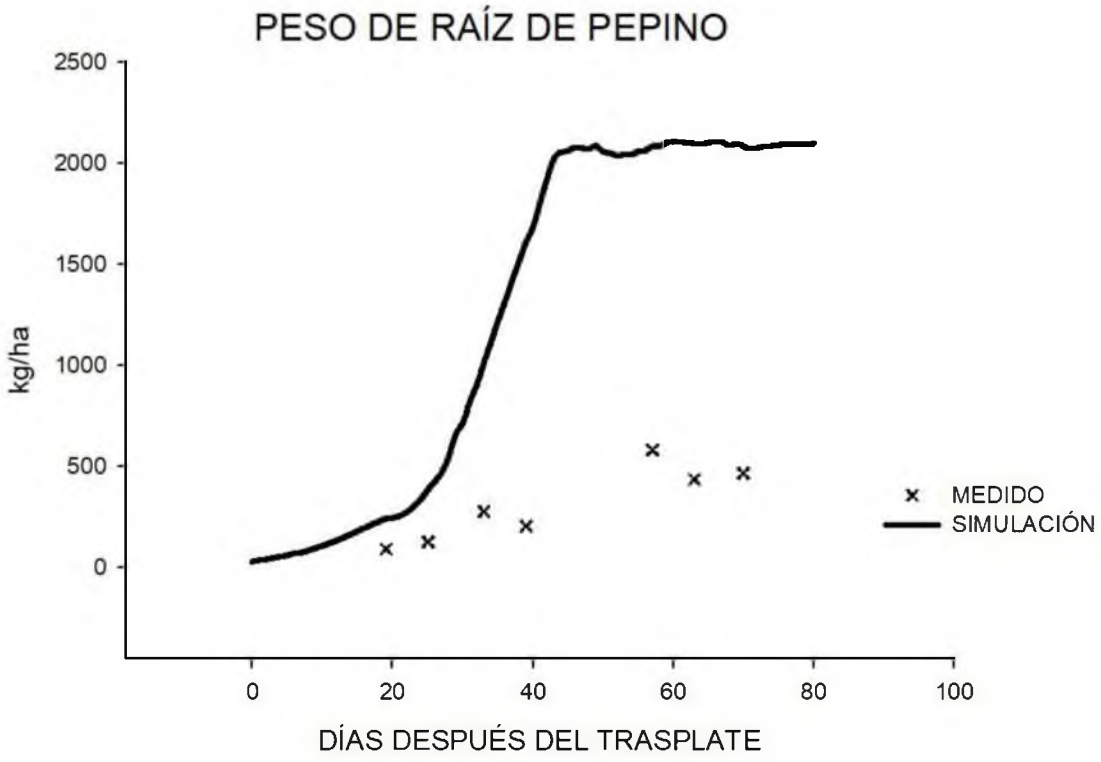


Figura 20. Simulación y datos medidos de peso en la variable raíz para condiciones de campo abierto en cultivo de pepino.

Para la variable raíz (Figura 20), el peso obtenido en condiciones de campo abierto es bajo en comparación con los datos arrojados por la simulación, en donde el peso de raíz en los datos medidos presenta una máxima de 500 kg a los 47 días después del trasplante mientras los simulados están por arriba de los 2000 kg. Su coeficiente de determinación es R^2 =0.80, esto considerando las mismas fechas del muestreo en datos medidos para los datos simulados.

Cuadro 13. Simulación y datos reales obtenidos para la variable de peso de raíz de la planta de pepino expresada en kg ha^{-1}.

COND	DDT	PRR	PRS	R^2	EE
CAB	19	93.24	244.00	0.695	0.305
CAS	19	39.96	202.00		
CAB	25	128.20	386.00	0.724	0.382
CAS	25	56.61	406.00		
CAB	33	278.05	1016.00	0.718	1.183
CAS	33	59.94	802.00		
CAB	39	206.46	1612.00	0.131	5.905
CAS	39	471.19	1201.00		

CAB	57	582.75	2085.00	0.217	2.849
CAS	57	409.59	1869.00		
CAB	63	437.89	2097.00	0.090	4.624
CAS	63	606.06	2031.00		
CAB	70	467.86	2083.00	0.347	4.628
CAS	70	855.81	2199.00		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, PRR=Peso de Raíz real PRS= Peso de Raíz simulado EE= Error Estándar.

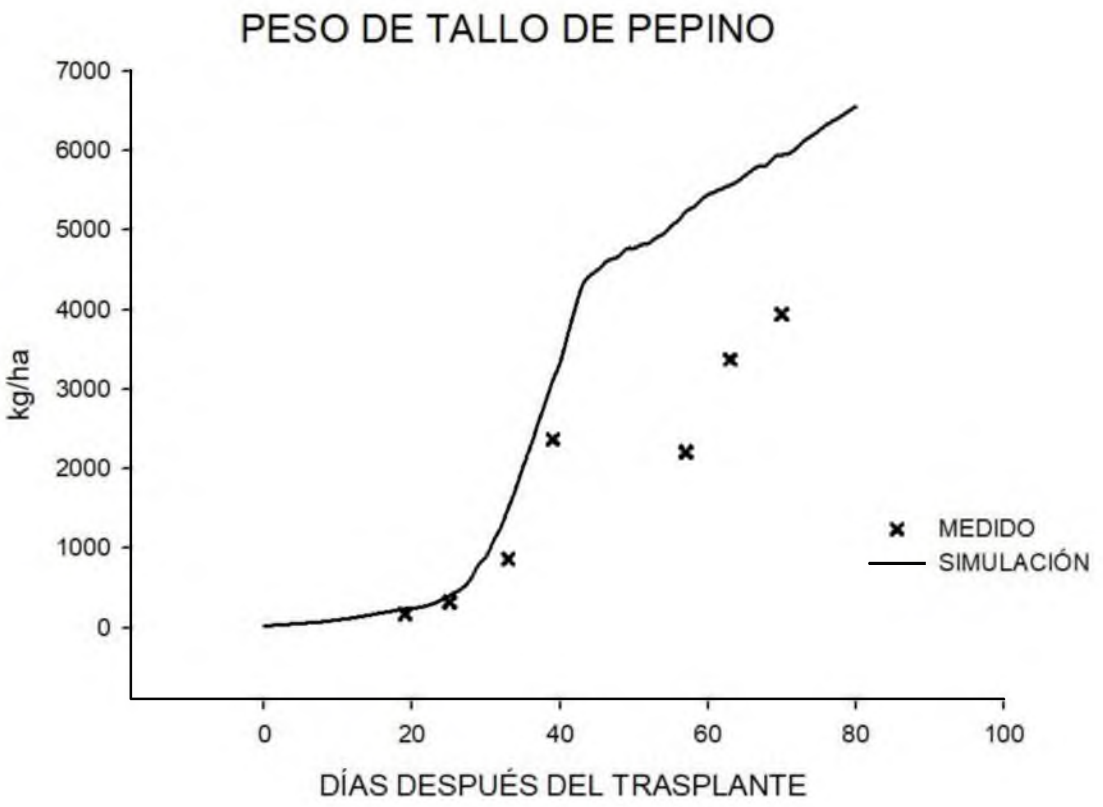


Figura 21. Peso de tallo en plantas de pepino en condiciones de campo abierto, así como el peso obtenido en la simulación para esta misma condición.

En la variable tallo (Figura 21), los datos tanto simulados como medidos en los 40 días después del trasplante presentaron pesos similares, a partir del día 57 (Cuadro14) el dato medido y simulado presentan diferencia de 3000 kg. Mediante la correlación entre los datos simulados y los datos medidos para los mismos días de muestreo se obtuvo el coeficiente de determinación R^2= 0.91.

Cuadro 14. Simulación y datos reales obtenidos para la variable de peso de tallo en el cultivo de pepino, expresado en kg ha^{-1}

COND	DDT	PTR	PTS	R^2	EE
CAB	19	173.16	243.00	0.709	0.591
CAS	19	66.60	207.00		
CAB	25	326.34	404.00	0.142	3.156
CAS	25	178.15	556.00		
CAB	33	865.80	1511.00	0.350	7.803
CAS	33	204.79	1629.00		
CAB	39	2372.62	3114.00	0.009	35.358
CAS	39	1978.02	3032.00		
CAB	57	2209.45	5241.00	0.399	39.423
CAS	57	5915.74	7180.00		
CAB	63	3376.62	5571.00	0.329	26.394
CAS	63	5509.48	8541.00		
CAB	70	3946.05	5951.00	0.010	29.445
CAS	70	3596.40	9996.00		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, PTR=Peso de Tallo real PTS= Peso de Tallo simulado EE= Error Estándar.

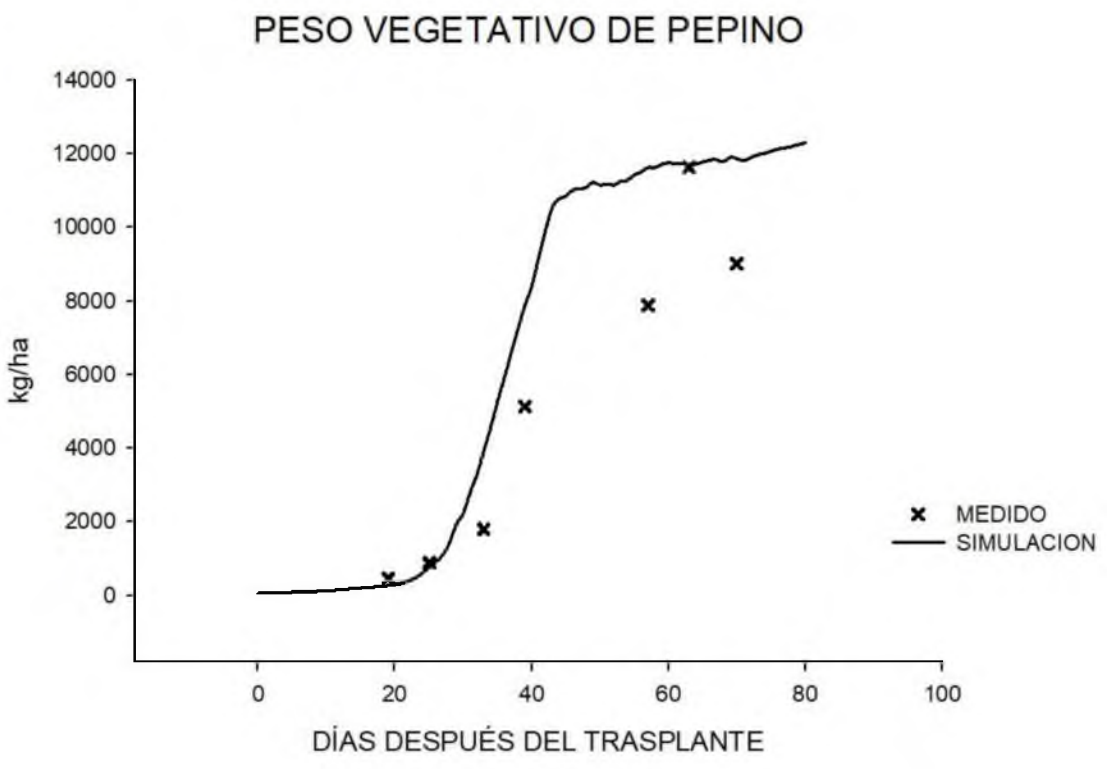


Figura 22. Peso acumulado de tallos y hojas (peso vegetativo) por planta durante su proceso productivo, así como los datos simulados para el cultivo de pepino.

La suma del peso de tallo y el peso de hojas de la planta representan el peso vegetativo generado por planta durante los diferentes días de su ciclo, para el caso de esta variable el comportamiento real quedo por debajo del comportamiento simulado solo para dos fechas que fue a los 57 y 70 días (Cuadro 15) teniendo como diferencias 3000 kg. Obteniendo como coeficiente de determinación para esta variable un R^2=0.91 representada sus ecuaciones en el cuadro 16.

