



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN

**Comportamiento del rendimiento del jitomate bajo dos
condiciones diferentes de irradiación en invernaderos**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA AGRICOLA

PRESENTA:

LUCIA MEZA SALCEDO

ASESOR: Dr. Federico García Jiménez

COASESOR: C. a Dr. José Luís Sánchez Millán



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

Al jurado:

Ing. Miguel Ángel Bayardo Parra

Ing. Gustavo Ramírez Ballesteros

M.C. Elva Martínez Holguín

M.C. Juan Roberto Guerrero Agama

Dr. Federico García Jiménez

Por la revisión y sugerencias a la presente investigación.

Dr. *Federico García Jiménez* con admiración y respeto por ser la guía para la elaboración de esta investigación por la confianza depositada y los conocimientos dados.

Dr. *Ignacio Méndez Ramírez* por su contribución a la presente investigación.

Dr. *Agustín Muhlia Velázquez* por su apoyo incondicional a la presente investigación.

C a Dr. *José Luis Sánchez Millán* por el apoyo recibido. Gracias mil.

Dra. Ofelia Collera por su apoyo, con admiración

Al Instituto de Química: Al personal docente, administrativo y trabajadores por el apoyo brindado

Al Instituto de Geofísica por el apoyo brindado

A M.C. *Ana María Martínez García* por acompañarme en este proceso y no dejarme a la deriva, por su paciencia, enseñanza y amistad. Gracias por todo.

A mi esposo **Gerardo Sierra Juárez** por que me has favorecido al brindarme parte de tu vida, con tu amor y sobre todo para que logre mi superación como mujer y profesionista por tu apoyo y comprensión.

A mis hijos **Gerardo Iván y Ángel de Jesús Sierra Meza** como un estímulo para que se superen en la vida, por el apoyo y amor con que siempre han llenado mi vida.

A mis padres **Vicente Meza Cortes y Lucina Salcedo Hernández** con el respeto y admiración que han sabido inculcar en mí, por que todos sus sacrificios no han sido en vano, gracias por alentarme en el camino de mi vida por su ejemplo y apoyo.

A mis hermanos: **Delia, Sergio, Eva, Hortensia, Carmen** por su apoyo.

A mis sobrinos: **Violeta, Jessica, Guillermo, Montserrat, Cesar, Nirvana, Kaisa**

A la Treceava Generación de Ingeniería Agrícola por su enseñanza.

A mis amigos: Araceli, Emilio, Gustavo, Rosa, Jaime R., Ángeles, Fidencio, Juan, Ángel, Sebastián, Alejandro, Gilberto B, Adrián, Jaime V, Sergio, Gerardo V.

A Edmundo Nava Mota Álvarez que en paz descanse, por su enseñanza.

“El esfuerzo que hacemos diario por educar a los jóvenes; es un esfuerzo maravilloso e importante por lo tanto se debe realizar con gusto este compromiso”

AMEN

Contenido	Página
Índice	a
Índice de cuadros en el texto	c
Índice de cuadros en el anexo	d
Índice de figuras en el texto	e
I Introducción	i
II Objetivos e hipótesis	
III Marco Teórico	1
1 Importancia agrícola y económica del jitomate	1
2 Fenología del cultivo	2
2.1 Cultivar Río Grande	4
3 Radiación solar	5
3.1 Estudio de la radiación óptica (luz)	6
3.2 Unidades de la energía luminosa	7
3.3 Unidades de la energía radiante	10
3.4 Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA)	12
4 Fotosíntesis	13
5 Fotorespiración	16
6 Fotoinhibición	17
7 Invernaderos	18
7.1 Condiciones ambientales en invernadero para el cultivo del jitomate	18
7.2 Producción de jitomate en invernadero	21
7.3 Energía radiante en los invernaderos	22
7.4 Material de cobertura en invernaderos	24
7.4.1 Película de polietileno	25
7.4.2 Vidrio	25

	Página
7.5 Flujo radiante	26
8 Respuesta a la energía radiante en el desarrollo del cultivo del jitomate	27
9 Niveles óptimos de radiación visible para el cultivo de jitomate	29
10 Rendimiento	30
10.1 Componentes del rendimiento	30
10.1.1 Fuente de asimilados para el crecimiento del fruto	32
III Objetivos e hipótesis	33
IV Materiales y métodos	34
4.1 Localización del estudio de las dos cohortes	34
4.2 Descripción de los invernaderos	34
4.3 Contenedores y sustratos	35
4.4 Material vegetativo	35
4.5 Diseño de estudio de las dos cohortes	35
4.6 Análisis estadístico	37
4.7 Manejo agronómico	37
4.8 Variables de estudio	39
V Análisis y discusión de resultados	40
VI Conclusiones	52
VII Sugerencias	54
VIII Bibliografía	55
IX Anexos	62

Índice de cuadros en el texto

Cuadro		Página
1	Temperaturas óptimas a diferentes intensidades luminosas para el cultivo de jitomate	20
2	Rendimiento y costos de producción del jitomate	22
3	Porcentaje de transmisividad en invernaderos	22
4	Solución nutritiva	38
5	Interacción de la irradiación y RFA con el comportamiento fenológico del jitomate	41
6	Correlación de RFA y el rendimiento del cultivo de jitomate	45
7	Valores de la media obtenida en las variables de estudio en las dos cohortes	46

Índice de anexos

Anexo	Página	
A1	Nociones preliminares	62
A2	Datos de irradiación solar y RFA en población I	64
A3	Datos de irradiación solar y RFA en población II	66
A4	Datos de diámetro, altura y peso fresco de cada uno de los frutos en la cohorte de plástico	68
A5	Datos de diámetro, altura y peso fresco de cada uno de los frutos en la cohorte de vidrio	72
A6	Correlación entre el número de días y la RFA	75
A7	Correlación entre el rendimiento/ corte	75
A8	Rendimiento / planta en cada uno de las cohortes	76
A9	Análisis de varianza	77
A10	Datos de temperatura en las dos cohortes	

Índice de figuras en el texto

Figuras		Página
1	Principales etapas fenológicas	3
2	Correlación entre la irradiación y RFA en la población I	42
3	Correlación entre la irradiación y RFA en la población II	42
4	Rendimiento por planta en cada una de las dos cohortes	51

Introducción

Para lograr grandes niveles de producción de jitomate por unidad de superficie se utiliza el sistema de producción en invernaderos. En un invernadero son factores clave la intensidad y la calidad de la radiación (balance espectral) ya que modifican la temperatura interna y las respuestas morfológicas y fisiológicas de las plantas, dentro de un invernadero la cantidad de radiación que llega es menor que en el exterior debido a la reflexión y absorción del material de cubierta, este efecto depende del porcentaje de transmisividad, el cual varía a lo largo del año debido al distinto ángulo de incidencia de los rayos solares y a la acumulación de polvo en la cubierta de los invernaderos.

Según Geiger y Servaites (1994), Lee et al (2000) y Tognoni (2000) la radiación solar actúa como un factor determinante para el crecimiento y desarrollo de las plántulas de cultivo del jitomate ya que variaciones en la tasa de fluencia y distribución espectral (cantidad, calidad y duración) dan lugar a cambios bioquímicos en los sistemas de captura de radiación solar así como de la composición química de los tejidos y en los esquemas de desarrollo de la planta que finalmente alteran la distribución de biomasa hacia las hojas.

Con respecto a la transmisividad en los invernaderos, Cockshull et al (1992) menciona que del 100% de la radiación solar que incide en los invernaderos aproximadamente el 58% penetra al interior del invernadero en los meses de enero y febrero atribuyéndolo entre otros aspectos, al ángulo de incidencia de los rayos solares y nubosidad así como a pérdidas por reflexión y absorción de los materiales de la cubierta. Por otro parte Krug (1997) menciona una penetración de la radiación solar del 50 a 70%. Otros autores consideran que el porcentaje de transmisividad en invernaderos es menor por ejemplo: Cerny et al (1999) citan reducciones de 25 a 35 % pero sin especificar las características de la cubierta. Sin embargo Pérez y Castro (1999) consideran que se debe contar con la máxima

disponibilidad de energía radiante; Por ello es importante emplear cubiertas transparentes como vidrio o polietileno, para cubrir los invernaderos; aunque el vidrio permite mayor paso de radiación solar (90%). Los mismos autores señalan que el polietileno transparente es más utilizado en México por razones económicas y prácticas pero no hay muchos datos, acerca de la reducción en intensidad radiante. Tognoni (2000) señala que del 100 % de radiación solar, sólo 65% a 70% penetra al interior del invernadero.

De la totalidad de radiación solar solo una pequeña parte, llamada radiación fotosintéticamente activa (RFA), es utilizada por las plantas para fotosintetizar y producir biomasa. No obstante Mc Avoy y Janes (1990) en plántulas de tomate consideran que $300 \mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$ es una RFA alta para fotosíntesis y $150\mu\text{m m}^{-2}\text{s}^{-1}$ es baja. Velasco y Nieto (2005) señalan que es importante que la cubierta de invernadero permita por lo menos el (70%) de radiación solar, de lo contrario la radiación fotosintéticamente activa (RFA) disminuye considerablemente, creando problemas de elongación de entrenudos, follaje muy abundante y al mismo tiempo disminución en la producción. Los datos antes mencionados implican la necesidad de investigar este punto con más detalle.

En el presente trabajo se evaluó y determinó el efecto de la transmisividad de los materiales: plástico y vidrio en invernaderos así como el comportamiento del rendimiento del jitomate cultivar Río Grande en donde no se modificó en forma artificial la radiación solar solo la cubierta del invernadero (vidrio y plástico) que tienen diferentes propiedades que influyen en el desarrollo del cultivo del jitomate, debido a que el material de cubierta modifica la radiación absorbida, lo que se traduce en una disminución de la radiación en el caso de los invernaderos de plástico, incidente sobre el cultivo, y dejando abierta la pregunta ¿Hay una disminución o aumento o no hay cambio en la producción? por ello aquí también se hace una revisión de las unidades de medición de la radiación solar y la luz.

Los componentes del rendimiento evaluados fueron altura de planta, número de flores, número de abortos, número de frutos, así como diámetro, altura, peso fresco y seco del fruto, siendo estas las variables dependientes, y como variables independientes la irradiación solar, radiación fotosintéticamente activa (RFA) y la temperatura. Este estudio fue diseñado mediante dos cohortes, Méndez (1983, comunicación personal 2005, 2007).

II Objetivos e Hipótesis

Objetivo General.

-Evaluar el efecto de la transmisividad de dos materiales (plástico y vidrio) en el rendimiento del cultivo de jitomate en invernaderos.

Objetivos Particulares

-Determinar el efecto de la radiación óptica al interior de dos invernaderos (con una cobertura plástico y una de vidrio) sobre la fenología, altura de planta, número de flores, número de abortos, número de frutos así como diámetro, longitud y peso fresco de cada uno de los frutos del cultivo del jitomate.

-Correlacionar la radiación fotosintéticamente activa (RFA) con el comportamiento del rendimiento de jitomate bajo dos condiciones de irradiación en invernadero.

Hipótesis

El rendimiento del cultivo de jitomate en un invernadero puede ser favorecido empleando materiales de cubierta que sean transparentes a las radiaciones solares para ciertas regiones espectrales y con determinada intensidad.

III Marco Teórico

1 Importancia agrícola y económica del jitomate

El jitomate es una de las especies hortícolas más importantes para el consumo humano, misma que genera importantes ingresos, empleos y un alto valor nutritivo para la dieta. De acuerdo a Pérez y Castro (1999) en México se producen distintos tipos de jitomates, según sus características y mercados de consumo: jitomate “cherry” para mercados selectos nacionales y extranjeros; jitomate bola, que puede ser cortado en alguna tonalidad de rojo o verde maduro y jitomates industriales (roma, saladette, y otros). Aunado a la importancia estrictamente económica del jitomate, este cultivo representa una de las fuentes de empleo rural más importante en México, dado el carácter intensivo en el uso de la mano de obra que lo caracteriza. Muñoz (1995) estima que en la producción de jitomate se emplean aproximadamente a 172 289 trabajadores para el cultivo de 75 000 ha. y ocupa el primer lugar en superficie cosechada y el nivel más alto en jornales demandados por hectárea (se reportan alrededor de 120 jornales-hectárea). SAGARPA (2004) da a conocer que en el año agrícola 2004 se sembraron 131 372 hectáreas con una producción de 11 568 534 toneladas. En este anuario se da conocer que los principales estados productores de jitomate para el 2004 son: Sinaloa, Baja California Sur, Baja California y Sonora. Cabe destacar la importancia del estado de México en el rubro de superficie sembrada en invernadero y en el cultivo de jitomate bola.

Namensy (2004) y Salukhe (2004), señalan que el valor nutricional del tomate se basa en una combinación equilibrada de antioxidantes (vitamina C, carotenoides y flavonoides), minerales (altos niveles de potasio y zinc), un alto contenido en ácido fólico y un bajo nivel

de grasas. Sin embargo, la cualidad más importante es el poder antioxidante, ya que posee licopeno que, junto con las vitaminas y los minerales reducen el riesgo de contraer cáncer.

2 Fenología del cultivo de jitomate

Rodríguez et al (2001) y Flores (2005) señalan que el ciclo biológico cambia con el genotipo y con los factores del clima; es decir, que las plantas del mismo genotipo sembradas bajo diferentes condiciones climáticas pueden presentar diferentes estados de desarrollo después de transcurrido el mismo tiempo cronológico, por lo que cada vez cobran mayor importancia el uso de escalas fenológicas que permiten a la vez referirse a las observaciones y prácticas de manejo del cultivo en una etapa de desarrollo determinado.

Dado que el producto final de un cultivo no es sino la consecuencia de un proceso derivado de las actividades agrícolas efectuadas durante todo el ciclo, para los investigadores y productores se hace necesario el conocimiento de la fenología agrícola y la posible duración de las diferentes etapas (Figura 1).