Cuadro 15. Simulación y datos reales obtenidos para la suma de peso de tallo y hojas de pepino, el cual representa el peso vegetativo expresado en kg ha^{-1}

COND	DDT	PTHR	PTHS	R^2	EE
CAB	19	474.52	278.00	0.644	1.972
CAS	19	168.16	305.00		
CAB	25	892.44	764.00	0.127	9.103
CAS	25	491.17	1327.00		
CAB	33	1803.19	3939.00	0.289	17.313
CAS	33	527.80	3914.00		
CAB	39	5138.19	7892.00	0.046	115.200
CAS	39	8063.50	6907.00		
CAB	57	7885.44	11631.00	0.396	83.906
CAS	57	15730.90	13724.00		
CAB	63	11636.68	11721.00	0.112	100.950
CAS	63	15778.50	15422.00		
CAB	70	9014.31	11875.00	0.0001	64.764
CAS	70	9104.20	17116.00		

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, PTHR= Peso de Tallo y Hoja real PTHS= Peso de Tallo y Hoja simulado EE= Error Estándar.

Cuadro 16. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, $P \leq 0.05$, para las variables estudiadas en pepino en campo Abierto

Variables	Ecuación de regresión y= y0+a*x	R^2	RMSE=$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{Obs} - Y_i^{Sim})}$
NH	y=0.2445x+3.7263	0.74	21.91
PH	y=0.8084x+1001.3558	0.80	1313.99
PT	y=1.5872x+139.0622	0.91	1647.61
PR	y=3.9062x+135.8531	0.80	1208.74
PV	y=1.1285x+931.4791	0.91	2217.47

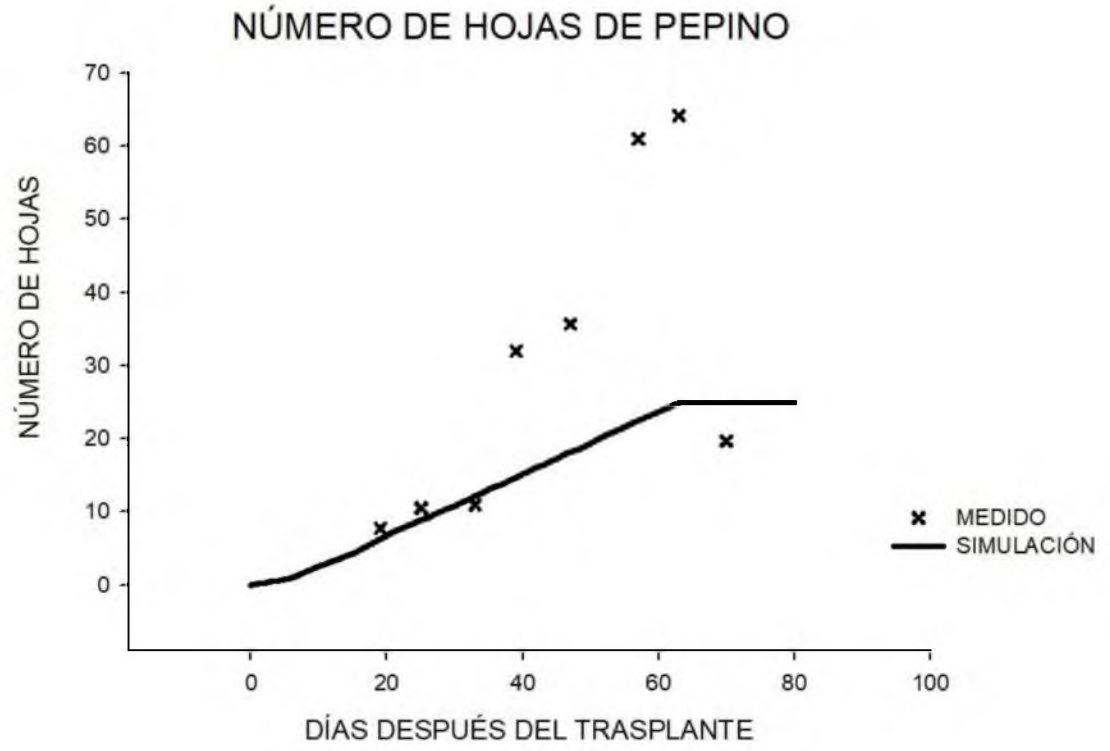


Figura 23. Número de hojas originadas por la planta de pepino en condiciones de casa sombra, comparado con el número de hojas simulado por el DSSAT.

En condiciones de casa sombra el cultivo de pepino desarrollo una gran cantidad de hojas, un mayor número que en campo abierto, en la comparación de los datos simulados con los medidos (figura 23),el mayor número de hojas se obtuvo a los 60 días después del trasplante, teniendo una media de 65 hojas estando por encima de lo predicho por el modelo, en donde el máximo de hojas fue de 25 a los 60 días (Cuadro 11),obteniendo en la correlación una R^2=0.57, el coeficiente mínimo para que el modelo sea aceptable, ecuaciones presentes en el cuadro17, de igual manera se puede consultar la RMSE.

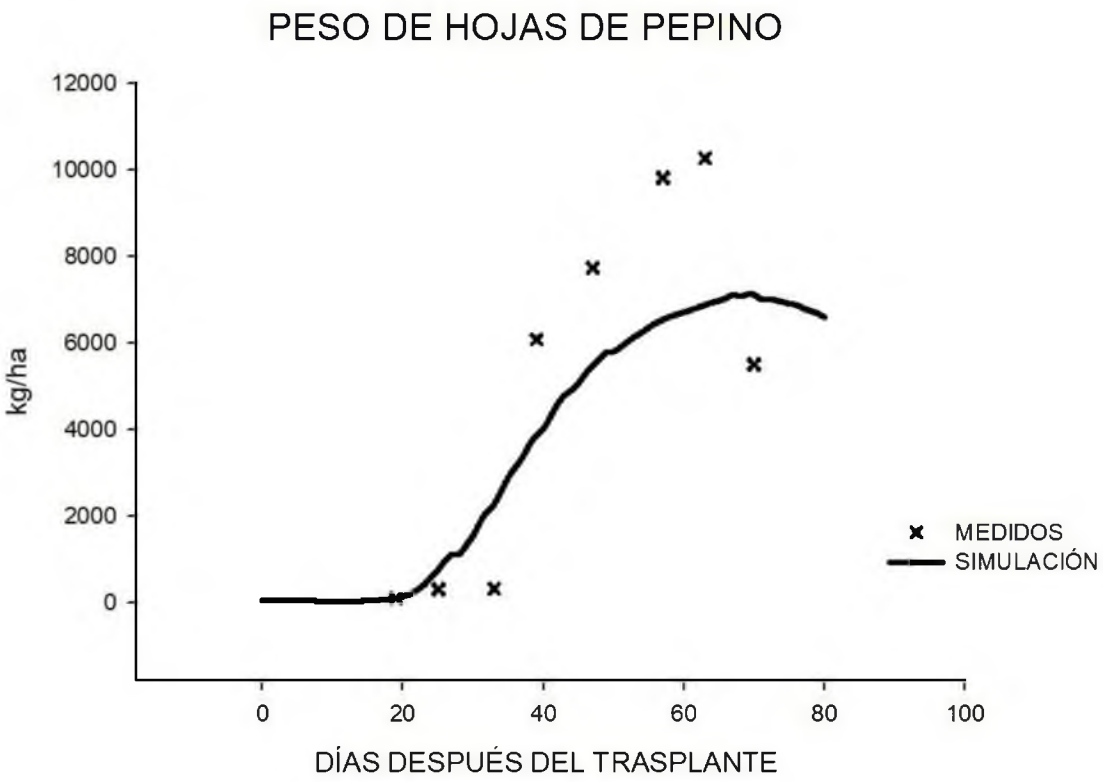


Figura 24. Peso que obtuvieron las hojas que desarrollaron las plantas de pepino en casa sombra, comparado con los datos arrojados por la simulación en DSSAT.

El desarrollo de hojas para el cultivo de pepino fue alto (Figura 23) lo cual ayuda a mantener también un peso alto, es decir por encima de los datos determinados por la simulación del cultivo en el DSSAT, en donde el peso máximo obtenido en la variable hojas es de 7000 kg ha^{-1}mientras que en los datos medidos la máxima se obtuvo a los 63 días con un peso aproximado de 10 000 kg ha^{-1}mostrado en la figura 24, mientras los valores se pueden consultar en el cuadro 12.

El cuadro 17 presenta el coeficiente de determinación para PH, un R^2= 0.80 donde los datos utilizados fueron los días de muestreo.

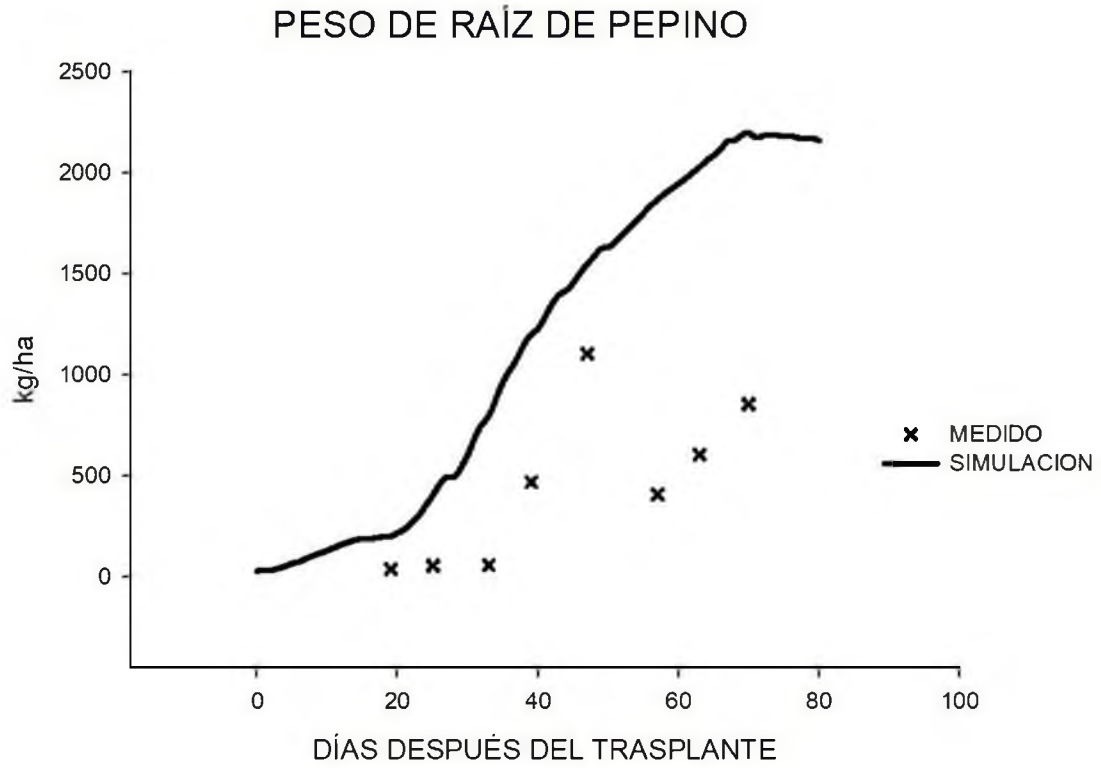


Figura 25. Comportamiento del peso de la raíz en el cultivo de pepino en su desarrollo en condiciones de casa sombra, así como el comportamiento de la variable en la simulación.

El desarrollo del peso de la raíz en el pepino estuvo por debajo de los 1500 kg ha^{-1}, en el caso de casa sombra en comparación con los datos obtenidos en campo abierto (figura 20), los pesos están por debajo de los 1000 kg ha^{-1}, teniendo así un mejor desarrollo en casa sombra.

La simulación, sin embargo, arrojo un mejor resultado en ambos casos, tanto para campo abierto, así como para casa sombra (Cuadro 13). Para el caso del peso de raíz en casa sombra, los datos medidos están por debajo de la simulación, la cual arroja datos por encima de los 2000 kilogramos en la etapa final del cultivo. En la correlación realizada para los datos medidos y simulados en los días de muestreo en condiciones de casa sombra se obtuvo una R^2= 0.60 representado en el cuadro 17 como PR.

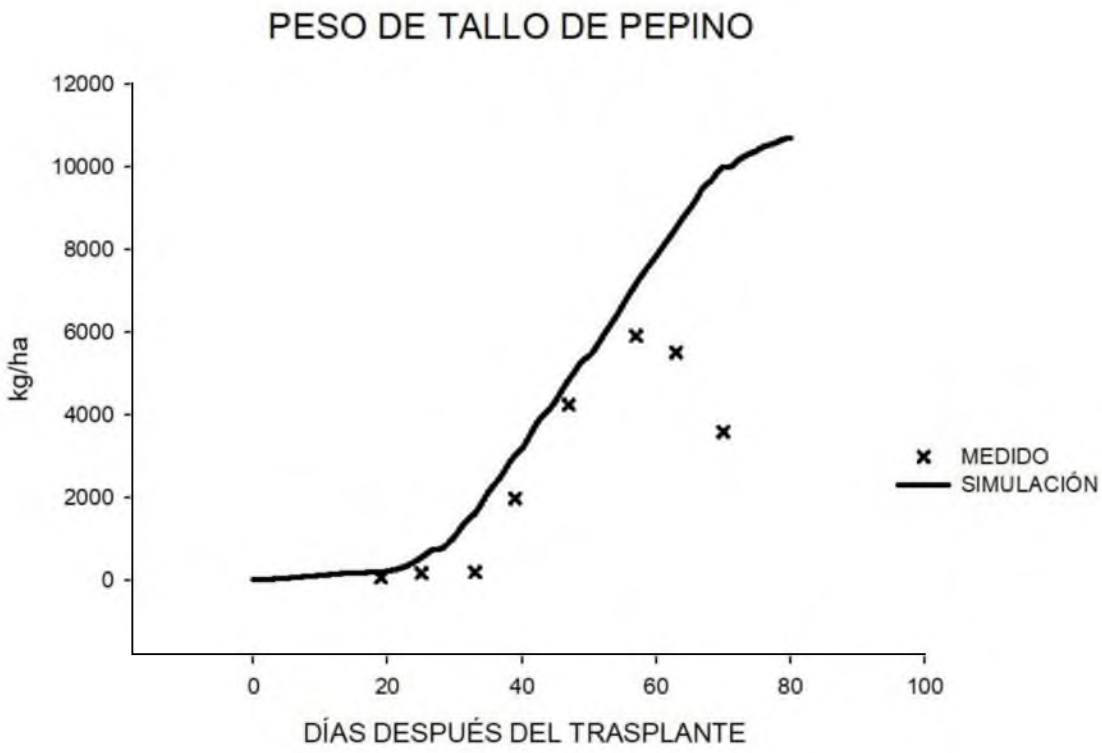


Figura 26. Peso obtenido en la variable tallo en el cultivo de pepino en condiciones de casa sombra, en diferentes días de su ciclo vegetativo, así como el peso obtenido en la simulación.

Durante los primeros días del desarrollo de tallo tanto la simulación como el cultivo en condiciones reales se comportaron de manera similar, mostrados en la figura 26. A los 40 días después del trasplante, se observó un crecimiento en la simulación y en los datos medidos mostró una baja considerable del peso, teniendo el peso máximo a los 57 días después del trasplante con 6000 kg ha^{-1}, mientras el modelo nos arrojó una máxima de 10000 kg ha^{-1} (cuadro 14), los coeficientes de determinación para esta variable fue un R^2= 0.74, ecuaciones en el cuadro 17 representado como PT.

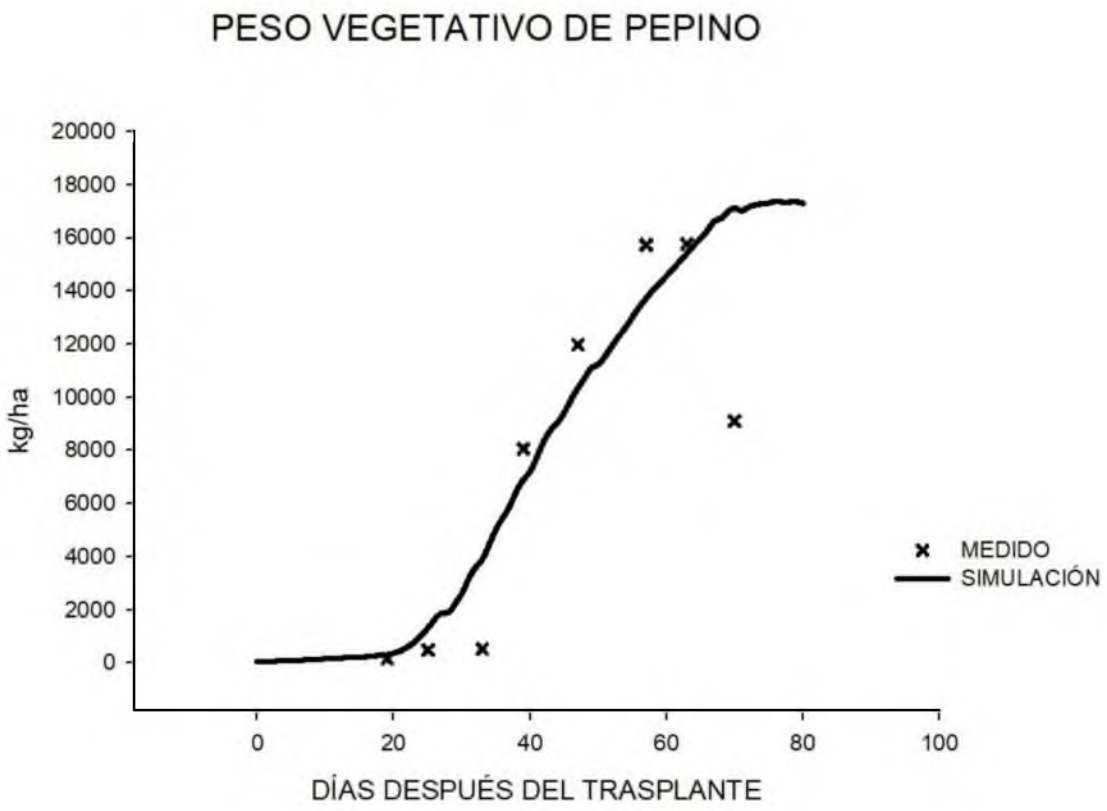


Figura 27. Peso acumulado en tallo y hoja de pepino, como variable de peso vegetativo comparado con las medias obtenidas en la simulación del DSSAT.

El peso vegetativo obtenido en condiciones de casa sombra, tanto datos simulados como medidos fueron sometidos a una correlación lineal en la cual se obtuvo una R^2=0.76 teniendo un modelo que puede ser ajustable (Cuadro 17). Por otra parte, la variable de peso vegetativo en condiciones de simulación arrojo un peso máximo a los 70 ddt de 17 000 kg ha^{-1}, obteniendo más que en los datos medidos donde su máxima fue de 16 000 kg ha^{-1} a los 57 días y a los 70 se presentó una baja en la biomasa obtenida para los datos medidos en la figura 27 se puede observar el comportamiento.

Los datos medidos y simulados que se obtuvieron para los muestreos se pueden consultar en el cuadro 15, mostrando los valores que se graficaron y usaron para la determinación del coeficiente de correlación.

Cuadro 17. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, $P \leq 0.05$, para las variables estudiadas en pepino en casa sombra.

	Ecuación de regresión y= y0+a*x	R^2	$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{Obs} - Y_i^{Sim})}$
NH	y=0.2421x+9.2560	0.57	21.41
PH	y=0.5887x+1177.4952	0.80	2202.52
PT	y=1.3249x+908.0565	0.74	2632.25
PR	y=1.4728x+618.9354	0.60	961.39
PV	y=0.8494x+2066.4786	0.76	3250.73

Para condiciones de casa sombra en la variable peso de hojas se obtuvo un R^2= 0.80 esté valor comparado con el valor obtenido por Ramírez-Pérez et al. (2018) se encuentra bajo, esté realizo simulación en condiciones de invernadero para dos variedades de pepino (Vitaly y Luxell) obteniendo una R^2= 0.96 y R^2=0.98 utilizando el modelo que propuso Tap (200), para cada uno, usando como sustrato la mezcla de peat-moss y perlita. El hecho de que el valor de nuestra R^2 sea bajo como se menciona anteriormente, se puede explicar debido a que las condiciones en las que se desarrollo fueron diferente, ya que uno se desarrollo en clima templado mientras en otro fue en calido-humedo lo cual pudo influir en la generacion de variabilidad de los datos, asi como al tipo de modelo utilizado, los datos obtenidos son aceptables.

6.3. Materia seca obtenida en frutos

En las figuras 28,29,30, y 31 se muestran la simulación y los datos medidos del peso seco de frutos para ambas condiciones y ambos cultivos.

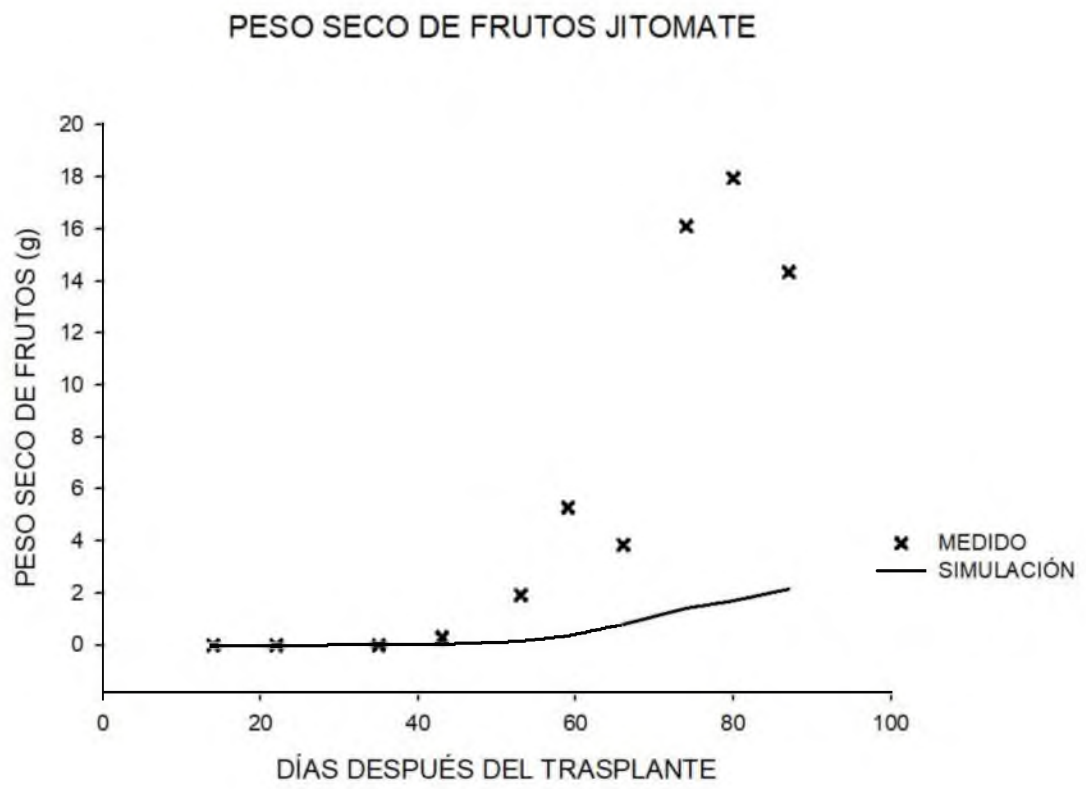


Figura 28. Datos de peso seco de frutos de jitomate en condiciones de campo abierto, así como los obtenidos en la simulación mediante el DSSAT-TOMGRO.

Los datos de peso, simulados y medidos se sometieron a una correlación lineal en donde se obtuvo una R^2= 0.87, de esta manera tenemos que es aceptable y que nuestro modelo se ajusta a los datos medidos (Cuadro 18).

En relación con el peso seco de frutos en condiciones de casa sombra para el jitomate se obtuvo una pobre correlación entre los datos simulados y los medidos según la R^2= 0.59 lo cual, a pesar de estar muy baja, está en el rango mínimo de lo aceptable.