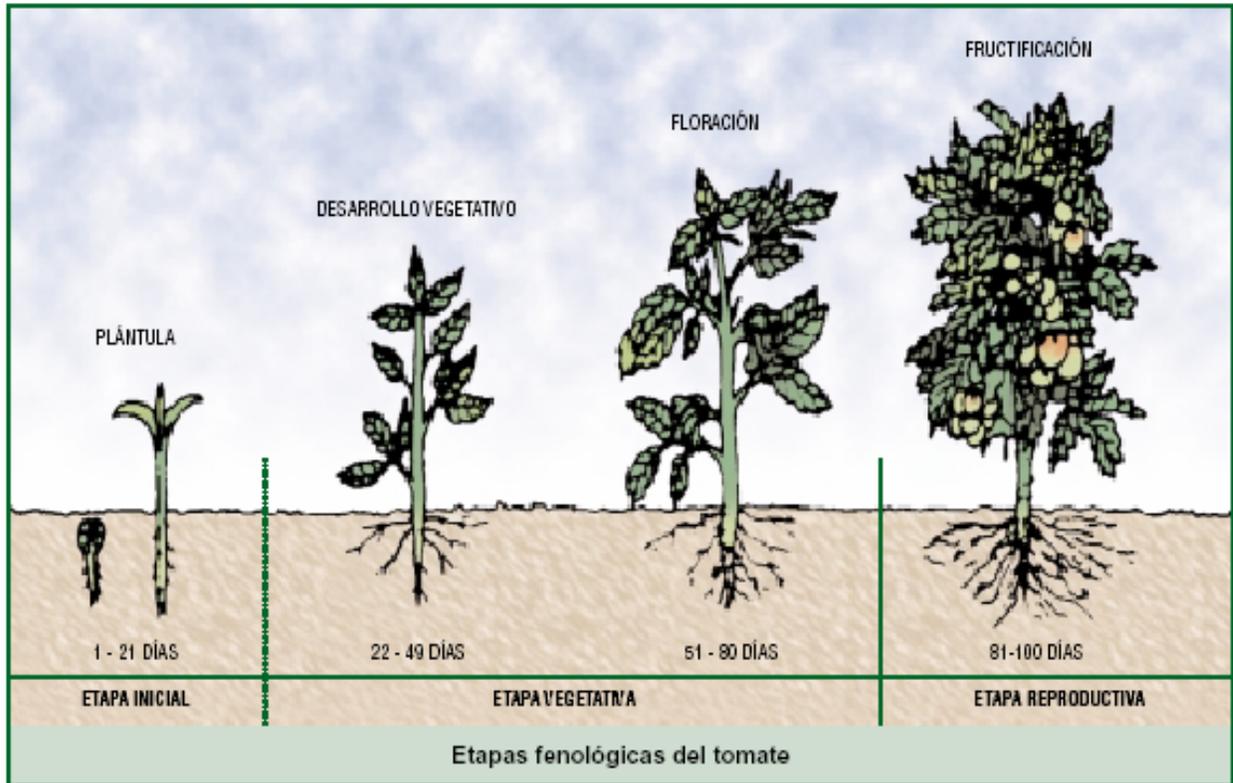


Fig. 1 Principales etapas fenológicas del jitomate (CENTA, 2003).

Fase: Es la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales. Por ejemplo: La emergencia de plantas pequeñas, la brotación de la vid, la floración del manzano son fases fenológicas.

Etapa: Una etapa fenológica esta delimitada por dos fases sucesivas. Dentro de ciertas etapas se presentan periodos críticos, que son el intervalo breve durante el cual la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado fenómeno, de manera que las oscilaciones en los valores de estos fenómenos meteorológicos se reflejan en el rendimiento del cultivo, estos periodos críticos se presentan generalmente poco antes o poco después de las fases, durante dos o tres semanas. El comienzo y fin de fases y etapas sirven como medio para juzgar la rapidez del desarrollo de las plantas.

2.1 Cultivar Río grande

León (2003) señala que la variedad Río grande es de origen Norteamericano, de tipo crecimiento determinado (es decir que son de porte bajo y de producción precoz, se caracterizan por la formación de inflorescencias en el extremo apical, las flores aparecen cada una o dos hojas y la primera inflorescencia aparece después de 6 a 7 hojas) , follaje frondoso, folíolos de tipo ancho, algo lobulados con color verde medio por lo que es apta para el cultivo en suelo; dado que la maduración es concentrada se puede realizar la cosecha mecánicamente. Produce frutos redondeados y achatados en los polos, de superficie lisa, de tamaño mediano, la viscosidad relativa del extracto es mediana entre 4.5 a 5.6 ° Brix, pesando de 95 a 105 gr. por fruto; color blanquecino antes de la madurez y la pulpa es roja en estado maduro, tiene una longitud de 60 a 70 mm y grosor algo menor, es resistente a *Alternaria* y tolerante a *Fusarium*, *Verticilium* y *Stemphylium*. Generalmente con 70 días a la maduración. Se destina al mercado en fresco y es adecuado para un huerto familiar. Rodríguez et al (2001) consideran que este cultivar es comercial con fruto tipo “pera” que tiene un ciclo aproximado de 90 a 95 días hasta el primer corte con un rendimiento aproximado de 28 a 30 t/ha.

De acuerdo al anuario estadístico de SAGARPA 2004 esta variedad fue utilizada en los estados de Baja California y Michoacán con una superficie sembrada de 5 170 ha y 147 ha respectivamente y arrojando una producción de 257 484 toneladas y 14 974 toneladas respectivamente.

3 Radiación solar

La fuente primaria de energía para la fotosíntesis y la bioproductividad es la energía solar. Díaz (2002) considera que las plantas interceptan energía solar para la fotosíntesis y la convierten en energía química, pero normalmente se emplea menos del 5% en este proceso y la temperatura también se correlaciona con la energía solar a la que están ocurriendo los procesos fisiológicos. La cantidad y calidad de radiación solar que recibe una planta se ve atenuada por diversos factores al entrar a la atmósfera de la tierra ya que puede ser dispersada, reflejada o absorbida por diversos objetos o materiales.

La energía radiante emitida por el sol se propaga en todas direcciones del espacio; esta energía se propaga desde su salida del sol y llega a la superficie terrestre como ondas electromagnéticas. Esta energía emitida por el sol se mide en longitud de onda, que es la longitud que tiene la onda de propagación entre dos puntos consecutivos situados en un mismo eje. Hall y Rao (1983) mencionan que el sol irradia energía que comprende a todo el espectro electromagnético, pero la atmósfera sólo es transparente a parte de la radiación infrarroja, ultravioleta y a la radiación óptica (luz visible).

Serrano (1977) señala que el espectro solar puede dividirse en tres regiones principales de las cuales la más importante para las plantas y animales es la que contiene longitudes de onda entre 740 a 400 nm. Esta banda de ondas es conocida como radiación visible (luz). En este espectro se lleva a cabo la acción de la radiación óptica (luz) sobre la fisiología vegetal (fototropismo, fotosíntesis, inversión de la reacción fotoperiódica (-inhibición de la germinación de la semilla-) y reacción fotoperiódica (fomento de la germinación de la semilla). En este espectro la fotosíntesis se realiza utilizando radiaciones en el azul-verde-amarillo-naranja y rojo (entre 4000 y 7400 Angstroms); el fototropismo se ve influenciado

por las radiaciones violeta-azul y verde (4000 a 4900 Angstroms); la inhibición de la germinación de la semilla ocurre entre el rojo e infrarrojo corto del espectro (6600 a 8000 Angstroms); la germinación de la semilla se incrementa entre 5400 y 6800 Angstroms.

Blackwood et al (1975), Bueche (1977) y Hewitt (1999) señalan que las ondas electromagnéticas con longitudes de onda menores de 390 nm se conocen como radiación ultravioleta. Estas ondas tienen sólo efectos menores sobre las plantas, ya que en condiciones naturales son absorbidas principalmente por las moléculas de ozono y oxígeno en la atmósfera. Todos los rayos ultravioleta que alcanzan las superficies de las plantas son absorbidos por la epidermis, de tal modo que tienen poco efecto sobre los procesos metabólicos. Las longitudes de onda superiores a 800 nm se conocen como radiación infrarroja. Esta banda de radiación se divide en radiación infrarroja cercana en donde se consideran longitudes de onda máxima de 3000 nm la mayor parte de esta radiación es absorbida por las moléculas de bióxido de carbono y vapor de agua de la atmósfera e infrarroja lejana en donde se consideran radiación de longitud de onda que superan los 3000 nm, estas se reflejan al espacio a través de la atmósfera, aunque pueden ser atrapadas por los gases con efecto de invernadero (H₂O, CO₂, fluorocarburos, etc.)

3.1 Estudio de la radiación óptica (luz)

Existen términos que son frecuentemente confundidos en el estudio de la radiación óptica (luz): radiometría, fotometría y radiación fotosintéticamente activa (RFA) y que debemos aclararlos para tener una mejor comprensión de este fenómeno. De acuerdo a Biggs (1984), Sanjay y Morgan (2003) el término de radiometría se utiliza cuando estamos midiendo la energía de radiación con el fin de realizar un análisis espectral y de fotosíntesis y la

fotometría es cuando estamos interesados en los aspectos visuales del estímulo de la energía en la gama visible 400 nm - 740 nm (más que una respuesta de organismos fotosintéticos) es decir en alumbrado de áreas con el uso de focos, velas, lámparas pantallas de televisión y cine, etc. La radiación fotosintéticamente activa señala la gama espectral de la energía solar a partir de 400 a 740 nm que es útil a las plantas terrestres en el proceso de la fotosíntesis. Hay que tener en cuenta que la respuesta del ojo humano es muy diferente al de las celdas fotosintéticas

3.2 Unidades de la energía luminosa

Debido a la velocidad y la longitud de onda, en la cual actúa la fotometría, radiometría y radiación fotosintéticamente activa (400-740 nm), así como la diversidad de aparatos utilizados para la medición de intensidad lumínica y debido en gran parte a la ley de la conservación de la energía que enuncia que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma de un tipo a otro, se han generado muchas unidades de medida de la energía radiante. A continuación se presenta una reseña histórica de la evolución de las unidades de medición del sistema inglés que, aunque es obsoleto, se sigue utilizando. El flujo luminoso (la luz), la intensidad y la irradiancia tienen unidades especiales. Esto se debe a que la luz fue la primera radiación electromagnética que se estudió, ya que sólo se conoció en época muy reciente de la historia de la física, que el ojo responde solamente a una pequeña porción del espectro electromagnético.

En una época, los hombres de ciencia usaban una vela de cera, de estructura cuidadosamente prescrita, como patrón de la intensidad luminosa. En 1919, se escogieron varias lámparas eléctricas incandescentes y se determinaron sus intensidades luminosas

cuando se operaban a ciertos voltajes especificados. Esas lámparas cuidadosamente protegidas, como el kilogramo patrón y el metro patrón, se usaron ocasionalmente para comparar con otras fuentes luminosas que son los patrones secundarios. Esos patrones prácticos de intensidad luminosa no eran satisfactorios porque las lámparas estaban expuestas a sufrir desperfectos, o bien, a cambiar sus propiedades de emisión de luz al transcurrir el tiempo. Esta dificultad se evitó mediante una nueva definición que se autorizó en 1940: La unidad de intensidad luminosa, que se llama bujía patrón internacional, es la sesentava parte de la intensidad luminosa de una fuente tipo “cuerpo negro”, de un centímetro cuadrado de área a la temperatura del punto de fusión del platino ($1\ 755\ ^\circ\text{C}$). Esta definición se utiliza por algunos autores como Blackwood et al (1975), Bueche (1977) y Bueche (1991). Habiendo definido la unidad de intensidad luminosa como la bujía patrón internacional, se definirá a la unidad de flujo luminoso —el lumen—. Blackwood et al (1975) Es una unidad conveniente en ingeniería de iluminación. Supóngase que una fuente patrón “punto” de 1 bujía está en el centro de una esfera hueca de radio 1 de pie que tiene una ventana de $1\ \text{pie}^2$ de área. Entonces la luz sale por la abertura a razón de 1 lumen. La superficie de la esfera tiene un área $4\ \pi$ veces la de la ventana. Llamemos “I” la intensidad luminosa de la fuente, entonces el flujo luminoso total, transmitido a través de la esfera, es $4\ \pi I$ lúmenes.

La luz obedece la ley de la irradiancia de fuente-punto del inverso de los cuadrados. Ahora bien, el flujo luminoso por unidad de área se llama generalmente iluminación o iluminancia. La iluminación se expresa en lúmenes·pie⁻²; pero también se expresa a menudo en pies-bujías. Un pie-bujía es la iluminación de una superficie que en todos sus puntos está a un pie de una fuente punto cuya intensidad es de una bujía. El nombre pie-

bujía está mal utilizado, porque la iluminación disminuye al aumentar la distancia. Una mejor expresión sería bujía por pie cuadrado. Un pie-bujía es una bujía por pie cuadrado.

Actualmente y en términos fotométricos comenzaremos con un término denominado flujo luminoso que es señalado por Sanjay y Morgan (2003) como la cantidad de radiación que viene de una fuente en un área por unidad de tiempo, evaluado en términos de una respuesta visual estandarizada, que se mide en lúmenes, candelas, lux o bujías.

Hewitt (1999) define a la intensidad luminosa como la cantidad de luz que emiten los cuerpos luminosos. La unidad de medida de la intensidad luminosa en el sistema internacional de unidades es la candela y en el sistema cegesimal la bujía. De acuerdo a Blackwood et al (1975) y Bueche (1977), la candela (cd) es un $1/60$ de la intensidad luminosa que emite 1 cm^2 de un cuerpo negro (es un objeto ideal que absorbe toda la incidencia de luz que cae sobre él) a la temperatura del punto de fusión de platino (1775°C) Otra unidad es el lumen (lm) Aldrich y Bartok (1994), Biggs (1984), Nelson (1991) y Ryer (1997) y lo define como el flujo luminoso recibido durante un segundo por una superficie de un metro cuadrado, limitada dentro de una esfera de 1m de radio y en cuyo centro se encuentra una fuente con una intensidad luminosa de una candela, es decir una candela por m^2 .