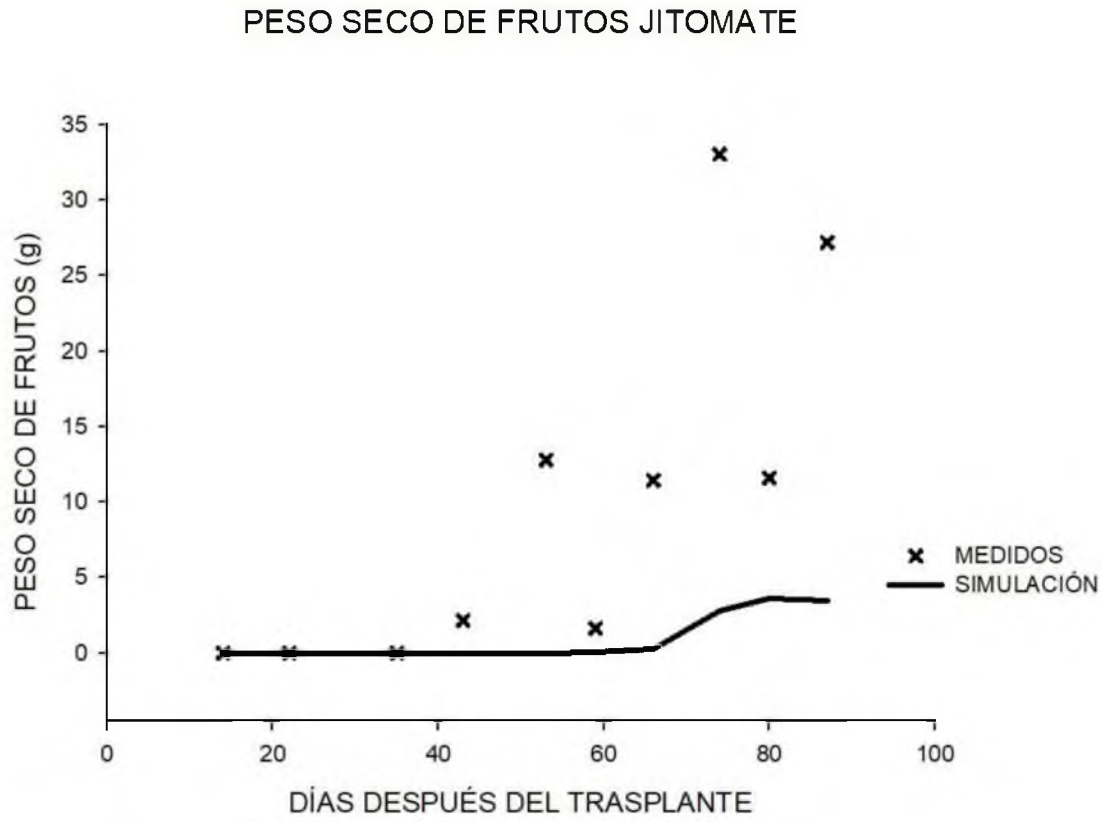


Figura 29. Datos medidos de peso seco en condiciones de casa sombra para cultivo de jitomate comparado con los datos obtenidos mediante la simulación.

Cuadro 18. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, P≤ 0.05, para peso seco de frutos en jitomate para campo abierto (CAB) y casa sombra (CAS).

Variable	Condición	Ecuación de regresión y= y0+a*x	R^2	RMSE=$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{Obs}-Y_i^{Sim}\right)}$
PSF	CAB	y=0.1046x+0.0381	0.87	8.16
	CAS	y=0.1029x-0.0088	0.59	13.55

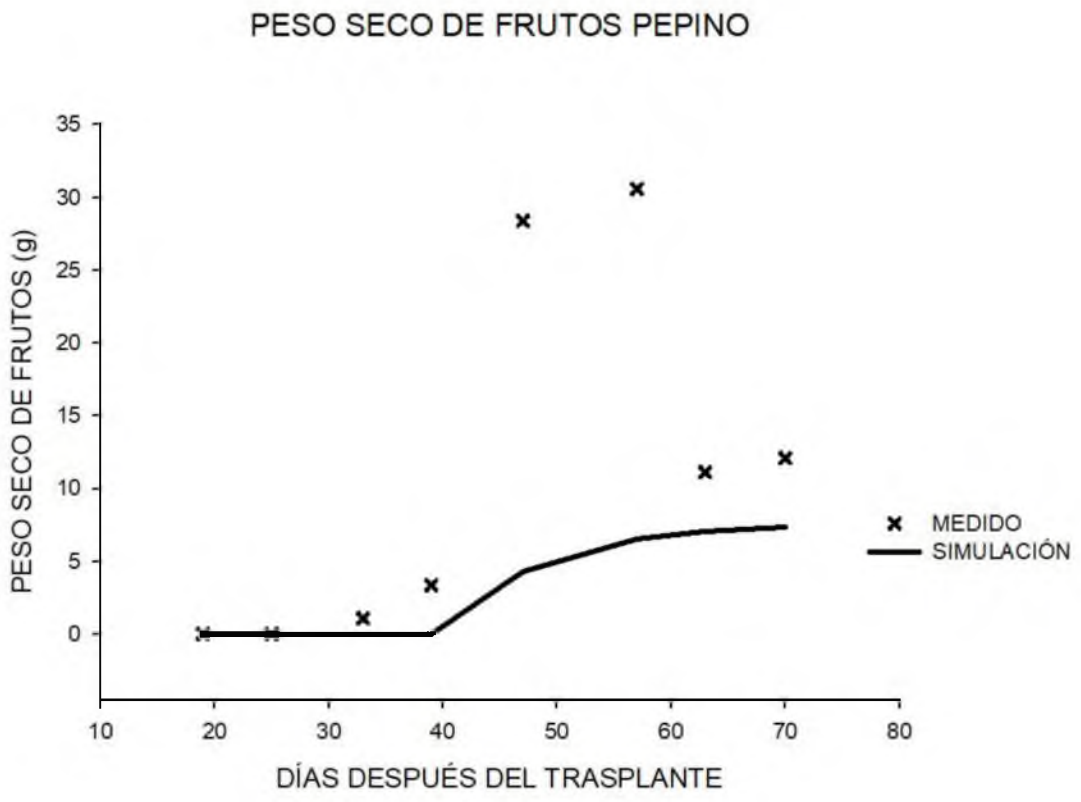


Figura 30. Datos medidos en condiciones de campo abierto, así como los datos arrojados por la simulación mediante el software DSSAT en cultivo de pepino para la variable de peso seco de frutos.

En condiciones de campo abierto para el cultivo de pepino se compararon de la misma manera que se realizó con los datos de jitomate, mediante una correlación lineal se obtuvo una R^2=0.50 lo cual indica que el grado de ajuste que los datos simulados tienen con los datos medidos son bajos y aunque muestra que se encuentra en el rango de lo mínimo, por lo cual se descarta la simulación.

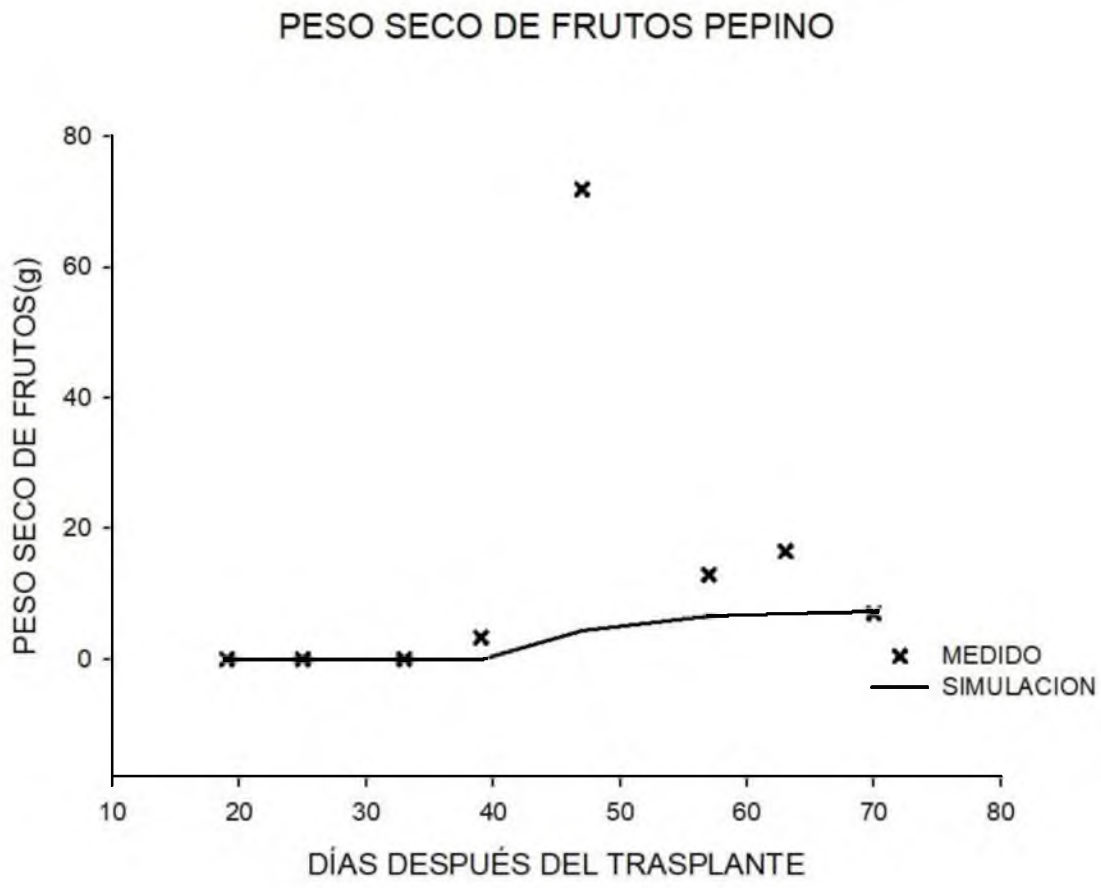


Figura 31. Datos obtenidos de la simulación comparados con los datos medidos en la parte experimental en condiciones de casa sombra para el cultivo de pepino.

En condiciones de casa sombra se obtuvo una $R^2 = 0.10$ lo cual es inaceptable por completo ya que no se encuentra cerca del rango mínimo aceptable, por lo que es totalmente descartado el ajusté.

Cuadro 19. Resumen de las ecuaciones de regresión, coeficiente de determinación y raíz del cuadrado medio del error, $P \leq 0.05$, para peso seco de frutos en pepino para campo abierto (CAB) y casa sombra (CAS).

Variable	Condición	Ecuación de regresión y= y0+a*x	R^2	RMSE=$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{Obs} - Y_i^{Sim}\right)}$
PSF	CAB	y=0.1985x+1.0021	0.5	12.31
	CAS	y=0.0504x+2.4499	0.1226	24.29

Sin embargo, esto se puede explicar debido a la precocidad que mostro el cultivo de pepino para ambas condiciones, presentando frutos en pocos días después de su trasplante, mientras que en la simulación mostro una producción de frutos después de los 40 días desfasando de esta manera la etapa de producción del cultivo con la simulación.

6.4. Desarrollo del cultivo con base en la materia seca acumulada

Dentro de la parte de acumulación de materia seca para el cultivo de jitomate, se obtuvieron las medias comparando las condiciones obteniendo diferencia en condiciones de casa sombra por encima de campo abierto, a pesar de ello nuestras medias de acumulación de materia seca total se acercan a las obtenidas por Enriquez-Reyes *et. al.*, (2003) en condiciones de invernadero, en donde utilizan el modelo UNMAC para la relación nitrógeno-materia seca. Las medias que reportan datos por debajo de sus predecesoras se deben a la realización de podas que no fueron contabilizadas.

Cuadro 20. Acumulación de materia seca total para cultivo de jitomate en condiciones de casa sombra y campo abierto.

COND	DDT	EE	R^2	PESO SECO ACUMULADO	
				g/planta	kg/m^2
CAB	14	0.0821	0.512	0.7086_a	0.002
CAS	14			0.417_b	0.001
CAB	22	0.625	0.122	1.007	0.003
CAS	22			1.818	0.006
CAB	35	3.736	0.632	4.306_b	0.014
CAS	35			21.3_a	0.070
CAB	43	5.292	0.708	10.35_b	0.034
CAS	43			38.904_a	0.128
CAB	53	7.89	0.922	24.61_b	0.081
CAS	53	11.17		118.9_a	0.392
CAB	59	10.849	0.004	32.720	0.108
CAS	59			30.320	0.100
CAB	66	7.325	0.844	23.6_b	0.078
CAS	66			82.7_a	0.273
CAB	74	13.835	0.625	50.05_b	0.165

CAS	74			111.95$_a$	0.369
CAB	80	12.684	0.073	61.800	0.204
CAS	80			49.430	0.163
CAB	87	24.911	0.126	63.350	0.209
CAS	87			96.200	0.317

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, EE= Error Estándar.
Fila con diferentes letras presentan diferencias entre ellas ($P \leq 0.05$).

Cuadro 21. Medias de peso seco acumulado durante la etapa del cultivo de pepino en condiciones de casa sombra y campo abierto, representado en gramos por planta y kilogramos por metro cuadrado.

COND	DDT	EE	R^2	PESO SECO ACUMULADO	
				g/planta	kg/m^2
CAB	19	0.0205	0.753	1.765$_a$	0.006
CAS	19			0.520$_b$	0.002
CAB	25	0.915	0.254	3.392	0.011
CAS	25			1.538	0.005
CAB	33	2.654	0.404	9.023	0.030
CAS	33			1.439	0.005
CAB	39	11.71	0.02	31.120	0.103
CAS	39			25.320	0.084
CAB	47	25.744	0.095	72.050	0.238
CAS	47			43.150	0.142
CAB	57	23.023	0.133	70.330	0.232
CAS	57			101.650	0.335
CAB	63	12.93	0.232	57.230	0.189
CAS	63			81.900	27.027
CAB	70	9.929	0.011	44.300	0.146
CAS	70			40.600	0.134

COND=Condición, DDT=Días después del trasplante, CAB=Campo abierto, CAS= Casa sombra, EE= Error Estándar.
Fila con diferentes letras presentan diferencias entre ellas ($P \leq 0.05$).
Representación de Kg/m^2 generado durante la etapa del cultivo

7. CONCLUSIONES

Una primera aproximación del modelo DSSAT-TOMGRO para condiciones de agricultura protegida, mostró resultados aceptables para el trópico húmedo mexicano.

Los datos obtenidos con el modelo de simulación DSSAT-TOMGRO en *Solanum lycopersicum* L. y *Cucumis sativus* L. reportan que, a partir de los indicadores

utilizados para la validación, se puede utilizar en condiciones de agricultura protegida (casa sombra) para la toma de decisiones del manejo o predicción de crecimiento del cultivo de tomate y pepino.

En condiciones de casa sombra para el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) las variables medidas y simuladas, indican que, se puede utilizar para condiciones protegidas en clima tropical, con el fin de realizar un buen manejo del cultivo y la predicción de su desarrollo en dicha condición.

Para ambos cultivos, el modelo DSSAT, obtuvo una mejor adaptación en condiciones de campo abierto, aunque no se obtuvo diferencia significativa comparado con agricultura protegida.

8. LITERATURA CITADA

Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC), 2017. Horticultura en México. Consultado (18/enero/2019) Pagina de consulta:http://www.amhpac.org/es/index.php/mformacion/horticultura-en-mexico

Ayala-Tafoya F., Yáñez-Juárez M.G., Partida-Ruvalcaba L., Ruíz-Espinosa F.H., Campos-García H., Vásquez-Martínez O., Velázquez-Alcaraz T. de J., Díaz Valdés T., 2015. Producción de pepino en ambientes diferenciados por malla de sombreo foto selectivo. ITEA, Vol., 111 (1): 3-17

Barraza A.F.V., 2012, Acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero, Temas Agrarios, Vol. 17(2); 18-29

Candelaria M. B., Ruiz R.O., Gallardo L. F., Pérez H. P., Martínez B.A., Vargas V.L. 2011. Aplicaciones de Modelos de Simulación en el estudio y

planificación de la Agricultura, una revisión. Tropical and subtropical Agroecosystems, Vol. 14: 999-1010

Casilimas H., Monsalve O., Bojacá C. R., Gil R., Villagrán E., Arias L. A., Fuentes L. S., 2012. Manual de producción de pepino bajo invernadero, Universidad de Bogotá Jode Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia, 208 p. Consulta electrónica: https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-_manual_de_produccion_de_pepino-_pag-_07-10-15_0.pdf

Cedillo P. E., y Calzada S. M. L., 2016. La agricultura protegida en México. Situación actual y perspectivas. Revista Encuentros UNAM, (1), 1-10.

Enciso A. M. A., 2011, Desarrollo de un controlador de variedad para invernadero de jitomate de variedad Azteca. (Tesis de Licenciatura). División de Ingeniería Mecánica e Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de México, 116 p.

Enriquez-Reyes S.A., Alcántar-González G., Castellanos-Ramos J. Z., Arjona S. E., González-Aguiarte D., Lazcano-Ferrat I. 2003.Nutrición mineral acoplada al crecimiento (NUMAC): nutrición con n para tomate en invernadero 3. Evaluación del Modelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México, *Terra Latinoamerica* Vol. 21(2), 185-193.

Esperanza F.M., 2013. Diagnóstico de modelos agroclimáticos. Evaluación del riesgo agroclimático por sector. Fondo Financiero de Desarrollo-FONADE e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. 47 p.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), 2016, Panorama Agroalimentario, Tomate Rojo, Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, México, 36 p.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), 2017, Panorama Agroalimentario, Tomate Rojo, Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, México, 24 p.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, D.F.

Hernández- Hernández F., López C. L. I., Guevara-González R. G., Rico-García E., Ocampo-Velásquez V. R., Herrera-Ruiz G., González-Chavira M. M., Torres-Pacheco I., 2011, Simulación del Crecimiento y desarrollo de pimiento (*Capsicum annumm* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 2(3), 385-397.

Hernández, N., Soto F., Caballero A., 2009, Modelos de simulación de cultivos. Características y usos, Revista cultivos tropicales, 30(1), 78-82.

Hernández R.C.J., 2011. Caracteres de importancia agronómica, análisis de crecimiento y extracción nutrimental en colectas de pepino mixteco (*Cucumis anguria* L.) (Tesis de Maestría), Instituto de horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad autónoma Chapingo, Estado de México. 153 p.

Hoogenboom, G., CH Porter, V. Shelia, KJ Boote, U. Singh, JW White, LA Hunt, R. Ogoshi, JI Lizaso, J. Koo, S. Asseng, A. Singels, LP Moreno y JW Jones. 2017. Sistema de Soporte de Decisión para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT) Versión 4.7 (https://DSSAT.net). DSSAT

Foundation, Gainesville, Florida, EE. UU.Jones, JW, G. Hoogenboom, CH Porter, KJ Boote, WD Batchelor, LA Hunt, PW Wilkens, U. Singh, AJ Gijsman y JT Ritchie. 2003. Modelo de sistema de cultivo DSSAT. European Journal of Agronomy 18: 235-265.

InfoAgro, 2016. Pepino, Revista InfoAgro.com, Edición de Aniversario, N° 7. 6-9

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2014. Tecnología para producir tomate en casa malla para el norte de Tamaulipas, Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental, Rio Bravo, Folleto para productores No. MX-0-310301-49-03-13-10-60. Consulta electrónica: http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/989.pdf .

Integrated TaxonomicInfirmation System (ITIS). 2019. Clasificación Taxonómica. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=22364&print_version=PRT&source=to_print#null Consultado 23 de abril 2019

Juárez L.P., Bugarím M.R., Castro B.R., Castro B. R., Sánchez-Monteón A. L., Cruz-Crespo E., Juárez R. C. R., Alejo S. G., Balois M. R., 2011. Estructuras utilizadas en la Agricultura protegida. Revista Fuente. 3 (8), 21-27.

Juaréz-Maldonado A., Benavides-Mendoza A., de Alba-Romenus K., Morales-Díaz A. B., 2014. Dynamic modeling of mineral contents in greenhouse tomato crop. Agricultua Science Vol. 5 (2), 114-123

Juárez-Maldonado., De Alba R. K., Zermeño G. A., Ramírez H., Benavides M. A., 2015. Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol. 6 (5), 943-954.

León J., 2000. Botánica de los Cultivos del Trópico, 3era. Edición, IICA, San José, Costa Rica. 552 p.

López-Elías J., Rodríguez C. J., Huez L. M.A., Garza O. S. Jiménez L. J, Leyva E.E.I, 2011, Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus L.*) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda, IDESIA (Chile) 29 (2), 21-27.

López M. L., 2016. Manual Técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, San José, Costa Rica. 128 p. Consulta en internet: http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf

López Z. C. M., 2003. Cultivo de pepino, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), Guía Técnica Núm. 17; 44 p. Consulta electrónica: http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Pepino%202003.pdf.

Martínez-Ruiz A., López-Cruz I. L., Ruiz-García A., Ramírez-Arias A., 2012. Calibración y Validación de un modelo de transpiración para la gestión de riegos de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) en invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. (4): 757-766.

Mondragón S. L., 2007, Producción de Jitomate en invernadero, Primera Edición, Gobierno del Estado de México, Secretaria de Desarrollo Agropecuario, Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), Dirección de apoyo técnico y divulgación, Conjunto SEDAGRO, Metepec, Estado de México. 50 p

Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Bingne R. L. r, Harmel, R. D, Veith T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Transactions of the ASABE: 50(3): 885-900.

Navarro U.E., 2011, Producción de tomate saladette (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero en una unidad de producción chaparrosa, de villa de cos, Zacatecas. (Tesis de Licenciatura). División de ciencias socioeconómicas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 71 p.

Nelson G. C., Rosegrant M. W.,Koo J., Robertson R., Sulser T., Zhu T., Ringler C., Msangi S., Palazzo A., Batka M., Magalhaes M., Valmonte-Santo R., Ewing M., Lee D. 2009. *Cambio climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación.* Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), Política Alimentaria, Informe, 19 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2017. El trabajo de la FAO sobre el cambio climático, Conferencia de las naciones unidas sobre el cambio climático. Consulta electrónica:http://www.fao.org/3/a-i8037s.pdf . Consultado (23/enero/2019).

Pratt L., y Ortega J M. 2019. Agricultura protegida en México: elaboración de la metodología para el bono verde agrícola certificado. Sector de Instituciones para el desarrollo. División de Conectividad, Mercado y Finanzas. Editores: Enrique Nieto y Isabelle Braly-Cantiller. Nota técnica N° IDB-TN-1668:57 p.

Pérez J., Hurtado G., Aparicio V., Argueta Q., Larin M. A. S/A. Cultivo de tomate, Guía técnica. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. San

Salvador, El salvador. 48 p. Consulta electrónica: http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Tomate.pdf

Potisek T. M. C., Gonzáles C. G., Velásquez V. M. A., Macías R. H., Román L. A.,2013. Producción de Melón (*Cucumis melo* L.) bajo condiciones de bioespacios o casa-sombra. Folleto Técnico Núm. 31 CENID-RASPA, INIFAP, Gómez Palacio, Durango. Electronico: http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4096/RASPA_01020816130005282 7ok.pdf?sequence=1.

Prieto B. L. A. 2016. Respuesta del Hibrido de Jitomate Saladette (*Solanum lycopersicum* L.) a cuatro sustratos y *Trichoderma spp.,* bajo condiciones de invernadero en Loma Bonita Oaxaca. Tesis de licenciatura. Ingeniería Agrícola Tropical, Universidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita, 112 p.

Ramírez M. G., Rico G. E., Mercado L.A., Ocampo V.R., Guevara G. R.G., Soto Z. G.M., 2012, Efecto del manejo cultural y sombreo sobre la productividad del pepino (*Cucumis sativus* L.). CIENCIA@UAQ, 5(1) 1-9.

Ramírez-Peréz L. J., Morales-Díaz A. B., Benavides-Mendoza A., de-Alba-Romeus K., Gonzáles-Morales S., Juárez-Maldonado A., 2018. Dynamic modeling of cucumber crop growth and uptake of N, P and K under greenhouse conditions. Scientia Horticulturae 234, 250-260.

Reyes G. C. E., 2012, Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino en sistemas hidropónicos con recirculación de solución nutritiva. (Tesis de maestría). Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 82 p

Rojas M. C., Díaz S. H., Aizpuru G. E., López T. R., Rincón S. F., 2011, Calibración de DSSAT (Decision Support Systemfor Agrotechnoligy Transfer) para tres cultivares de maíz (Zea mays L.) en el sur de Nuevo León, México, Revista Agraria Nueva Época, 8 (2), 6-14.

SAGARPA, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2010, Monografía de cultivos, Jitomate, Subsecretaria de Fomento a los agronegocios. 10 p.

SAGARPA, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2012. México: El sector Agropecuario ante el desafío del cambio climático. Volumen I. 439 p.

SAGARPA, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2014, Programa Integral de Desarrollo Rural 2014, Cultivo de Pepino, Carta Tecnológica, 13.

SAGARPA, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, Jitomate Mexicano. Primera Edición. Página de consulta: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf. Consultado (23/Marzo/2019).

SADER, Secretaria de Agricultura y Desarrollo rural 2017, Comunicado de prensa, BCS/318/2017 Aumenta producción agrícola 11 por ciento en cuatro años, La Paz, Baja California Sur, México. 25 de septiembre 2017. Página de consulta:https://www.gob.mx/sader/prensa/aumenta-produccion-agricola-11-por-ciento-en-cuatro-anos-sagarpa?idiom=es. Consultado (23/Marzo/2019).