La iluminación es una medida del flujo fotométrico por unidad de área o densidad de flujo visible. La iluminación es típicamente expresada en otra unidad denominada lux ($\text{lx} = \text{cd}\cdot\text{m}^{-2} = \text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$) que es definida por Biggs (1984) como la iluminación producida por una candela o una bujía sobre una superficie de un metro cuadrado que se encuentra a un metro de distancia o un lumen por metro cuadrado. Otras unidades de medida que se siguen utilizando pero que son obsoletas son: la fotocandela (fc) y el pie-bujía. En el

sistema cegesimal Ryer (1997) determina que la iluminación de una superficie, que en todos sus puntos está a un pie de una fuente punto cuya intensidad es de una bujía, se le denomina Pie-bujía.

Nelson (1991) y Serrano (1977) mencionan que para medir la longitud de onda de la radiación se utiliza la mil millonésima parte de un metro, es decir el nanómetro (nm). Serrano (1977) señala también que la longitud de onda se puede medir en la décima parte de la milimicra, es decir la diezmillonésima parte del milímetro denominado como Ångstrom (Å)

3.3 Unidades de la energía radiante

En base a la teoría del quantum o teoría cuántica que enunció en 1900, Max Planck estableció la teoría de que la transferencia de energía de radiación en el interior de un cuerpo caliente implica “unidades” discretas de energía llamadas cuantos. La teoría cuántica de Planck puede expresarse matemáticamente según: $E = h\nu$, en donde E es la energía de un cuanto de radiación, ν es la frecuencia de la radiación (frecuencia es el número de ondas que se transmiten en la unidad de tiempo), y h es una constante. La constante de Planck (h) tiene las dimensiones del producto de energía por tiempo y su valor en el sistema c.g.s. es $6,626 \times 10^{-34}$ Joule por segundo (Js). La teoría de Planck propone que un oscilador de frecuencia fundamental (ν) incrementa su energía en $h\nu, 2h\nu, 3h\nu \rightarrow nh\nu$, pero no podría hacerlo en un número inferior a un múltiplo entero de la energía de un cuanto. Cinco años más tarde, Albert Einsterin, extendió la teoría de Planck a la radiación y propuso que la energía radiante no se transmite como un rayo continuo, sino únicamente en unidades discretas o cuantos. La energía de un cuanto de luz o fotón es el

producto de la frecuencia de la radiación por la constante de Planck, es decir $E=h\nu$. Dado que la frecuencia está relacionada inversamente con la longitud de onda, se deduce que los fotones de longitud de onda pequeña tienen más energía que los de longitud de onda grande, o sea los fotones de radiación azul de un extremo del espectro tienen más energía que los de radiación roja del otro extremo. Las unidades de energía radiante se definen como un mol de fotones. De acuerdo a Biggs (1984), Hall y Rao (1983) (2001) un Einstein (E) es la energía total de los fotones absorbidos por un mol de un compuesto y de aquí se deriva el microEinstein que es la millonésima parte de un Einstein (μE). Por lo tanto $1 \text{ mol} = 1 \text{ Einstein} = 6.022 \times 10^{23}$ fotones.

Otra unidad utilizada es el $\text{Watt}\cdot\text{cm}^{-2}$ en el uso de la radiación solar y de acuerdo a Bueche (1991) esta es una unidad de potencia en una unidad de área, pero según Ryder (1997) es la irradiación medida del flujo radiométrico por unidad de área o por densidad de flujo. La irradiación es típicamente expresada en $\text{Watt}\cdot\text{cm}^{-2}$ o $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

La energía de los fotones según Hall y Rao (2001) puede expresarse en electrón volts. Un electrón volt, eV, es la energía que necesita un electrón cuando pasa a través de un potencial de 1 volt, y ésta equivale a 1.6×10^{-19} joules. Si 1 mol de una sustancia adquiere una energía media de 1 eV, la energía total del mol ($6,023 \times 10^{23}$ moléculas) resulta ser de 9.64×10^4 joules. La energía radiante que reciben los cuerpos, es decir la irradiación, depende de dos factores: la intensidad de la energía radiante y la distancia a que se encuentra el objeto irradiado debido al efecto de dispersión en todas direcciones de una fuente luminosa.

3.4 Radiación fotosintéticamente activa (RFA) y sus unidades

La radiación óptica es la porción del espectro electromagnético que esta comprendida entre 380 a 800 nm. Hay dos teorías que describen a la energía radiante: la teoría del quantum y la teoría electromagnética pero ambas confluyen. Sanjay y Morgan (2003) indican que según la teoría del quantum la energía radiante se transmite y se absorbe por partículas llamadas fotones y la teoría electromagnética indica que la energía radiante se propaga en forma de una onda electromagnética. Al régimen de la energía radiante se le llama flujo radiante, por ello la irradiación es considerada como la incidencia del flujo radiante por unidad de superficie ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

Las unidades para la RFA se pueden especificar en términos de la energía o en términos de fotones. En términos de energía la, RFA se expresa como la irradiación normal (energía total entre 400-740 nm).

Cuando la RFA está en términos de fotones se le llama “photosynthetic photon flux density” (PPFD) por sus siglas en inglés o “densidad del flujo de fotones fotosintéticamente activos” (DFFA) por sus siglas en español. Esto es una medida del número de los fotones entre 400-740 nm que son incidentes en una superficie por una unidad de tiempo (en este estudio las unidades utilizadas para DFFA son moles·día⁻¹). La cantidad de fotones se mide en Einsteins. En la práctica el PPFD ó DFFA se mide en μE o micromoles

La radiación fotosintéticamente activa también llamada RFA, señala la gama espectral de la radiación óptica a partir de 400 a 720 nm que es útil a las plantas terrestres en el proceso de la fotosíntesis. Los fotones con longitudes de onda más corta tienden a ser muy energéticos y pueden ser perjudiciales para las células y a los tejidos finos; en su mayor parte

afortunadamente filtrado en gran parte y absorbidos por la capa de ozono en la estratosfera. Los fotones con longitudes de onda más largas no llevan suficiente energía como para permitir que ocurra la fotosíntesis, y las plantas han logrado, con mil millones de años de evolución, la capacidad de dispersar estos fotones; por lo tanto, la reflexión del flujo radiante ultravioleta y la absorbancia (luz visible) son muy altos en hojas verdes vivas.

Hall y Rao (2001) consideran que una manera práctica de expresar la densidad de flujo de fotones fotosintéticos es utilizar el término $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ó $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Tesi (2001) menciona que en el jitomate, la fotosíntesis neta aumenta linealmente entre 60 y $100\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ de luz fotosintéticamente activa (RFA entre 400 y 740 μm) y alcanza los máximos valores entre 100 y $150\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, lográndose dichas condiciones desde el comienzo de la primavera al comienzo del otoño (aproximadamente a 100 000 lux) (ver anexo 1).

Sanjay y Morgan (2003) señalan que la clorofila (a y b) son los pigmentos más abundantes de la planta, y son las moléculas más eficiente en capturar radiación óptica roja y azul pero indiscutiblemente también participan los carotenos (en el azul) En opinión de horticultores la luz azul es la más importante para el crecimiento de la hoja y la radiación óptica roja estimula el florecimiento, esto coincide con efectos sobre el fitocromo.

4 Fotosíntesis

Hall y Rao (1983) indican que para que tenga lugar la fotosíntesis, los pigmentos de los tejidos de las plantas deben absorber la energía de un fotón de una longitud de onda determinada y posteriormente utilizar esta energía para iniciar la cadena de procesos químicos fotosintéticos. Por lo tanto, el fotón debe tener una energía determinada para

poder excitar a un solo electrón de la molécula del pigmento e iniciar la fotosíntesis. Hall y Rao (1983) indican que la fotosíntesis se satura a $1/5$ de la intensidad de luz solar plena (200 a $250 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$); sin embargo, esto varía dependiendo de la planta en cuestión.

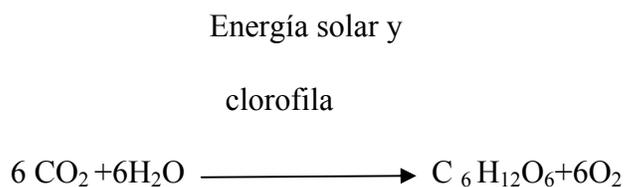
La eficiencia de la fotosíntesis en una planta depende de una serie de factores internos y externos. Los factores internos principales son la estructura de la hoja y su contenido en clorofila y carotenos así como la acumulación de los productos de la fotosíntesis en los cloroplastos, la influencia de las enzimas del protoplasma y la presencia de pequeñas cantidades de componentes minerales. Los factores externos son la calidad (distribución de energía en distintas longitudes de onda) y cantidad de la radiación óptica (luz) incidente en las hojas.

El aparato fotosintético es la parte de la célula foliar que contiene aquellos componentes que absorben luz y que canalizan la energía de las moléculas de los pigmentos excitados a una serie de reacciones químicas y enzimáticas.

Las clorofilas a y b y los carotenos son los pigmentos responsables de la captura de los cuantos de radiación óptica y son los que dan a las plantas su color verde característico y están alojados en un plastidio celular llamado cloroplasto. Los tres tipos principales de pigmentos que se encuentran en plantas son las clorofilas, los carotenoides y las ficobilinas, estas últimas participan en los procesos de regulación.

Anaya (1998) menciona que el proceso de la fotosíntesis puede almacenar al año más de un millón de billones de kilocalorías en forma de alimento.

La fotosíntesis puede resumirse en la fórmula:



Serrano (1977) señala que en la reacción de la fotosíntesis cada molécula-gramo de glucosa ($\text{C}_6 \text{ H}_{12} \text{ O}_6$), para ser fijada por la planta, requiere una energía solar equivalente a 674 000 calorías; es decir 180 gramos de glucosa para ser fijada por el vegetal necesitan una energía solar de 674 000 calorías. Hay que tener en cuenta que la energía solar que llega a la superficie de la tierra es de 0.9 calorías-gramo por centímetro cuadrado y por minuto (en promedio).

Cuando la intensidad luminosa está por encima de 5 000 lux ($97.5 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$) (ver anexo 1) se realiza la fotosíntesis. La mayor parte de los vegetales detienen su desarrollo vegetativo cuando la iluminación está por debajo de 1 000-2 000 lux (19.5 a $39 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$) (ver anexo 1), que aproximadamente coincide con la iluminación que suele tener el interior de una habitación suficientemente iluminada.

Si la intensidad luminosa es muy elevada, mas de 100 000 lux ($1 950 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$) (ver anexo 1) puede existir un exceso de luminosidad que produzca una reducción en la asimilación fotosintética.

Siguiendo la fórmula de la fotosíntesis, como son necesarias 6 moléculas- gramo de CO_2 por cada molécula gramo de glucosa ($\text{C}_6 \text{ H}_{12} \text{ O}_6$) que se sintetiza, se requerirán 264 gramos de anhídrido carbónico por cada 180 gramos de glucosa que se sintetice; como la concentración del CO_2 en el aire atmosférico es del 0.03 % aproximadamente, es decir

10 000 litros de aire contienen 3 litros de CO₂, se comprende que la cantidad de aire que debe pasar por los parénquimas clorofílicos para sintetizar la cantidad de carbono que requiere una cosecha normal es elevada. La fotosíntesis se realiza con máxima intensidad entre la longitud de onda de 430 y 720 nm, es decir en la mayor parte de las radiaciones visibles.

Hall y Rao (1983) determinan que a medida que aumenta la intensidad de la luz, la fotosíntesis es cada vez menos eficiente hasta llegar a 10 000 lux (195 $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$) (ver anexo 1) a partir de donde el aumento de la intensidad de la luz ya no produce ningún efecto en la velocidad de la fotosíntesis. Anaya (1998) señala que la fotosíntesis se realiza en el azul-verde-amarillo-naranja-rojo entre 4000 y 7500 Angstroms aproximadamente 3.10 eV y 1.65 eV respectivamente (ver anexo A1)

5 Fotorrespiración

De acuerdo a Hall y Rao (1983) la fotorrespiración es la liberación de CO₂, estimulada por la luz, a gran velocidad, por las hojas, que es totalmente diferente del desprendimiento “oscuro” de CO₂ por la respiración mitocondrial en las hojas. Las especies vegetales tienen velocidades de fotorrespiración marcadamente diferentes; en algunas especies fotosintéticas poco eficientes, la fotorrespiración puede alcanzar un 50% de la fotosíntesis neta.

Los síntomas externos de la fotorrespiración son

- La inhibición de la fotosíntesis por el aumento de oxígeno.
- La existencia de un punto de compensación de CO₂ elevado (30-50 ppm de CO₂ a 25°C en el aire) este valor depende de la especie.

-La variación del punto de compensación del CO₂ en respuesta a las variaciones del O₂, la luz y la temperatura.

Bidwell (1987), Haliwell (1984) citado por Bustamante (1996) consideran que la fotorrespiración constituye un mecanismo capaz de preservar al aparato fotosintético, aunque su efecto total sea el deprimir la actividad de fotosíntesis, efecto acrecentado por temperaturas elevadas.

6 Fotoinhibición

En las plantas C₃, a las que pertenece el cultivo del jitomate, los ciclos metabólicos de reducción fotosintética y de oxidación fotorespiratoria del carbono son los principales demandantes de la energía generada en la transferencia de electrones y en la fotofosforilación. Cuando en condiciones normales dichos ciclos se bloquean artificialmente, la utilización de energía metabólica decrece fuertemente aunque la intercepción de energía radiante continúa en forma normal, lo cual afecta la transferencia de energía en los fotosistemas. Boyle y Keys (1982), Ponles et al, (1983), Ponles y Osmond (1978) citados por Bustamante (1996) consideran que dichas alteraciones conducen a tasas insignificantes en el metabolismo del carbono, que ocurren cuando hay tasas significativas de reducción fotosintética o ante la fotooxidación del carbono en la que participa activamente el fotosistema PSI.