SADER, Secretaria de Agricultura y Desarrollo rural, 2019. Agricultura protegida: otra manera de cultiva. https://www.gob.mx/sader/articulos/agricultura-protegida-otra-manera-de-cultivar?idiom=es Consultado (22/Marzo/2019).

Sañudo T. R.R. 2013. El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y el potencial endofítico de diferentes aislados de *Beauveria bassiana*. (Tesis de Maestría). Institución Intercultural Del Estado De Sinaloa. Universidad Autónoma Indígena de México, Los Mochis, Sinaloa, 59 p.

Santos B.M., Obregón-Olivas H., Salamé-Donoso T.P., 2010. Producción de hortalizas en ambientes protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida. Ciencias Agrícolas. Universidad de Florida: 1-4 p.

Santiago J., Mendoza M., Borrego F., 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: Criterios Fenológicos y Fisiológicos. Agronomía Mesoamericana 9 (1):59-65

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2018. Monografía de jitomate. Página de consulta: https://www.gob.mx/siap/documentos/monografias. Consultado (24 / Marzo/2019).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2018. Anuario estadístico de producción agrícola, página de consulta: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ . Consultado (27/Diciembre/2019)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2018 Cierre de producción por Estado de jitomate, página de consulta:http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do. Consultado (24/Septiembre/2019)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2018 Cierre de producción por Estado de pepino, página de consulta:http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do. Consultado (24/Septiembre/2019)

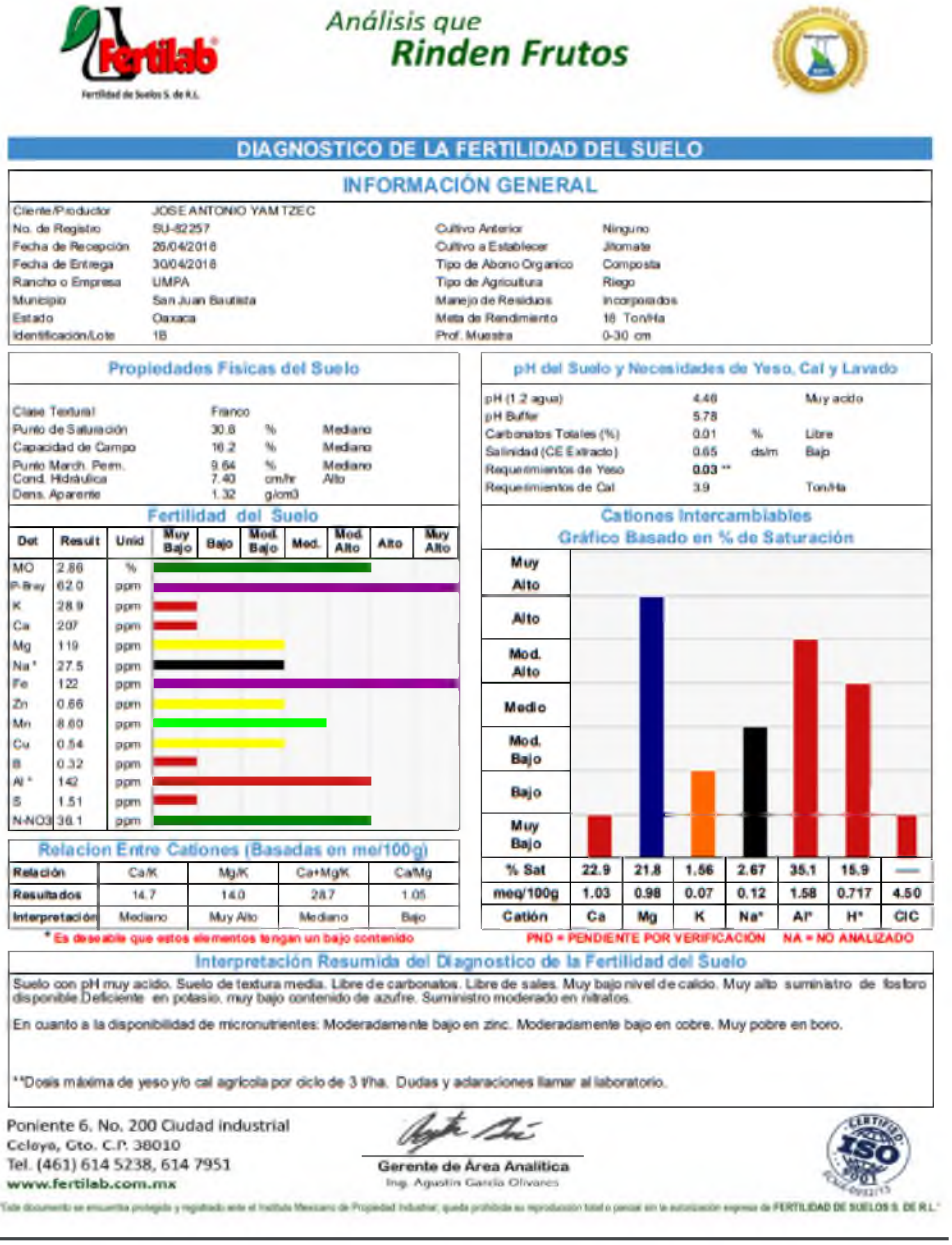
Steiner, A.A. 1984. The universal nutrientsolution. In: Proceedings 6th International Congresson Soilles Culture. Wageningen, The Netherlands. Pp. 633-650.

United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resource Conservation Service 2019, Classification. https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=profile&symbol=SOLY2&display=31. Consultado 23/ diciembre /2019.

Zamudio G.B y Félix R. A, 2014. Producción de pepino bajo condiciones de invernadero en Valles Altos del Estado de México, Folleto Técnico. 56, INIFAP, Metepec, Edo. México. Consulta electrónica: https://studylib.es/doc/5473231/producci%C3%B3n-de-pepino-bajo-invernadero-en-valles-altos-del...

9. APÉNDICE

Apéndice 1 Resultado de análisis de suelo



Fertilab
Fertilidad de Suelos S. de R.L.

Análisis que
Rinden Frutos

DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

INFORMACIÓN GENERAL

Cliente/Productor	JOSE ANTONIO YAMTZEC		
No. de Registro	SU-82257	Cultivo Anterior	Ninguno
Fecha de Recepción	26/04/2016	Cultivo a Establecer	Jitomate
Fecha de Entrega	30/04/2016	Tipo de Abono Organico	Composta
Rancho o Empresa	UMPA	Tipo de Agricultura	Riego
Municipio	San Juan Bautista	Manejo de Residuos	Incorporados
Estado	Oaxaca	Meta de Rendimiento	18 Ton/Ha
Identificación/Lote	1B	Prof. Muestra	0-30 cm

Propiedades Fisicas del Suelo

Clase Textural	Franco		
Punto de Saturación	30.8	%	Mediano
Capacidad de Campo	16.2	%	Mediano
Punto March. Perm.	9.64	%	Mediano
Cond. Hidráulica	7.40	cm/hr	Alto
Dens. Aparente	1.32	g/cm3	

pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado

pH (1:2 agua)	4.46		Muy acido
pH Buffer	5.78		
Carbonatos Totales (%)	0.01	%	Libre
Salinidad (CE Extracto)	0.65	ds/m	Bajo
Requerimientos de Yeso	0.03 **		
Requerimientos de Cal	3.9		Ton/Ha

Fertilidad del Suelo

Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	2.86	%							
P-Bray	62.0	ppm							
K	28.9	ppm							
Ca	207	ppm							
Mg	119	ppm							
Na *	27.5	ppm							
Fe	122	ppm							
Zn	0.66	ppm							
Mn	8.60	ppm							
Cu	0.54	ppm							
B	0.32	ppm							
Al *	142	ppm							
S	1.51	ppm							
N-NO3	36.1	ppm							

Cationes Intercambiables
Gráfico Basado en % de Saturación

Catión	Ca	Mg	K	Na*	Al*	H*	CIC
% Sat	22.9	21.8	1.56	2.67	35.1	15.9	—
meq/100g	1.03	0.98	0.07	0.12	1.58	0.717	4.50

Relacion Entre Cationes (Basadas en me/100g)

Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	14.7	14.0	28.7	1.05
Interpretación	Mediano	Muy Alto	Mediano	Bajo

* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido

PND = PENDIENTE POR VERIFICACIÓN NA = NO ANALIZADO

Interpretación Resumida del Diagnostico de la Fertilidad del Suelo

Suelo con pH muy acido. Suelo de textura media. Libre de carbonatos. Libre de sales. Muy bajo nivel de calcio. Muy alto suministro de fosforo disponible Deficiente en potasio. muy bajo contenido de azufre. Suministro moderado en nitratos.

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Moderadamente bajo en zinc. Moderadamente bajo en cobre. Muy pobre en boro.

**Dosis máxima de yeso y/o cal agrícola por ciclo de 3 t/ha. Dudas y aclaraciones llamar al laboratorio.

Poniente 6. No. 200 Ciudad Industrial
Celaya, Gto. C.P. 38010
Tel. (461) 614 5238, 614 7951
www.fertilab.com.mx

Gerente de Área Analitica
Ing. Agustín García Olivares

Este documento se encuentra protegido y registrado ante el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial, queda prohibida su reproducción total o parcial sin la autorización expresa de FERTILIDAD DE SUELOS S. DE R.L.

Apéndice 2 Cuadro de datos de temperatura y humedad en condiciones de casa sombra y campo abierto

Temperaturas y Humedad Relativa en condiciones de casa sombra

DIA JULIANO	Temperatura Media (°C)	Humedad Relativa Media (%)
274	28.4	92.8
275	30.5	87.5
276	25.9	101.4
277	0.0	0.0
278	0.0	0.0
279	0.0	0.0
280	0.0	0.0
281	0.0	0.0
282	0.0	0.0
283	31.0	84.2
284	26.6	93.9
285	26.1	94.5
286	25.7	98.1
287	26.6	98.5
288	27.7	92.5
289	27.0	93.4
290	25.5	87.2
291	27.0	76.4
292	26.9	101.5
293	29.5	90.2
294	30.0	85.3
295	30.0	87.1
296	26.1	101.6
297	25.8	99.3
298	22.5	101.3
299	25.3	87.6
300	26.0	81.7
301	24.4	86.2
302	24.5	76.6
303	26.0	85.6
304	28.1	84.0
305	28.3	84.6
306	28.7	86.9
307	28.7	89.7
308	28.8	87.0
309	27.6	85.2
310	26.5	83.4
311	27.2	83.8
312	26.9	87.8
313	26.0	88.8
314	24.2	95.2
315	25.7	91.8
316	24.8	96.7
317	24.1	99.6

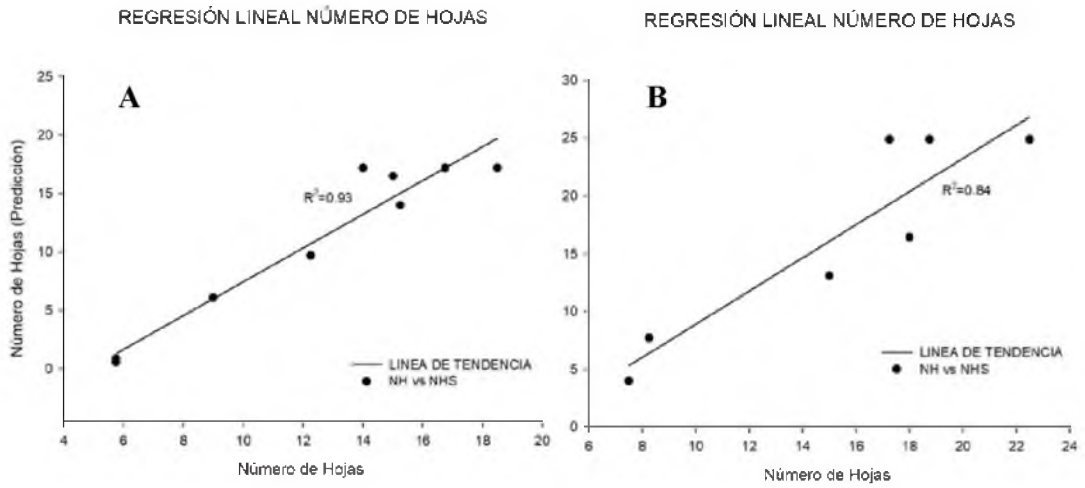
318	25.8	89.8
319	25.9	89.5
320	25.2	89.7
321	24.3	96.0
322	25.3	91.2
323	23.9	89.9
324	23.4	84.4
325	24.2	88.0
326	24.1	84.0
327	22.3	81.4
328	22.0	84.2
329	23.0	85.5
330	23.1	89.0
331	22.5	91.3
332	23.4	82.4
333	22.5	83.9
334	23.5	81.6
335	23.3	84.6
336	23.1	89.1
337	23.4	96.5
338	25.3	86.6
339	26.1	86.4
340	26.0	91.5
341	23.3	94.2
342	17.7	94.7
343	17.4	76.6
344	18.6	70.6
345	19.3	72.5
346	19.8	87.4
347	20.7	93.5
348	22.2	83.2
349	20.8	92.2
350	23.1	82.9
351	23.2	90.5
352	25.4	87.4
353	25.6	92.6
354	27.0	86.5
355	26.7	86.3
356	26.2	87.9
357	25.2	89.4
358	24.5	84.7
359	23.7	97.3
360	25.9	83.0
361	22.5	92.7
362	23.3	92.8
363	21.2	99.4

Temperatura y Humedad Relativa en condiciones de campo abierto.