Ponles y Bjorkman (1983) citado por Bustamante (1996) consideran que dicha fotoinhibición es resultado de una saturación electrónica en los fotosistemas, principalmente en el PSII y de una caída en el rendimiento cuántico, con lo que la energía de excitación que llega a los fotosistemas es degradada en forma de calor.

7 Invernaderos

7.1 Condiciones ambientales en invernadero

Luz (Radiación óptica o radiación visible)

La energía radiante que proviene del sol es un componente vital para el proceso de la fotosíntesis y por lo tanto para el crecimiento de las plantas. Por ello es evidente que, comparada con los otros factores ambientales esenciales como la temperatura o humedad, que afectan el crecimiento y la vida de los vegetales sobre la superficie de nuestro planeta, la luz debe considerarse como el más importante. La luz proporciona la energía esencial para convertir el bióxido de carbono y el agua durante el proceso fotosintético de las plantas, en carbohidratos (azúcares). Estos carbohidratos, además de constituir por si mismos un alimento básico, son el sustrato esencial para la síntesis de proteínas, grasas y vitaminas necesarias para la vida de las plantas y todos los organismos vivos.

De acuerdo a Grajales y Quintana (2003) la luz (radiación visible) es uno de los factores ambientales de gran importancia pues participa de modo característico en el crecimiento de las plantas según su cantidad, calidad o duración. En el caso de la cantidad de luz, es decir la intensidad luminosa o número de cuantos o fotones, es determinante para la fotosíntesis de la planta, ya que los cuantos o fotones son paquetes de energía que activan los centros de reacción de los complejos cosechadores de luz presentes en los tilacoides y que son responsables de la transformación de energía radiante a energía química en forma de ATP, y la captación de potencial reductor para la fijación del CO₂ como primera vía de la fotosíntesis. Éste es el proceso primario ya que produce los esqueletos hidrocarbonados en

forma de carbohidratos, a los que posteriormente se incorporarán los demás nutrientes minerales mediante otros procesos metabólicos incluidos en la fotoasimilación. La calidad de la luz o longitud de onda es indispensable tanto para la fotosíntesis, la fotomorfogenesis y el patrón de crecimiento diferencial conocido como fototropismo. Así, longitudes de onda de 430, 450, 500, 680, y 700 nm son las requeridas para la fotosíntesis y absorbidas por los pigmentos fotosintéticos; mientras que para la fotomorfogenesis o formación de órganos se requiere de luz de longitud de onda de 660 y 730 nm, la cual debe ser absorbida por el fitocromo; por otra parte, la luz amarilla absorbida por las xantofilas se requiere para el fototropismo. Respecto a la duración de la luz o fotoperíodo, definido con más exactitud como el periodo de horas luz y de horas oscuridad en un lapso de 24 horas, es fundamental para la inducción de un cambio en el patrón de crecimiento dirigido por la fotomorfogenesis; por ejemplo para inducir la floración de las plantas. Al respecto, se sabe que las plantas se clasifican de acuerdo con el fotoperíodo requerido para la floración en: plantas de día corto o de fotoperíodo corto, plantas de día o fotoperíodo neutro y plantas de día o fotoperíodo largo.

Temperatura

Aldrick y Bartok (1994) mencionan que la temperatura interviene en los procesos metabólicos. Pérez y Castro (1999) consideran que el jitomate es una planta termoperiódica diaria, por lo cual requiere una oscilación de temperatura entre el día y la noche de al menos 8°C, lo que favorece su crecimiento y la formación de un mayor número de flores. La temperatura óptima para el cultivo oscila entre 22 y 24 °C y varía en función de cada una de sus etapas fenológicas. Por otra parte Pinzón (1996) considera que la precocidad

aumenta al elevarse la temperatura. De manera general se menciona que las plantas que presentan el tipo de fijación de carbono C₃ entre las cuales se encuentra el jitomate, optimizan su fotosíntesis entre 15 y 30 ° C.

Valdivia (2000) considera que con la combinación de temperaturas altas y baja intensidad luminosa, ocasionan que la planta presente 18 hojas antes del primer racimo. Cuando una alta intensidad luminosa es acompañada por una temperatura alta hay mal cuajado del fruto, sin embargo cuando las temperaturas son altas y se reduce la intensidad de luz con sombreado se incrementa significativamente el cuajado del fruto.

Tesi (2001) señala que existen temperaturas óptimas para diferentes intensidades luminosas (cuadro 1).

Cuadro 1. Temperaturas óptimas a diferentes intensidades luminosas para el cultivo de jitomate

Intensidad luminosa (lux)	Temperatura (°C)
0	11
5 000	18
10 000	19.5
15 000	21
20 000	22.5
25 000	23.5
30 000	24.5
35 000	27
40 000	27
45 000	28
50 000	29

pH

Según Velasco y Nieto (2005) El jitomate es una especie que requiere un pH del suelo de 6.5 a 6.9, poniendo especial cuidado en los niveles de acidez , ya que tales niveles tienen

repercusiones en la producción, el pH óptimo está entre 6.0 y 6.6; si el pH del medio se presentara por debajo de 5.0, debe alcalinizarse mediante la incorporación de cal, en tanto que cuando el pH es mayor a 6.8 , también se induce una disminución en la producción debido a que la asimilación de los nutrientes para las plantas es deficiente y en este caso habrá que acidificar el medio utilizando fosfatos ácidos o KHSO_4 .

7.2 Producción de jitomate en invernadero en México

En referencia a la producción de jitomate en invernadero, Santiago (1997), señala que las inversiones hechas tanto en Sinaloa como en Baja California y Jalisco, se han sumado para integrar una superficie de 145 hectáreas, en las cuales se producen diferentes tipos de jitomate.

Los costos de producción del jitomate, varían en función de los sistemas utilizados para su producción, uno de los factores que ha impulsado la inversión en nuevas tecnologías ha sido sin duda el diferencial de precio que se obtiene por la calidad del producto.

De acuerdo a Randolph (2000), en el caso del jitomate las diferencias de precio (cuadro 2) entre el jitomate producido en campo abierto y el de invernadero, pueden ser hasta del doble, ya que en promedio los primeros se pagan a \$5.17 pesos kilo contra \$8.95 para el jitomate que se produce en invernadero que es de mayor calidad.

Cuadro 2. Rendimientos y costos de producción de jitomate para el año 2000

Sistema de producción	Rendimiento promedio (Ton/Ha)	Costos promedio de producción (\$/ton)	Precio promedio (\$/kg)
Campo abierto	80-100	1575	5.17
Malla sombra	120-160	2160	5.71
Invernadero (a)	180-250	2745	7.83
Invernadero (aa)	350-500	2880	8.95

a: tecnología intermedia aa: tecnología avanzada

7.3 La energía radiante en los invernaderos

Los materiales que se utilizan en la cobertura de invernaderos dejan pasar en distintos porcentajes las radiaciones según el material utilizado como cubierta. En el cuadro 3 se citan diferentes autores que han determinado el porcentaje de transmisividad de la cobertura del invernadero en el que han trabajado.

Cuadro 3. Porcentaje de transmisividad en invernadero

Autor	Año	Porcentaje de transmisividad en cobertura de invernadero		Observaciones
		Plástico	Vidrio	
Serrano	1977	80	90	Vidrio de 3mm de espesor, polietileno 0.1 mm.
Cockshull	1992	≈58	---	Señala que esto sucede en los meses de enero y febrero.
Krug	1997	50-70	---	No hay especificaciones
Ryu y Cerny	1999	25 -35	---	No especifican características del polietileno.
Pérez y Castro	1999	70	90	No hay especificaciones
Tognoni	2000	65-70	---	No hay especificaciones

Como se puede observar el porcentaje de transmisividad para los materiales de cobertura de invernadero ya sea plástico o vidrio es muy diversa y no se puede mencionar un porcentaje de transmisividad único y valido para una cobertura de plástico o vidrio, por lo que en caso necesario se deberá determinar experimentalmente.

Serrano (1977) y Rodríguez (2001) consideran que los materiales de cubierta serán tanto mejores cuanto más transparentes sean a las radiaciones solares que llegan a la superficie terrestre; sin embargo, esto no concuerda con los resultados de este estudio.

La calidad del material utilizado como cubierta de cultivos protegidos será mejor cuanto menos deje escapar las radiaciones calorífica de longitud de onda larga que irradian los cuerpos que estén situados dentro de la protección (efecto invernadero) sin embargo esto es muy relativo ya que puede aumentar demasiado la temperatura.

Aldrick y Bartok (1994), Nelson (1991) y Serrano (1977), mencionan que la cantidad de radiaciones luminosas que penetran en el interior de un invernadero depende de:

- Flujo que llega a la cubierta
- Flujo reflejado hacia el exterior
- Flujo absorbido por el material de cubierta
- Poder de dispersión del material de cubierta
- Flujo reflejado por el suelo y que se escapa hacia el exterior por la cubierta (una parte de este puede ser utilizado)

En cuanto a la pérdida por reflexión el flujo reflejado esta en función de:

- La dirección del flujo incidente
- La longitud de onda de las radiaciones
- Las propiedades del material (índice de refracción, también llamado Ley de Snell) y sobre todo absorción y dispersión.

Según la ley de Snell: El cociente entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción, es constante para cada par de sustancias, y recibe el nombre de índice de refracción n.

$$n = (\text{índice de refracción}) = \frac{\text{sen } i_1}{\text{sen } i_2}$$

sen i_1 = ángulo de incidencia

sen i_2 = ángulo de refracción

7.4 Materiales de cobertura en invernaderos

Flores (2005) señala que el material de cubierta condicionará el clima que se genera en el interior del invernadero; en este sentido, el material ideal será aquel que presente gran trasmisividad de la radiación solar, opacidad a la radiación térmica y características físicas que lo hagan resistente a la ruptura.

Por otro lado, la evolución de los invernaderos ha derivado en materiales ligeros, actualmente la mayoría tienen cubierta con película de polietileno. Las películas hechas a partir de otras resinas como el cloruro de polivinilo, el poliéster, etc. son excepciones, los materiales rígidos como el vidrio o los plásticos en doble pared o plancha celular, tienen mayor interés en latitudes más frías, pero son demasiado caros puesto que su vida excede los 7 a 10 años y además, necesitan estructuras muy fuertes y sistemas de sujeción muy

sofisticados, aunque en pequeña escala van introduciéndose en la horticultura actual debido a sus aptitudes para el control climático.

La función de los invernaderos en México generalmente no es la de mantener una temperatura alta, sino mas bien la de mejorar el uso del agua reduciendo las pérdidas por evaporación, así como regular la intensidad moderando también los cambios de temperatura, muchas veces con enfriamiento y ocasionalmente con calentamiento.

7.4.1 Películas de polietileno

El material generalmente utilizado como material de cubierta de invernaderos, es el polietileno. Mediante el uso de aditivos a la resina básica de polietileno, se puede aumentar la duración de la película, modificar su transparencia a la radiación visible a la infrarroja corta, a la radiación solar y cambiar sus cualidades de absorción y reflexión del infrarrojo largo, así como eliminar la radiación ultravioleta.

7.4.2 Vidrio

El más conocido es el vidrio de ventana y el vidrio difusor, también llamado catedral, ambos productos se derivan del mismo material básico, pero difieren en aspecto .El primero es el denominado vidrio hortícola VH, durante los últimos años se ha estudiado en profundidad el comportamiento de los dos materiales, como cubierta de invernadero existiendo diversidad de opiniones sobre los dos tipos de vidrio.

7.5 Flujo radiante

El flujo que penetra en un invernadero se calcula con la fórmula:

$$F^2 = F(I-R)^2$$

En donde:

F^2 = flujo que penetra en el invernadero

F = flujo que incide en el invernadero

I = intensidad radiante

R = poder de reflexión del material de cubierta

El índice de refracción (n) de los materiales utilizados en las cubiertas de los invernaderos está comprendido entre 1.4 y 1.8:

$$1.4 \leq n \leq 1.8$$

La naturaleza del material de cubierta puede aumentar las pérdidas de la energía radiante por reflexión. Esta pérdida es diferente para las distintas longitudes de onda en cada material.

Perdidas por absorción

La absorción de radiaciones por un material de cubierta es función de:

- El ángulo de incidencia
- El material de cubierta
- El espesor del material de cubierta

Aumentos por difusión

Los materiales con poder de difusión para la energía radiante, aumentan la energía radiante debido a un mejor reparto de las radiaciones. La difusión de un material es debida a la presencia, en el material que atraviesa la radiación, de partículas cuyas constantes ópticas

son diferentes a las del medio en las cuales se encuentran. Este fenómeno es función del número de partículas y del tamaño y geometría de estas.

8 Respuesta de la energía radiante en el desarrollo del cultivo del jitomate

Nelson (1991) señala que las semillas del jitomate en la germinación necesitan un periodo con una intensidad luminosa de 5 000 lux ($97.5 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$) (ver anexo 1).

Tesi (2001) considera que la luz influye sobre los procesos del crecimiento ya sea por su duración (fotoperíodo) condicionando el paso a la fase reproductiva, bien por su intensidad, que afecta específicamente al proceso de la síntesis clorofílica. En el jitomate, las carencias de luz en las fases iniciales del crecimiento (los primeros 15 días después de la emergencia) resultan mucho más negativos que en las fases sucesivas por cuanto quedan afectadas las características morfofisiológicas de la plántula que repercutirán sobre el crecimiento y la precocidad de la producción.

El jitomate es una planta exigente en intensidad de luz, la planta que se establece en épocas o condiciones de baja intensidad, prolonga significativamente el ciclo vegetativo. Los efectos más importantes a la estructura del jitomate se describen a continuación:

Picken et al. (1986), citado por Chamorro (2001), enuncia que en la semilla la germinación se produce mejor en la oscuridad y en algunos cultivares resulta inhibida por la luz. Estos efectos están mediados por el fitocromo y dependen de las características de la radiación.

En general la producción de hojas y de primordios foliares aumentan con la irradiación diaria. La velocidad de iniciación de las hojas no resulta afectada por la irradiación diaria durante el verano, pero si lo está en el invierno.

Valdivia (2000) menciona que la saturación de la luz en las hojas ocurre a baja intensidad 1 000-1 500 fotocandelas (fc) esto es, 10 764 lux y 16 146 lux. (209.8 y $313.23 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$) (ver anexo 1).

Chamorro (2001) dice que el espesor de la hoja es mayor cuando crece con una elevada iluminación diaria durante la fase de la iniciación y al principio de su expansión con iluminaciones bajas, las células esponjosas del mesófilo están dispuestas de una forma relajada e irregular y se reduce el tamaño, número y densidad de las células en empalizada así como la densidad de los estomas. La iluminación continua puede inhibir el crecimiento de las hojas, las cuales desarrollan zonas cloróticas y empiezan a morir, incluso si la energía radiante continua se interrumpe antes de que la clorosis sea visible. La iluminación cuando es igual o superior al óptimo, no afecta el desarrollo del tallo, para valores por abajo, un descenso en la iluminación induce un aumento en la elongación del tallo a expensas de otras partes de la planta, dando lugar a tallos más delgados y débiles con una mayor proporción de tejido parenquimático. Cuando la iluminación es muy baja se reduce la altura de la planta y por ello, la iluminación adicional en el invierno produce generalmente plantas más altas.

Valdivia (2000) señala que el cultivo del jitomate es considerado fotoperiódicamente indiferente con respecto a la floración y es un ejemplo de una planta de día –neutral.

Sin embargo Wittwer y Aung (1969) citados por Valdivia (2000) notaron buen desarrollo vegetativo y temprana diferenciación de yemas florales así como un incremento en el número de flores con un fotoperíodo arriba de 16 horas, concluyendo que es el más favorable para el desarrollo y formación de flores en el jitomate. También observaron que en diferentes variedades de tomate en fotoperíodos de 9 horas se redujeron el número de

nudos formados antes de la primera inflorescencia y el tiempo para la primera antesis. Ellos concluyeron que el jitomate es una planta facultativa de día corto.

Cuando la iluminación es deficiente, el tiempo hasta la apertura de la primera flor en la primera inflorescencia depende de la radiación total recibida. Por el contrario en verano cuando la radiación es elevada, la apertura de las flores se produce unos 40 días después de la expansión de los cotiledones, independientemente de la radiación total. La iluminación solar puede afectar al tiempo para la floración a través de sus efectos sobre el momento de iniciación de la inflorescencia. La producción de flores es mayor cuando la iluminación es alta (verano). Con una iluminación insuficiente se presenta la caída de la flor, incluso después de la polinización.

La intensidad y calidad de la radiación visible afectan la partenocarpia (cuajado y crecimiento de un fruto sin que se desarrolle el embrión). Con iluminación menor a 2000 $\text{bujías} \cdot \text{pie}^{-1}$ ($390 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$) (ver anexo 1) al principio de la época de cultivo, la proporción de frutos huecos es elevada (80-90 %) y la materia seca del fruto en las primeras recolecciones es baja (5% ó menor). Cuando el jitomate se expone a muchos días nublados y temperaturas bajas el fruto es hueco o esponjoso

Lipton citado por Salukhe (2004) observó que la coloración defectuosa de los laterales del jitomate podría deberse a radiación de onda corta y propuso el término “amarillamiento solar” para indicar que el desorden es efecto de la radiación solar

9 Niveles óptimos de radiación visible para el cultivo de jitomate

De acuerdo a Pérez y Castro (1999), para las diversas etapas del cultivo de jitomate los niveles de luz son distintos, incrementándose de forma paulatina. Por ejemplo en el caso de la producción de jitomate en invernadero en Chapingo, México (19° 29' N, 98° 53' y 2,250 msnm), se han observado como óptimos los siguientes (tomados a las 12 horas): durante la etapa de plántula, desde que emerge hasta que tiene cuatro hojas verdaderas, requiere una intensidad máxima de 2 500 bujías·pie⁻¹ (487.5 μEm⁻²s⁻¹) (ver anexo 1); entre el momento de trasplante y la aparición del primer racimo floral, las necesidades de luz aumentan a 4 000 bujías·pie⁻¹ (780 μEm⁻²s⁻¹) (ver anexo 1); durante el periodo de crecimiento de los frutos, desde la floración hasta la maduración de estos, se requieren aproximadamente 5 000 bujías·pie⁻¹ (975 μEm⁻²s⁻¹) (ver anexo 1).

10 Rendimiento

10.1 Componentes del rendimiento

Biscoe y Gallagher (1977) citado por Díaz (2002) mencionan que existen tres factores fisiológicos importantes que determinan la producción de materia seca y el rendimiento en diversos cultivos.

- a) La intercepción de la radiación por el follaje
- b) La eficiencia con la cual la radiación interceptada es convertida en materia seca, y

- c) La partición de la materia seca entre el rendimiento económico y el resto del cultivo.

Hernández (1987) citado por Guerrero y Marcial (1991), señalan que el índice de crecimiento relativo de un cultivo es la resultante del producto de asimilación neta entre el área foliar. En el caso del jitomate este parámetro es generalmente elevado, debido a que la relación del área foliar por planta es alta, ya que este cultivo normalmente produce una gran cantidad de área foliar en un periodo relativamente corto después del inicio de la fructificación.

El rendimiento en las plantas también puede ser determinado por:

- a) La translocación de los fotosintatos.
- b) Las relaciones entre componentes.

En el caso específico del jitomate, según Toovey (1982) citado por Guerrero y Marcial (1991), el rendimiento total está determinado por:

-El número de plantas sembradas por unidad de superficie, el cual varía según el hábito de crecimiento de las variedades utilizadas.

-El sistema de poda utilizado.

-El número de frutos por planta que a su vez depende de la cantidad de racimos y del número de frutos por cada uno de éstos.

-El peso promedio de los frutos, el cual está determinado a su vez por el número de lóbulos y el peso de cada uno de ellos.

De acuerdo a Sánchez (1997) el rendimiento está determinado por:

-Rendimiento de fruto en peso fresco, número total de frutos, y número de frutos grandes (mayores de 6 cm de diámetro ecuatorial), medianos (entre 4 y 6 cm.) y pequeños (menores de 4 cm.)

-Rendimiento y número de frutos por unidad de superficie y por planta, y el peso medio del fruto.

10.1.1 Fuente de asimilados para el crecimiento del fruto.

Monselise et al (1978), indican que cuando el crecimiento del fruto se expresa en términos de incremento de peso fresco, peso seco o volumen en el tiempo, se obtiene una curva sigmoide en cada caso, correspondiente a cada estado de desarrollo.

Por otra parte Ho (1984), señala que el tamaño de los frutos varía entre los diferentes cultivares o incluso entre frutos del mismo racimo. La diferencia puede ser atribuida al número y tamaño de células del fruto. El número máximo de células en un fruto de jitomate es alcanzado dentro de las dos primeras semanas después de la antesis y está determinado por el número inicial de células en el ovario antes de antesis y la tasa de división celular en la primera semana después de antesis. Los frutos inducidos mas temprano compiten más favorablemente por asimilados que los que se forman más tarde.

Wolf y Rudich (1988) consideran que el crecimiento del fruto resulta principalmente de la importación de fotoasimilados por parte de las hojas.

IV Materiales y métodos

4.1 Localización del estudio de las dos cohortes

La investigación comparativa de dos cohortes de la población del cultivo de jitomate variedad Río grande se realizó del 2 de julio de 2005 al 23 de diciembre del 2005 en dos invernaderos (uno de cubierta plástica y otro de cubierta de vidrio) pertenecientes al INSTITUTO DE QUIMICA DE LA UNAM, el cuál se encuentra ubicado en 19° 19' 42'' N y 99° 11' 47'' W y una altitud de 2240 m. s .n. m.

4.2 Descripción de los invernaderos

El estudio de las dos cohortes se llevó a cabo en dos invernaderos con orientación Norte-Sur. El primer invernadero es de tipo dos aguas, con estructura metálica y cubierta de vidrio un espesor de 7 mm. y con las siguientes dimensiones: 3.20 m de ancho y 4 m de largo y 3.2 de altura máxima. Para la ventilación cuenta con ventanas laterales protegidas con malla mosquitero para evitar la entrada de insectos al interior del invernadero. Además de un enfriador, ventilador y se cuenta con rociador de agua.

El segundo invernadero es de tipo túnel, con estructura metálica y cubierta de plástico blanco lechoso translúcido con pigmento de bióxido de titanio para protección de rayos

ultravioleta y calibre de 720 galgas translúcido, con las siguientes dimensiones: 10.0 m de ancho y 20 m de largo con una altura máxima de 5m. Cuenta con ventilas abiertas laterales, con malla mosquitero. Cuenta con ventiladores y rociadores de agua.

4.3 Contenedores y sustratos

Se utilizaron bolsas de polietileno negro calibre 700 de 40 por 45 cm. En la base de las bolsas se hicieron 4 perforaciones de 0.5 cm. de diámetro para que drene el exceso de agua o solución nutritiva del sustrato. Como sustrato se utilizó tezontle grueso para el drenaje y tezontle mediano para el desarrollo del sistema radicular de la planta y agrolita en proporción 1:1:1:1. Se utilizó un sistema hidropónico abierto; es decir, no hay recuperación de la solución nutritiva.

4.4 Material vegetativo

Se utilizaron plántulas de jitomate con 21 días de crecimiento variedad Río Grande traídas del estado de Guanajuato, donadas por el C a Dr. José Luis Sánchez Millán. Esta variedad es una planta de crecimiento determinado, con fruto tipo pera; con 90 a 95 días hasta el primer corte. El fruto se destina para su consumo en fresco, su peso promedio es de 95 a 105 gr. y la longitud del fruto es de 60 a 70 mm

4.5 Diseño de estudio de las dos cohortes

El estudio fue diseñado mediante dos cohortes Méndez (1983 y 2005, 2007 comunicación personal) con un criterio de clasificación longitudinal en donde se compararon dos

poblaciones del cultivo de jitomate en el cual el criterio de inclusión fue el cultivar Río grande. La interferencia del investigador fue observacional, es decir sólo se midieron los componentes del rendimiento para el cultivo del jitomate, no se modificó la radiación solar que intervino en el desarrollo del cultivo, sólo las cubiertas del invernadero (vidrio y plástico) que tienen un porcentaje de transmisividad diferente que, de acuerdo a las especificaciones técnicas del proveedor la cobertura de plástico tiene 67% de transmisividad y la cobertura de vidrio 90%. De esta transmisividad recibida por las plantas de jitomate, se cuantificó la radiación fotosintéticamente activa también llamada RFA, que es útil a las plantas terrestres en el proceso de la fotosíntesis y para producción de biomasa. El instrumento utilizado para la medición de la RFA fue un sensor cuántico (LI-190S, LICOR-, Lincoln, NE, USA) ligada a una base de datos (CR510, Campbell Scientific, Inc. Logan UT, USA) UV-VIS espectro radiométrico (Li 1800. LI-COR, Logan. UT, USA). Este aparato mide la RFA cada cinco minutos y dichas mediciones están dadas en unidades de micromoles. Se contó con los datos de la radiación global registrada en el observatorio de Radiación Solar perteneciente al Instituto de Geofísica de la UNAM; esta radiación se midió con un instrumento llamado piranometro termoeléctrico y las unidades utilizadas en este aparato son en MJ/m^2 y las lecturas están cuantificadas cada minuto. Se cuantificó la temperatura con un sensor “hobo” cada 10 minutos.

En la población I se colocaron 23 macetas, en cada maceta se colocaron dos plantas, cada planta se considera como una unidad de estudio, se hizo un arreglo espacial de 4 macetas por metro cuadrado, estas fueron colocadas en un invernadero con cubierta de vidrio. La población II fue colocada en un invernadero con cubierta de plástico. Aquí se colocaron también 23 macetas cada maceta con dos plantas, y cada planta para este estudio se consideró como una unidad. Se colocaron 4 macetas por metro cuadrado. El período

durante el cual se siguieron a los individuos de las dos cohortes (población I y II) fue de la etapa del trasplante hasta la cosecha del tercer racimo de cada una de las plantas.

El registro de datos se hizo a través de un muestreo de las unidades de estudio de forma aleatoria, en este muestreo se seleccionaron 10 macetas, cada una con 2 unidades de estudio, en cada una de las poblaciones y el seguimiento fue hecho por etapas y fases fenológicas, de tal manera que en el invernadero de vidrio las macetas seleccionadas fueron las que tenían los números 2, 5,8, 9, 11, 15, 17, 20, 22,23, y en el invernadero de plástico las macetas seleccionadas fueron las número 1, 4, 6, 9, 11, 13, 14, 15, 18, 19.

4.6 Análisis estadístico

Se analizó la información en base a la metodología estadística establecida para el análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) mediante el paquete estadístico ORIGIN 7.0 (ver anexo 9)

El análisis estadístico se realizó para una prueba de hipótesis:

H_0 = El rendimiento del cultivo del jitomate es igual en la cohorte de la población I (invernadero de vidrio) y en el cohorte de la población II (invernadero de plástico)

Se rechaza H_0 si $t_0 \geq t_{\alpha} (n-1)$

Se acepta H_0 si $t_0 \leq t_{\alpha} (n-1)$

4.7 Manejo agronómico

Transplante

EL transplante se realizó el día 2 de julio de 2005, la planta tenía de 3 a 4 hojas y una altura aproximada de 12 a 15 cm., en cada maceta se hicieron dos orificios en el sustrato con la ayuda de una pala de jardinería a una profundidad de 10 cm. con un riego previo para evitar la deshidratación de las plántulas. Se colocó una plántula por orificio colocando con cuidado el cepellón presionándola contra el sustrato para dejar la menor cantidad de aire posible en el interior del orificio y favorecer el anclaje de la misma.