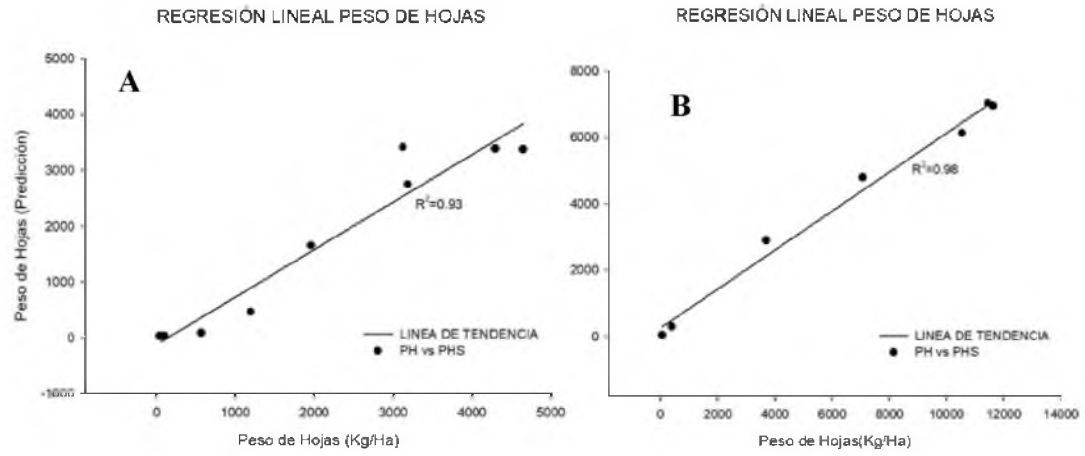
DIA JULIANO	Temp. MED (°C)	RH MED (%)
274	26.6	92.8
275	25.8	87.5
276	24.5	101.4
277	25.3	4.0
278	25.5	5.0
279	25.4	6.0
280	27.2	7.0
281	28.2	8.0
282	28.4	9.0
283	27.2	78.3
284	24.7	86.6
285	24.4	88.4
286	24.4	90.9
287	25.3	87.7
288	26.1	83.0
289	25.4	82.7
290	24.5	79.7
291	25.3	71.1
292	25.3	82.3
293	26.9	80.9
294	27.3	81.6
295	27.5	82.7
296	25.4	91.2
297	24.3	87.1
298	21.9	84.8
299	23.0	78.8
300	23.6	76.6
301	23.0	80.0
302	22.5	72.2
303	24.0	80.1
304	25.9	79.7
305	26.0	72.8
306	25.9	83.1
307	26.5	85.3
308	26.4	83.0
309	25.3	81.1
310	24.4	75.8
311	21.8	78.2
312	25.1	81.8
313	24.7	82.6
314	23.3	86.8
315	24.5	85.5
316	23.8	88.6
317	23.7	89.7
318	25.0	80.4
319	25.0	80.9

320	24.2	82.0
321	24.0	87.0
322	24.7	84.3
323	23.2	82.6
324	22.6	76.4
325	23.4	80.4
326	23.5	77.5
327	21.7	74.6
328	21.5	76.2
329	22.4	77.7
330	22.3	81.3
331	22.0	83.5
332	22.4	76.7
333	21.6	76.6
334	22.6	74.7
335	22.5	76.4
336	22.8	80.9
337	22.9	88.0
338	24.0	82.7
339	24.2	83.1
340	25.0	86.8
341	22.5	88.4
342	17.2	84.4
343	16.2	70.2
344	17.5	65.4
345	18.4	68.9
346	19.1	80.8
347	19.4	85.1
348	20.1	79.6
349	20.2	85.2
350	21.5	78.6
351	22.2	85.0
352	23.4	82.9
353	24.0	86.9
354	22.9	83.5
355	26.5	83.4
356	24.4	84.6
357	23.6	85.4
358	23.1	80.1
359	22.8	85.7
360	23.7	81.2
361	21.6	86.1
362	22.0	84.0
363	20.6	90.9

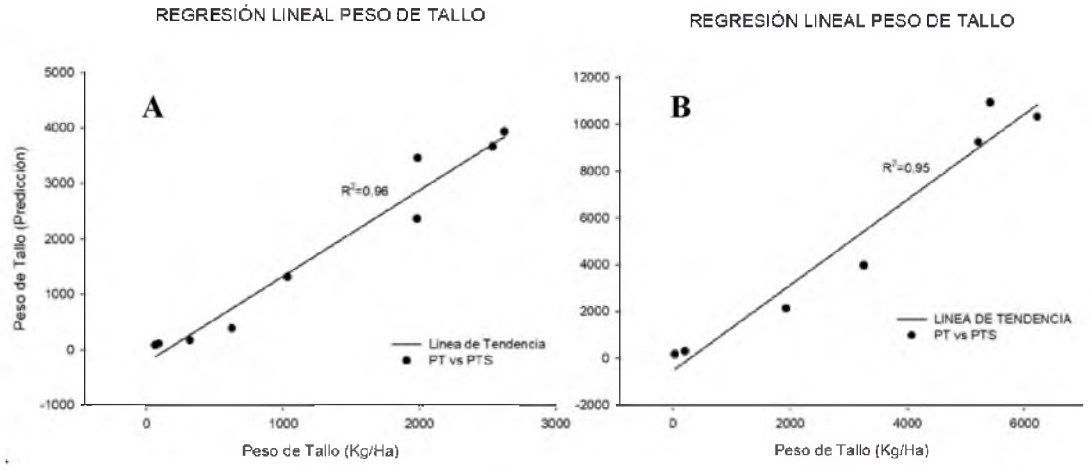
Apéndice 3 Gráficas de regresión lineal de variables de jitomate en campo abierto y casa sombra.



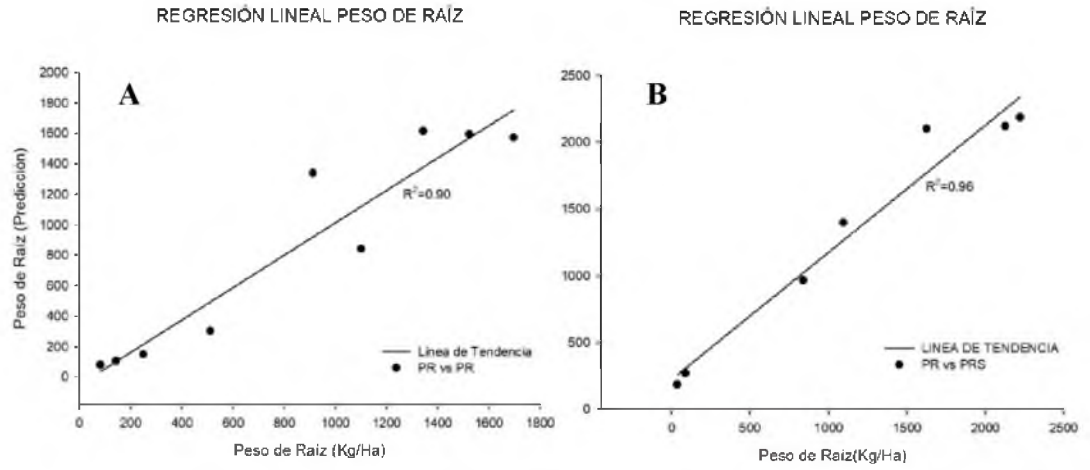
Gráfica 1 A) Ajuste para la variable número de hojas en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de jitomate



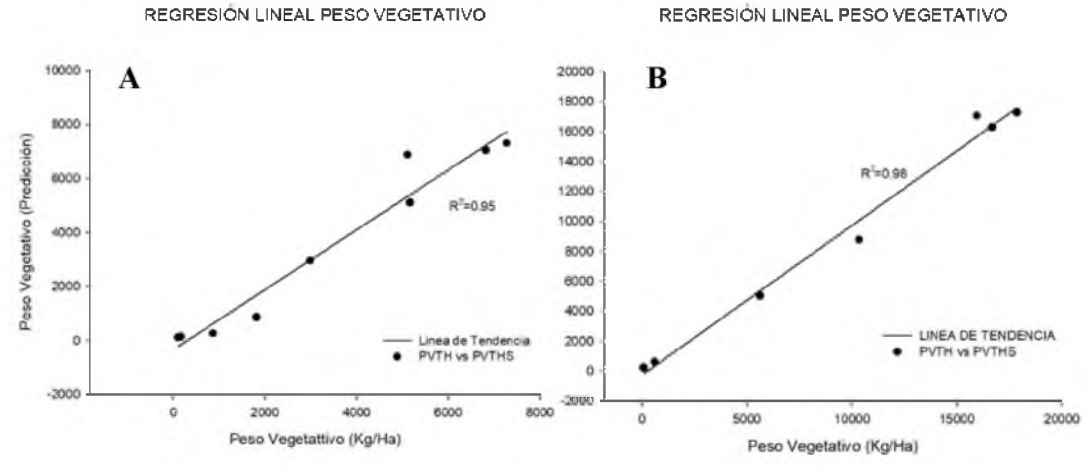
Gráfica 2 A) Ajuste para la variable peso de hojas en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de jitomate



Gráfica 3 A) Ajuste para la variable peso de tallo en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de jitomate.

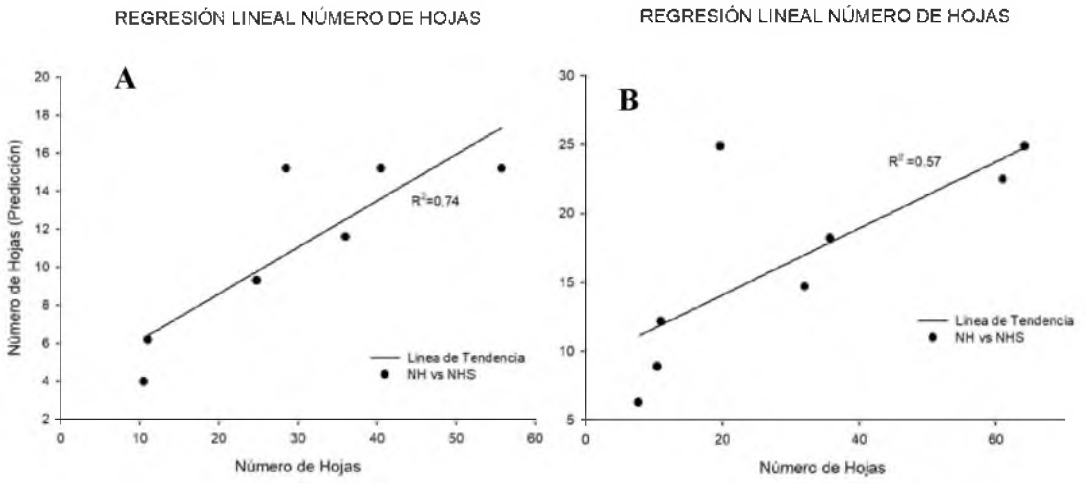


Gráfica 4 A) Ajuste para la variable peso de raíz en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de jitomate.