Riegos

Durante el ciclo de cultivo del jitomate los riegos se manejaron de la siguiente manera:

Durante los primeros 30 días después del transplante se dio un riego de 0.5 litro por planta, en los siguientes 40 días del ciclo del cultivo la cantidad de solución nutritiva se incremento a 1 litro por maceta. En los siguientes 70 días se aplicó 1.5 litro de solución por maceta

Con el objetivo de disminuir el riesgo de acumulación de sales en el sustrato se proporciono un riego con agua cada fin de semana a razón de un litro de agua por planta. La concentración que se aplicó de cada elemento se observa en el cuadro siguiente junto con el ión asimilado para cada uno de ellos (ver cuadro 4)

Cuadro 4. Solución nutritiva utilizada en las dos cohortes

Fuente	Cantidad (gr)	Elemento	Ión asimilado por la planta
Ácido fosfórico 85%	31 ml	Fósforo	$P_2O_5^-$
Sulfato de potasio	1000	Potasio	K^+
Sulfato de magnesio	1230	Magnesio	Mg^+
Nitrato de potasio	750	nitrógeno	NO_3^-
Nitrato de calcio	2600	calcio	Ca^{+2}
Sulfato ferroso	50	hierro	Fe^{+3}
Sulfato de manganeso	5	manganeso	Mn^{+2}
Sulfato de zinc	2	zinc	Zn^{+2}
Sulfato de cobre	2	cobre	Cu^{+2}
borax	10	boro	B^{+3}

PEREZ G., M y R. CASTRO B. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero.

Boletín de Divulgación # 3. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura.

Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Méx.

La solución nutritiva se prepara disolviendo los fertilizantes en 1000 litros de agua, siguiendo el orden mostrado para disolverlos. Teniendo cuidado con el pH de la solución que debe ser de 6.5 – 6.9.

Cosecha

La cosecha se inicio el 9 de noviembre de 2005 en la población I (invernadero de vidrio) realizándose manualmente y siendo el indicador para cosechar el color rojo del fruto. En la población II (invernadero de plástico) la cosecha se inicio el 30 de noviembre de 2005.

En la población I se hicieron 4 cortes (9 y 23 noviembre, 2 y 21 de diciembre), y en la población II 3 cortes (30 noviembre, 10 y 23 de diciembre).

4.8 Variables de estudio

Las variables de interés primario e instrumentos utilizados para su medición en la población I y II son los siguientes:

1.-Absición floral (caída de flores). Se contabilizó la caída de flores de cada uno de los racimos 1,2, 3 de cada una de las unidades de estudio en las dos cohortes.

2.-Numero de flores por metro cuadrado. Se contabilizó y etiquetó el número de flores por racimo de cada una de las unidades de estudio de las dos cohortes.

3.-Número promedio de frutos por metro cuadrado. Es el número de frutos por unidad de superficie de los cuatro tamaños de frutos (pequeño, mediano, grande y extragrande).

4.-Diámetro promedio de fruto. Con la ayuda de un vernier se midió el diámetro de cada uno de los frutos de los racimos 1,2, 3 de las unidades de estudio en las dos cohortes.

5.-Longitud de fruto. Con un vernier se midió el diámetro polar de los frutos cosechados.

6.-Peso promedio de fruto fresco. Se utilizó la clasificación de (Sánchez 1997) que considera: Fruto extragrande mayor de 120 g, fruto grande de 110 a 120 g, fruto mediano de 80 a 110 g, fruto pequeño menor de 80 g.

7.-Altura de planta. Esta medida se realizó con la ayuda de una cinta métrica, tomando como referencia el nivel del sustrato hasta la altura máxima del tallo principal.

V Análisis y discusión de resultados.

El presente trabajo tuvo como propósito estudiar el comportamiento fenológico y el rendimiento del cultivo de jitomate variedad Río Grande bajo dos transmisividades diferentes en invernaderos (con una cobertura plástica y una de vidrio), para así determinar la capacidad productiva de esta variedad en cuanto a: precocidad, rendimiento, calidad y su consecuente rentabilidad.

En el cuadro 5 se consideran nuestros resultados de acuerdo a las etapas propuestas por CENTA (2003) y además se analizó una etapa final (fase fenológica; maduración del fruto) en el cuadro 6.

Cuadro 5. Interacción de la irradiación y RFA en el comportamiento fenológico del jitomate bajo dos condiciones diferentes de irradiación en invernaderos

Etapa	Fase fenológica	Duración de la etapa (días)		Irradiación acumulada (MJ·m ⁻²)		RFA acumulada (moles·día ⁻¹)	
		Población I *	Población II **	Población I	Población II	Población I	Población II
Inicial	Plántula	21***	21***	***	***	***	***
Vegetativa	Desarrollo vegetativo	41	55	697	889.72	416.81	395.29
	Floración	18	13	294	210	176	93.54
Reproductiva	Fructificación	40	56	595.52	864.21	356.03	384.88
	Total	120	145	1586.52	1963.96	984.84	873.71

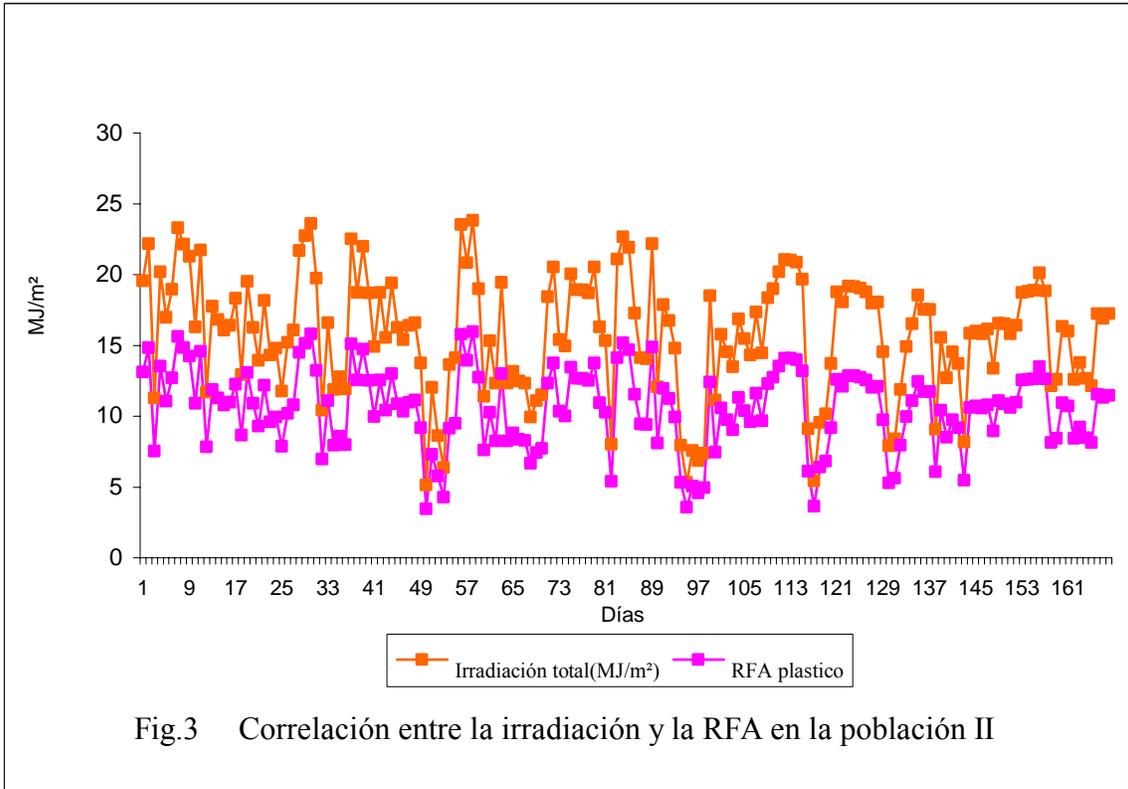
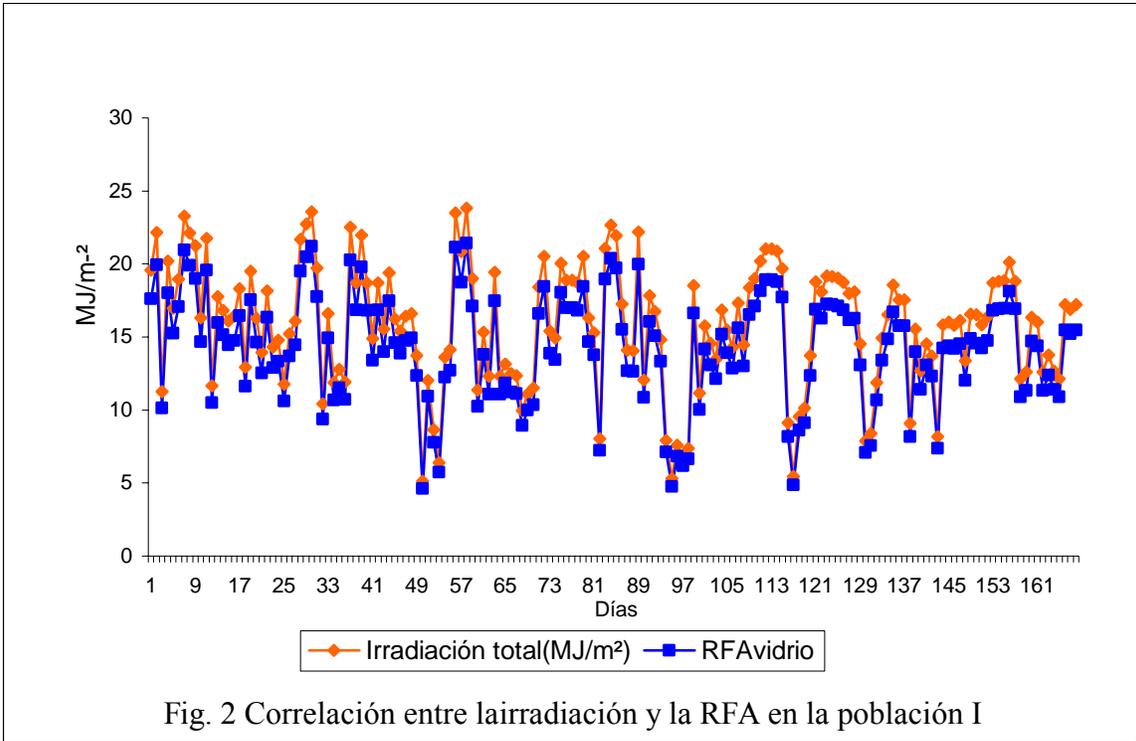
*Población I = cohorte de vidrio = Invernadero con cobertura de vidrio

**Población II =cohorte de plástico = Invernadero con cobertura de plástico

***= Se transplantaron plántulas con 21 días de crecimiento

Desarrollo vegetativo

En esta investigación el coeficiente de correlación entre la irradiación y la RFA acumulada fue alto y positivo con un valor de 0.999 (ver anexo 2 y 3). Cuando es positivo el coeficiente de correlación indica que al subir los valores de una variable los de la otra también suben o al bajar también bajan por estar asociadas en el mismo sentido, como se puede observar en la Fig. 2 y Fig. 3.



Se puede observar que la duración del desarrollo vegetativo en la población II fue mayor (Cuadro 5), presentando un crecimiento homogéneo en las plantas de jitomate, en esta población la RFA tuvo una diferencia de 21.52 moles/día con respecto a la RFA de la población I; en la cual el desarrollo vegetativo fue heterogéneo y precoz teniendo una diferencia de 14 días con respecto a la población II. En el invernadero con cobertura de vidrio la captación de radiación solar es mayor y por ende la RFA (Fig. 2 y Fig.3).

Floración

En lo referente a la fase fenológica de la floración en la población I ésta se presentó con mayor rapidez (14 días antes que en la población II), siendo heterogénea en el cultivo, en los racimos y con una duración mayor con respecto a la población II. En esta fase la RFA (ver anexo 2 y 3) fue menor que la presentada en la fase de desarrollo vegetativo en ambos invernaderos esto se debe a que la irradiación solar disminuyó pero siendo suficiente para la floración del jitomate esto concuerda con Flores (2005) el cual indica que a mayor perpendicularidad del rayo solar lo cual depende de la época del año; mayor será la radiación transmitida y por lo tanto el porcentaje de transmisividad.

Fructificación

El desarrollo de la etapa de fructificación fue lento en ambos invernaderos (comparado con los datos de CENTA (2003) en el cual la etapa de fructificación es de 20 días), esto debido a que la RFA fue menor que durante el desarrollo vegetativo esto concuerda con Velasco y Nieto (2005) quien considera que es conveniente que la luminosidad sea intensa cuando la

planta de jitomate esta en producción (fructificación) 12 horas de luz es el mejor fotoperíodo; si es menor el desarrollo es lento. En la población II se presentó una fructificación homogénea en el cultivo y en los racimos y de manera inversa en la población I esto no concuerda con lo señalado por Strybosh (1969) citado por Ponce (1995) quienes señalan que el comportamiento de la fructificación de los jitomates cultivados bajo invernadero es homogénea y en tiempo más corto sin embargo estos autores no especifican la cobertura del invernadero. La duración de esta etapa fue mayor y por ende la RFA acumulada que se contabilizó fue mayor obteniendo aquí mayor: número de frutos, peso de fruto y uniformidad en tamaño de fruto (ver anexo 4 y 5), debido a que hubo una translocación de asimilados en un periodo de tiempo mayor, repercutiendo en un rendimiento agronómico mayor. La RFA presentó en ambos invernaderos valores diferentes presentados en forma de una curva sigmoide con referencia a las etapas y fases fenológicas esto no concuerda con Pérez y Castro (1999) ya que ellos mencionan que para las diversas etapas del cultivo de jitomate los niveles de luz son distintos, incrementándose en forma paulatina. Esto indica que es preferible una mayor intensidad en menor tiempo que una intensidad baja en un tiempo mayor. Valdivia (2000) señala que el jitomate es exigente en cuanto a energía radiante, una baja intensidad prolonga significativamente el ciclo vegetativo. Esto concuerda con nuestros datos ya que en la población II la duración de las etapas fue de 128 días con una RFA de $873.31 \text{ moles}\cdot\text{día}^{-1}$ y en la población I fue de 99 días con RFA $948.84 \text{ moles}\cdot\text{día}^{-1}$ (ver anexo 2 y 3) y con el coeficiente de correlación entre el número de días y la RFA que fue positivo y con un valor de 0.920 (ver anexo 6). En la población I hubo una mayor irradiación solar (ver anexo 2 y 3) y por ende mayor posibilidad de captación de RFA trayendo como efecto final, la precocidad en las diferentes

etapas fenológicas del cultivo de jitomate y la obtención de una cosecha temprana pero con un rendimiento menor al obtenido en la población II.

En lo concerniente a la etapa final (fase: maduración del fruto) tenemos una correlación negativa con una valor de -0.652 (ver anexo 7) entre la RFA y el rendimiento del jitomate por corte lo cual se puede observar en el cuadro 6.

Cuadro 6. Correlación de RFA y el rendimiento del cultivo del jitomate bajo dos condiciones diferentes de irradiación en invernaderos.

Etapa Final	RFA (moles·día ⁻¹)		Cortes		Rendimiento (g)	
	Población I*	Población II**	Población I*	Población II**	Población I*	Población II**
Fase: Maduración del fruto (racimo 1,2,3)	1248.76	1068.10	1 (9 Nov.)	1 (30 Nov.)	691.55	3464.40
	1369.92	1141.29	2 (23 Nov.)	2 (10 Dic.)	2370.70	4590.52
	1458.35	1181.26	3 (2 Dic.)	3 (23 Dic.)	1902.54	3937.22
	1589.509		4 (21 Dic.)		1464.76	
Total	1589.509	1181.26	4	3	6429.55	11992.14

*Población I = cohorte de vidrio = Invernadero con cobertura de vidrio

**Población II =cohorte de plástico = Invernadero con cobertura de plástico

En lo referente a la correlación entre la RFA y el rendimiento del jitomate se tiene que: En la población II se cuantificó una menor RFA y se obtuvo un rendimiento mayor esto no concuerda con Shaheen et al (1995) ya que éste indica que conforme la radiación disminuye, también lo hace el peso fresco. La RFA es mayor en cada uno de las cortes en ambas poblaciones (Cuadro 6), pero debido a la precocidad que presentó la población I a lo largo del ciclo vegetativo se obtuvo heterogeneidad en la maduración de los frutos en el cultivo y productividad por racimo que conlleva cuatro cortes. Esto trajo como consecuencia la obtención de una cosecha temprana en el invernadero con cobertura de vidrio, pero con rendimiento menor con respecto al invernadero con cobertura de plástico. Sin embargo cabe señalar que de la etapa de plántula hasta el corte del racimo numero tres en ambas poblaciones el ciclo vegetativo fue de 172 días. Esto concuerda con lo citado por

Charles- Edward et al (1986) citado por Sánchez (1997) que menciona que mientras más dure el intervalo ente la siembra y el fin de la cosecha, mas energía luminosa podrá interceptar el dosel, produciéndose así más materia seca así como mayor peso y tamaño de los frutos.

En el cuadro 7 se muestran las medias obtenidas en las dos cohortes (invernadero con cubierta de vidrio e invernadero con cubierta plástica) (ver anexo 4, 5, 8 y 9)

Cuadro 7. Valores de la media obtenida en las variables de estudio en las dos cohortes

Parámetro medido	Tipo de cubierta			
	plástico		vidrio	
Absición floral (caída de flores)	2.44	a*	3.78	b
Número promedio de flores·m ⁻²	6.08	a	6.01	a
Número promedio de frutos m ⁻²	3.6	a	2.2	b
Diámetro promedio de fruto (cm)	4.1	a	3.9	a
Longitud de fruto (cm)	5.3	a	4.9	b
Peso promedio de fruto fresco (gr)	59	a	49	b
Altura de planta (cm)	84.3	a	64.1	b

*Valores con diferente letra dentro de renglones difieren estadísticamente con $\alpha = 0.05$ según Tukey, Scheffe.

Absición floral o caída de flores

Los resultados del análisis de varianza, para la variable número de absición floral se muestra en el Cuadro 7, en donde se observa que existe una diferencia significativa ya que en el cohorte del invernadero de plástico, el número de abortos florales fue decreciente mientras que, en el invernadero de vidrio se comporta de manera inversa, esto puede ser debido a la competencia entre la demanda de botones florales y hojas lo que concuerda con Folquer (1976) citado por Ponce (1995) quienes mencionan que un problema frecuente en la producción comercial de jitomate es la abscisión o caída de flores, afectando así al rendimiento.

Número medio de flores por metro cuadrado

En el cuadro 7, se muestra la comparación de medias para la variable número de flores por metro cuadrado. En donde se observa que no existe diferencia significativa en las dos cohortes. La radiación óptica no influyó significativamente en el número de flores en los dos invernaderos.

Numero promedio de frutos por metro cuadrado

Como se puede observar en el cuadro 7, con respecto al número de frutos existe una diferencia significativa. Los resultados en este estudio demuestran que en la cohorte que procede del invernadero con cubierta de plástico se obtuvo mayor número de frutos por racimo (4 en promedio, mientras que en el invernadero con cubierta de vidrio fue de dos frutos en promedio es decir 50% menos) estos frutos tuvieron mayor peso promedio de

fruto fresco (59 g) lo que no coincide con lo citado por (León 2003); este señala que para esta variedad el peso es de (95 a 105 g), lo anterior se debe a que si el número de frutos en un racimo es elevado (8 ó 12 frutos), la distribución de los asimilados se tiene que dividir entre más frutos tocándoles menor cantidad a cada uno, reflejándose esto en el tamaño final de fruto esto coincide con lo señalado por Das y Chakrabarty (1988) citado por Guerrero y Marcial (1991) quienes señalan que el número de frutos por planta se correlaciona negativamente con el peso individual de los frutos así como también que el número de frutos por planta se correlaciona positivamente con el rendimiento y Tukey (1975) citado por Ponce (1995) menciona que cuando la fructificación es numerosa disminuye el tamaño y baja la calidad de frutos, por lo cual es necesario hacer un aclareo de flores y frutos.

Diámetro del fruto y longitud de fruto

Se puede observar en el cuadro 7 que no se encontraron diferencias estadísticas entre las dos cohortes para el diámetro medio de frutos, esto coincide con los resultados de Ponce (1995) y Ho (1994). Verde (1988) citado por Guerrero y Marcial (1991) menciona que el rendimiento por planta se correlaciona positivamente con el diámetro ecuatorial y polar del fruto. Mientras que para la longitud del fruto si mostraron una diferencia estadística significativa (en el invernadero de cubierta plástica los frutos eran más largos), aunque esto también depende de las características de la variedad ya que para la longitud del fruto se cita entre 60 a 70 mm..

Peso fresco

En el cuadro 7 se muestra la prueba de comparación de medias para la variable peso fresco medio de fruto, en donde se encontró una diferencia estadísticamente significativa. En la cohorte del invernadero de vidrio se obtuvo, de acuerdo a la clasificación de Sánchez (1997) 93.12 % para fruto chico, 6.8 % para fruto medio y no se obtuvo ningún fruto grande o extragrande; mientras que para la cohorte de plástico se obtuvo el 76.73 % de fruto chico, 22.79 % para fruto mediano y 0.49 % para fruto extragrande lo cual es congruente por lo señalado por Ho (1984), Ponce (1995), Sánchez (1994), y Ucan (1999) quienes indicaran que el porcentaje mayor de frutos medianos y pequeños en tamaño se presenta en plantas con mayor competencia.

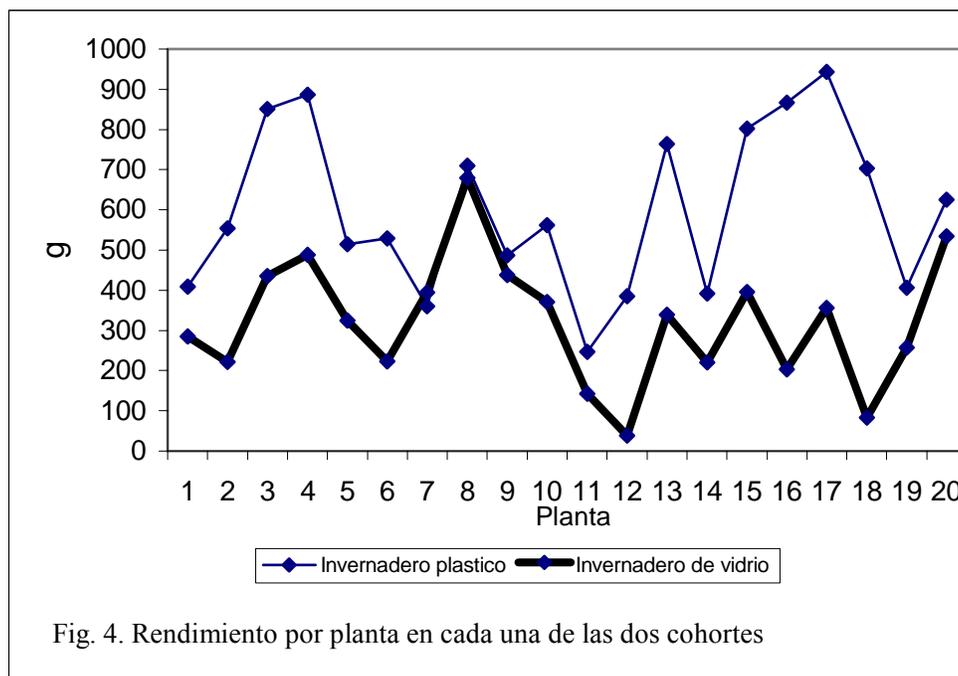
Heuvelink (1996) menciona que el peso medio de fruto se ve favorecido cuando se tiene un número menor de frutos por racimo. Sin embargo en el estudio de estas dos cohortes nuestro resultado es contrario a lo antes mencionado ya que para la cohorte de plástico en donde se obtuvo una menor transmisividad que en la cohorte de vidrio se presentó mayor peso fresco medio y también se presentó un mayor número de frutos por racimo.

Altura de planta

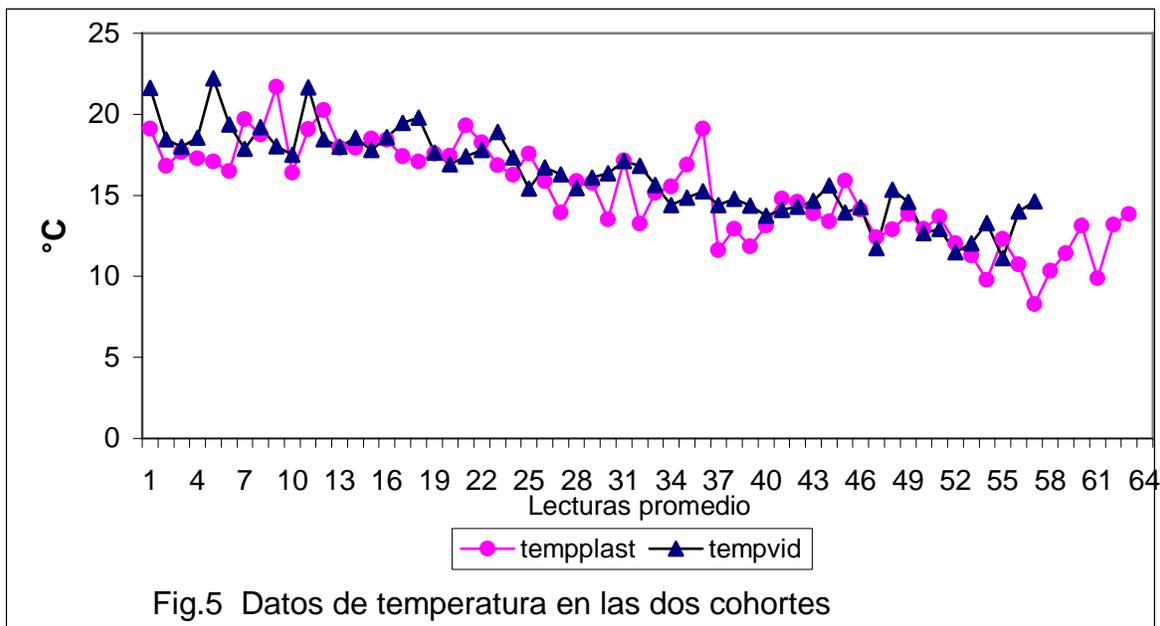
En el cuadro 7 se muestra la prueba de comparación de medias para la variable altura de planta en donde se encontró una diferencia significativa en las dos cohortes, las plantas de la cohorte del invernadero de plástico mostraron mayor altura de planta pese a que la iluminación fue menor que en el invernadero de vidrio.

La cohorte del invernadero de plástico proporciona un rendimiento de fruto por metro cuadrado de 4.7 kg. Superando a la cohorte del invernadero de vidrio en la que su rendimiento de fruto por metro cuadrado fue de 2.5 kg. Estos resultados confirman la capacidad productiva del cultivar Río grande en la cohorte de plástico, ya que se presentó mayor peso medio de fruto (lo que significa que son de mayor tamaño), obteniendo además una mayor cantidad de frutos totales.

El rendimiento total de frutos fue de 6.4 kg. en la cohorte de vidrio y 11.9 kg. en la cohorte de plástico (ver anexo 8) Fig. 4.