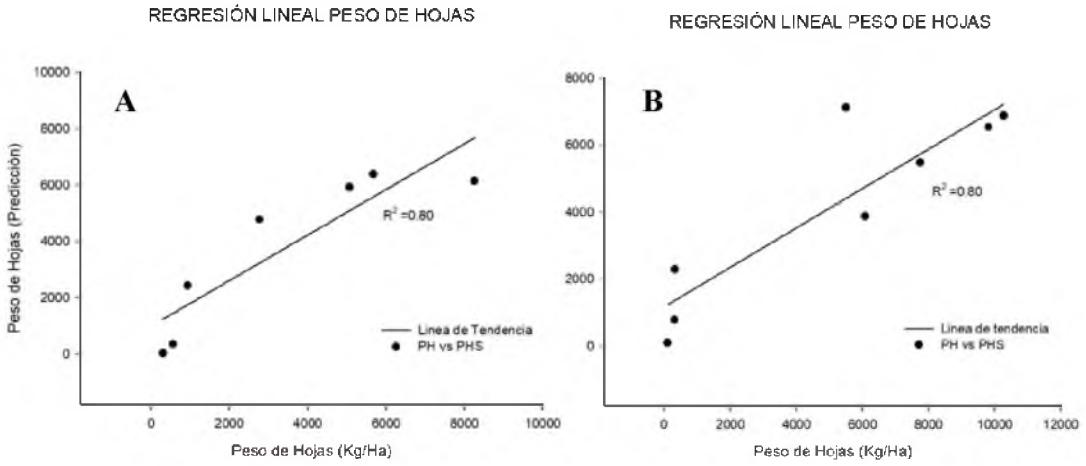


Gráfica 5 A) Ajuste para la variable peso vegetativo en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de jitomate.

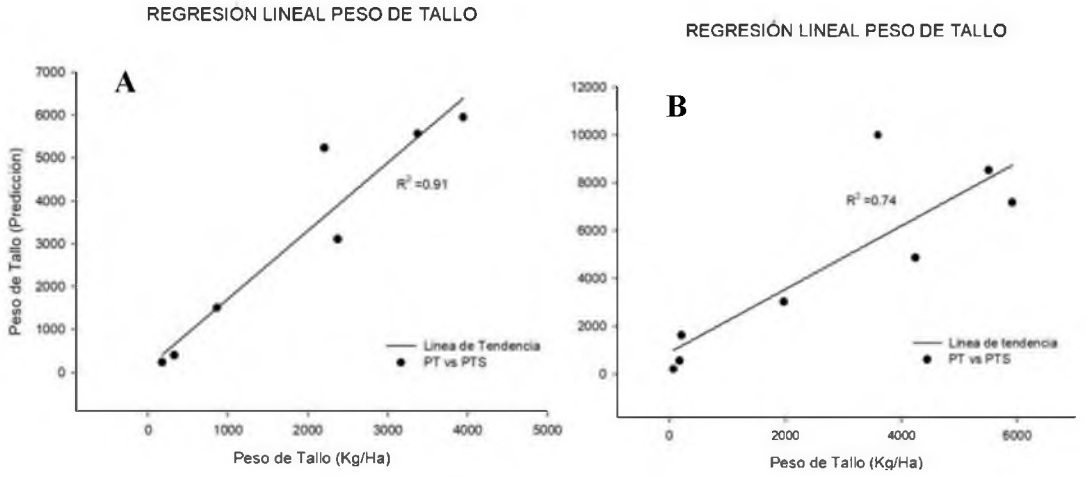
Apéndice 4 Gráficas de regresión lineal de variables de jitomate en campo abierto y casa sombra.



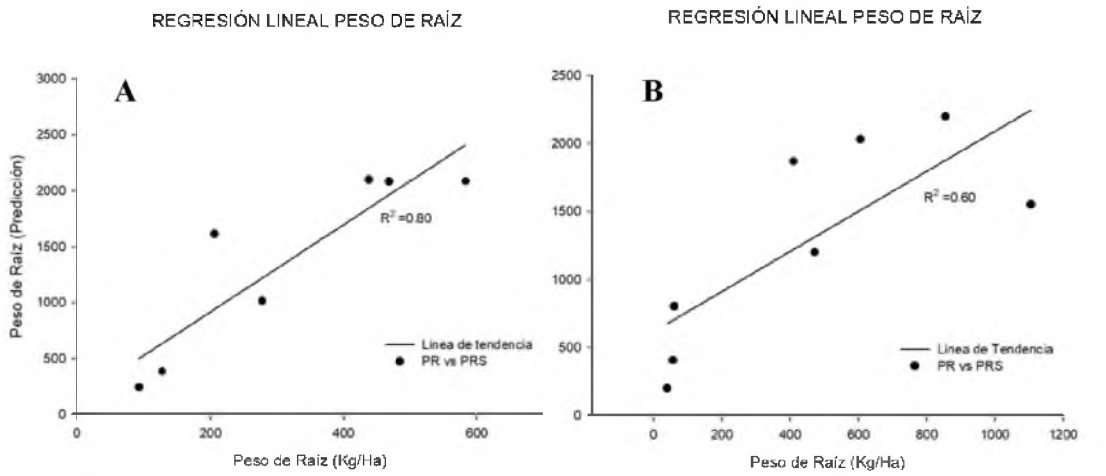
Gráfica 6 A) Ajuste para la variable número de hojas en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de pepino.



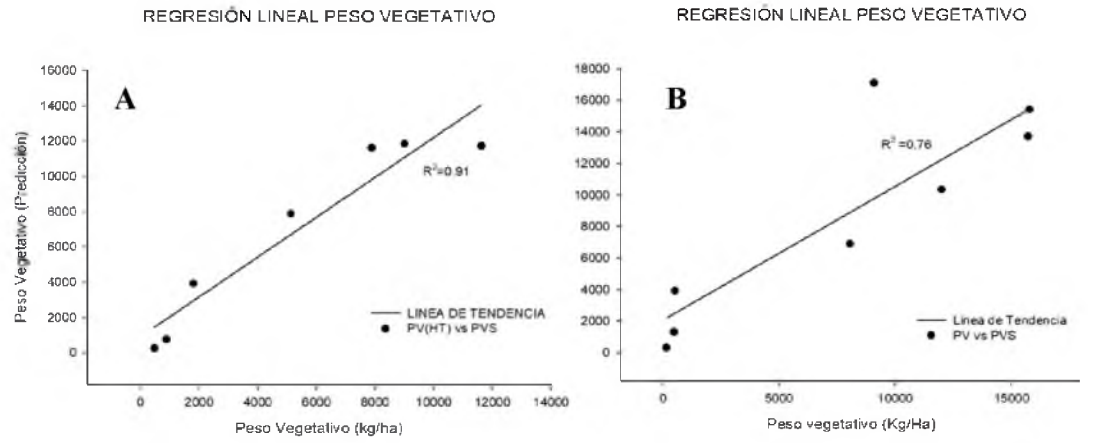
Gráfica 7 A) Ajuste para la variable peso de hojas en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de pepino.



Gráfica 8 A) Ajuste para la variable peso de tallo en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de pepino.



Gráfica 9 A) Ajuste para la variable peso de raíz en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de pepino.



Gráfica 10 A) Ajuste para la variable peso vegetativo en condiciones de campo abierto y B) Ajuste en condiciones de casa sombra en cultivo de pepino.

Apéndice 5 Evidencia fotográfica del desarrollo del trabajo experimental.

Figura 1 Siembra y emergencia de pepino y jitomate en charolas de germinación**.**

Figura 2 Desarrollo de plántulas de jitomate y pepino en charolas.

Figura 3 Trasplante de pepino y jitomate en condiciones de casa sombra y campo abierto.

Figura 4 Desarrollo de cultivo de pepino en condiciones de casa sombra y campo abierto.

Figura 5 Producción de pepino en condiciones de campo abierto y casa sombra.

Figura 6 Producción de jitomate en condiciones de casa sombra

Figura 7 producción de jitomate en condiciones de campo abierto.

Figura 8 Toma de datos en cultivo de jitomate y pepino

Apéndice 6 Participación en eventos de divulgación científica con trabajos derivados de esta investigación y relacionados con los cultivos desarrollados.

Universidad del Papaloapan

Cuerpos Académicos:
Producción Animal Sustentable
Cultivos y especies agropecuarias de la región del Papaloapan
Agrosistemas Integrales en el Trópico
Sistemas Agropecuarios Tropicales

Otorgan la presente

CONSTANCIA

a:

María del Carmen Antonio Luis, José Antonio Yam Tzec, Rogelio Enrique Palacios Torres, Ana Rosa Ramírez Seañez, Gabriela Díaz Félix

Como **PONENTE ORAL** del trabajo titulado **"Caracterización física de frutos de pepino (*Cucumis sativum* L.) en condiciones de casa sombra, campo abierto e invernadero"** en el marco del VI Foro de Producción Animal en el Trópico y II Foro de Agricultura Tropical, celebrados del 14 al 16 de noviembre de 2018 en las instalaciones de la Universidad del Papaloapan, *campus* Loma Bonita.

MC. Héctor López Arjona
Vicerrector Académico

VICE-RECTORIA ACADEMICA

Dra. Ana Rosa Ramírez Seañez
Agrosistemas Integrales en el Trópico
Responsable

MC. Raul Moreno de la Torre
CA. Cultivos y especies agropecuarias de la región del Papaloapan
Responsable

Dr. Miguel Ángel Sánchez Hernández
Sistemas Agropecuarios Tropicales
Responsible

Dr. Víctor M. Meza Villalvazo
Producción Animal Sustentable
Responsable

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

La Universidad de Guanajuato
otorga la presente

CONSTANCIA

A

Maria Del Carmen Antonio-Luis, Jose Antonio Yam-Tzec, Rogelio Enrique Palacios-Torres, Ana Rosa Ramirez-Seañez, Gabriela Diaz-Felix, Hipolito Hernandez-Hernandez y Alvaro Morelos-Moreno

Por la contribución con el artículo:

SIMULACIÓN DE CRECIMIENTO DE JITOMATE (Solanum lycopersicum) CON DSSAT EN CONDICIONES DE CASA SOMBRA

en al **XXVI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola (AMIA)**, celebrado en la División de Ciencias de la Vida del Campus Irapuato-Salamanca, los dias 25 al 27 de septiembre del 2019.

Irapuato, Gto. 27 de septiembre de 2019

Mtro. Adrián Flores Ortega
Director del Departamento de Ingeniería Agrícola

Dr. José Mario Mendoza Carrillo
Director de la División de Ciencias de la Vida

Mtro. Tomás Gaviño Muñiz
Presidente de la Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola (AMIA)

Dr. Jonathan Cepeda Negrete
Coordinador del Comité Organizador AMIA 2019

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

La Universidad de Guanajuato
otorga la presente

CONSTANCIA

A

MARÍA DEL CARMEN ANTONIO LUIS

Por la ponencia plenaria:

"SIMULACIÓN DE CRECIMIENTO DE JITOMATE (Solanum lycopersicum) CON DSSAT EN CONDICIONES DE CASA SOMBRA"

en el **XXVI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola (AMIA)**, celebrado en la División de Ciencias de la Vida del Campus Irapuato-Salamanca, los días 25 al 27 de septiembre del 2019.

Irapuato, Gto. 27 de septiembre de 2019

Mtro. Adrián Flores Ortega
Director del Departamento de Ingeniería Agrícola

Dr. José Mario Mendoza Carrillo
Director de la División de Ciencias de la Vida

Mtro. Tomás Gaytán Muñiz
Presidente de la Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola (AMIA)

Dr. Jonathan Cepeda Negrete
Coordinador del Comité Organizador AMIA 2019

La Universidad del Papaloapan

otorga la presente

VII FORO DE PRODUCCIÓN ANIMAL EN EL TRÓPICO

III FORO DE AGRICULTURA TROPICAL

CONSTANCIA

C. María del Carmen Antonio Luis

Por su participación en el marco del VII Foro de Producción Animal en el Trópico y III Foro de Agricultura Tropical con la Conferencia denominada: "**Simulación del crecimiento de pepino (*Cucumis sativus L.*) y jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) en condiciones de casa sombra y campo abierto**", llevados a cabo el día Viernes 13 de diciembre del 2019 en las instalaciones de la Universidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita.

INGENIERÍA AGRÍCOLA TROPICAL

Dr. Rogelio E. Palacios Torres
Jefe de carrera de la Ingeniería Agrícola Tropical

M.C. Héctor López Arjona
Vicerrector Académico

Dra. Tania Zúñiga Marroquín
Jefa de carrera de la Licenciatura en Zootecnia