En cuanto a la temperatura presentada a lo largo de la investigación en las dos cohortes no se presento diferencia estadística significativa como se puede observar en a fig 5 (ver anexo 10).



Debido a que la luz fue la primera radiación electromagnética que se estudio y que en época reciente se conoció que el ojo responde solamente a una pequeña porción del espectro electromagnético existe un atraso, confusión y no diferenciación entre las unidades de fotometría, radiometría y radiación fotosintéticamente activa, por ello esta investigación es una aportación para reducir dichas confusiones. Sin embargo, hay que considerar que la respuesta del ojo humano es muy diferente a la de las celdas fotosintéticas.

VI Conclusiones

Los resultados de nuestro estudio se pueden resumir de la siguiente manera:

- Las dos poblaciones estudiadas estuvieron sometidas a un factor común que fue la irradiación solar en el periodo de la fase vegetativa a la maduración del fruto que presento un coeficiente de correlación alto y positivo de 0.999 con la RFA, igual en cuanto a incidencia para las dos cohortes en el periodo del 2 de julio al 23 de diciembre del año 2005, colocadas en invernaderos con cubiertas diferentes la primera en un invernadero de cubierta de vidrio (con un espesor de 7 mm) y la segunda en un invernadero con cubierta de plástico blanco lechoso translúcido con pigmento de dióxido de titanio como agente dispersor y calibre de 720 galgas en el mismo periodo y ubicación geográfica.
- La mayor transmisividad de la RFA, en el invernadero con cubierta de vidrio se traduce en general en forma negativa presentando: precocidad de las etapas fenológicas, cosecha temprana, baja calidad de fruto y rendimiento menor.

- La intensidad de la RFA (igual periodo anual y situación geográfica) en cada uno de las dos cohortes presento una correlación negativa con un valor de -0.652 con el rendimiento y los cortes (cosecha).
- La RFA tuvo, un efecto en los caracteres de la variedad Río grande como: son altura de planta, producción de frutos: tamaño y forma a excepción de la producción de flores, diámetro de los frutos y algunas características organolépticas (como el olor y sabor de los frutos de la cohorte del invernadero de plástico que era más intenso que los presentados en la cohorte del invernadero de vidrio). Aunque estas últimas observaciones no tienen valor estadístico.

VII Recomendaciones

Las propuestas asociadas al presente estudio son:

- Llevar a cabo una investigación en el cultivo de jitomate con una variedad de crecimiento indeterminado en el ciclo de primavera-verano y dar seguimiento al cultivo desde la emergencia hasta la cosecha del racimo número tres.
- Diseñar un experimento en donde el factor común sea la radiación solar y llevar a cabo podas de hojas y frutos.
- Hacer uso de datos solarimétricos plasmados en mapas de radiación y adecuar los cultivos a esas condiciones climatológicas de forma que las plantas las aprovechen mejor y estableciendo la diferenciación entre: la respuesta del ojo humano y las celdas fotosintéticas

VIII Bibliografía

- ALDRICH R. Y BARTOK J. 1994. Greenhouse Engineering, Natural Resource, Agricultural, and engineering, Service (NRAES) cooperative extension. pp 61-65, 92-177.
- ANAYA, L.A. 1998. Invernaderos una alternativa prometedora para las zonas áridas de México. (Ed) Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), México. pp 9-46
- BIGGS, W.W. 1984. Principles of radiation measurement, (Ed) Martinus Nijhoff. pp 1-40
- BLACKWOOD O, H. KELLY C., W y BELL R.M.1975. Física General (Ed) CECOSA. Séptima impresión pp 132-250
- BUECHE, F.J. 1977. Física para estudiantes de ciencias e ingeniería. Mc Graw Hill pp 5-95
- BUECHE, F.J. 1991. Física General (Ed) Mc Graw Hill. Tercera Edición. pp 36-69
- BUSTAMANTE, O.J. 1996. La modificación ambiental y su efecto fisiológico en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mil). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p 169.
- CHAMORRO, J. 2001 Anatomía y fisiología de la planta. El cultivo del tomate. Nuez, F. (Ed).Mundi-prensa, Madrid España pp 44-91
- CERNY, A.T.,N,C RAJAPKSE, AND O. Y. RYU. 1999Recent development in photoselective greenhouse covers. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for plasticulture. May 19-22, 1999 Tallahassee, Florida. pp 75-80

- COCKSHULL K., E, GRAVES C., J. AND CAROL R., J. CLACE. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *Sci. Hort* (1) 11-24
- DIAZ, C.A. 2002. Caracterización de la distribución de la radiación fotosintéticamente activa y de la estructura del dosel en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en el estado de Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp 31-42.
- FLORES, V.J. 2005. Consideraciones ambientales para cultivar tomate en invernadero: características climáticas, requerimientos de riego y modelación de temperatura.. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p 206
- FOLLETO TECNICO 2003. CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL (CENTA). San Salvador, El Salvador p 35.
- GRAJALES M., O y E. QUINTANA S. 2003. Guía para bioquímica, fisiología y genética vegetal, Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán U.N.A.M. p 75.
- GEIGER R., D. AND SERVAITES J., C. 1994. Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in C₃ plants. *Annu Rev.* 45: 235-256
- GUERRERO A. R., J. MARCIAL V., C (1991). Efecto de la poda en el cultivo de jitomate (*Licopersicum esculentum Mill*) bajo un sistema hidropónico de producción. Tesis Ingeniería Agrícola FES-C-UNAM
- HALL. D., O. y RAO. K.,K. 1983. Fotosíntesis, Tercera edición (Ed) Omega. pp 83
- HALL. D., O. y RAO. K.,K.. 2001. Photosynthesis (Studies in biology) Sext edition (Ed). Cambridge. pp 6-189

- HEUVELINK, V.E. 1996.Effect of fruit load on dry matter partitioning in tomato. Sci. Hort. 69: 51-59
- HEWITT, P. G. 1999. Física Conceptual. p 563(Ed) Addison Wesley Longman.
- HO, L.C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. Plant growth regulation. 2: 277-283
- KRUG, H. 1997. Environmental influences on development, growth and yield. In: The physiology of vegetable Crops. Cáp. 4 Editor H.O Wien. Editorial CAB International. pp 101-179.
- LEE W., D, STERVEN F. OBERBAUER, PAULETTE JOHNSON, BASKARAN KRINSHAPILAY, MARZALINA MANSOR, HARIS MOHAMAD, AND SON KHEONG Y AP 200. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian Hopea (*Dioptecoracarpacea*) species American Journal of Botany 84(4): 447-455
- LEON, G..M. 2003. Evaluación de sustratos en el cultivo del jitomate (*Lycopersicum esculentum Mill*). Tesis Ingeniería Agrícola, F.E.S-C UNAM. p62
- Mc AVOY R., J. AND H. W. JANES.1990. Cumulative light effects on growth and flowering of tomato seedling. Journal American Society Hort. Sci. 115(1):119-122.
- MENDEZ, R.I. 1983. El protocolo de investigación, Ed. Trillas
- MENDEZ, R.I. 2005, 2007. Comunicación personal
- MONSELISE S., P; VARGA A. AND BRUINSMA J. 1978. Growth analysis of the tomato fruit, (*Lycopersicum esculentum Mill*) Ann. Bot.42: 1245-1247

- MUÑOZ R., M; ALTAMIRANO C., J; CARMONA, M.; TRUJILLO F. G.; LOPEZ. C; CRUZ A. 1995. Desarrollo de ventajas competitivas en la agricultura (el caso de tomate rojo) SAGDER. CIESTAAM. Chapingo, México pp 14-43
- NAMENSY, A. Tomates “Producción y comercio” (Ed) Horticultura. Pág.135-137
- NELSON, P. 1991. Greenhouse operation Management. (Ed). Prentice Hall. pp 359-380
- PEREZ G., M y R. CASTRO B. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Boletín de Divulgación # 3. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Méx. p 58
- PINZON, L.L 1996. Comportamiento fisiológico del tomate en dos estaciones de crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p 171
- PONCE, O.J. 1995 Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de descuento en jitomate en hidroponía. Tesis profesional UACH, Chapingo. México. p 145
- RANDOLPH, A. 2000 el potencial de las nuevas tecnologías. Productores de hortalizas. Año 9 No.1 Enero.
- RODRÍGUEZ R.R.; TABARES R.J; MEDINA S.J. 2001. Cultivo Moderno del tomate. (Ed) Mundi-Prensa. Segunda Edición. Madrid, España. pp 15-23
- RYER, A.D.1997. The light Measurement Handbook, E.E. U.U. p64

- SAGARPA 2004. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Vol.1. Centro de Estadística Agropecuaria, D. F. México. pp 726-757
- SHAHEEN A., M., R.M. OMR, AND A. MAHMOUD. 1995. Seedling production of some vegetables under plastic houses at different levels of light intensities. Egyptian Journal of Horticulture. 22(2). 175-192
- SALUKHE, D.K. 2004. Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas (producción composición, almacenamiento y procesado). Ed. Acribia. pp 171-201
- SANCHEZ, C.F. 1994. Relaciones entre fuente y demanda en jitomate manejado con despunte y altas densidades de población. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p 196
- SANCHEZ, C. F. 1997. Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Tesis de doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. p 50-80
- SANJAY J. Y MORGAN D. 2003. Aquarium frontiers and Nancy, (Ed) Aquarium. pp 1-33
- SANTIAGO, J. 1997.Hortalizas en invernadero: Canadá, Estados Unidos y México. Productores de hortalizas. Año 6. No.3. Marzo
- SERRANO, C.Z. 1977 cultivo de hortalizas en invernadero. Biblioteca AEDOS, Barcelona España pp 11-267
- TESI, R. 2001. Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo, (Ed). Mundi-Prensa. p 236

- TOGNONI, F. 2000. Radiación. En Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y operación de invernaderos para la producción Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000, Guadalajara, Jal., México. pp 38-43.
- UCAN, C.I. 1999. Efecto del manejo de las relaciones fuente demanda sobre el tamaño de fruto de jitomate. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p 120
- VALDIVIA, V.M. 2000 Pruebas de diferentes sustratos para la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) Tesis de licenciatura. UACH, Chapingo, Méx. p 135
- VELASCO H., E Y R. NIETO A. 2005. Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. Publicación especial Num. 62. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. p 63
- WOLF S. And RUDICH J. 1988. The growth rates of fruits on different parts of the tomato plants and the effect of water stress on dry weight accumulation. Sci. Hort.

IX ANEXOS

Anexo 1 Nociones preliminares: Símbolos, Prefijos, Factores de conversión

Abreviaturas.

W= watt

g= gramo

lx= lux

cal= caloría

lm= lumen

nm= nanometros

cd= candela

mm= milímetros

Å= Ångstrom

Prefijos

Prefijos usados para el Sistema Internacional			
Prefijo	Símbolo	Valor	Equivalencia en unidades
giga	G	1×10^9	mil millones
mega	M	1×10^6	Millón
kilo	k	1×10^3	Mil
deca	da	1×10	Diez
deci	d	1×10^{-1}	Décima
centi	c	1×10^{-2}	Centésima
mili	m	1×10^{-3}	Milésima
micro	μ	1×10^{-6}	Millonésima
nano	n	1×10^{-9}	Mil millonésima

Factores de conversión

<p>Flujo radiante</p> <p>1 W (watt) = 683.0 lm = 555 nm</p> <p>1 J (joule) = 1 W s = 0.23388 g cal</p>	<p>Flujo luminoso</p> <p>1 lm (lumen) = 1.464×10^{-3} W = 555 nm</p>	<p>Densidad de flujo</p> <p>Irradiancia</p> <p>$1 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} = 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ = 6.83×10^6 lux = 555 nm = 14.33 g cal $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$</p>
<p>Iluminancia</p> <p>$1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \text{ lux (lx)}$ = $10^{-4} \text{ lm} \cdot \text{cm}^{-2}$ = 10^{-4} photon = 9.290×10^{-2} lm·ft⁻² = 9.290×10^{-2} foot-candelas (fc)</p>	<p>Radiancia</p> <p>$1 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}$ (esterioradian) = 6.83×10^6 lm·m⁻²·sr = 555nm = 683 cd·m⁻²</p>	<p>Luminancia</p> <p>$1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr} = 1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ = $10^{-4} \text{ cd} \cdot \text{cm}^{-2}$</p>
<p>1 m = 3.28 pies</p> <p>$1 \text{ m}^2 = 10.758 \text{ ft}^2$</p> <p>$1 \times 10^{-7} \text{ mm} = 1 \text{ A}^\circ$</p> <p>1 micr a = .001 mm</p> <p>1 milimicra = .00001 milímetros</p> <p>1 milimicra = 10 Ångstrom</p> <p>$1 \text{ W m}^{-2} \approx 4.6 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$</p>	<p>1000 lux = 1 klux = $19.5 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$</p> <p>$1 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} = 1 \mu\text{E s}^{-1} \text{m}^{-2}$ = 6.022×10^{17} fotones = 60.22×10^{23} photon s⁻¹m⁻²</p> <p>1 bujía · pie⁻¹ = 10.76 lux</p>	<p>5 μE = 1 fc</p> <p>1E (Einstein) = 6.022×10^{23} fotones</p> <p>10 000 lux = 1000 cd pie</p> <p>1.11 cd = 1.1 bj</p>

Anexo 2. Datos de irradiación solar y Radiación Fotosintéticamente Activa. Población I (invernadero de vidrio)

Datos de Irradiación solar global registrados en el Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM

Los totales horarios y el total diario están dados en MJ/m².

Fecha	DÍA	Irradiación total(MJ/m ²)	RFA(moles/día)	Fecha	DÍA	Irradiación total(MJ/m ²)	RFA(moles/día)	Fecha	DÍA	Irradiación total(MJ/m ²)	RFA(moles/día)
02-Jul-05	1	19.56	11.71	19-Ago-05	50	13.73	8.21	06-Oct-05	98	6.85	4.09
03-Jul-05	2	22.17	13.27	20-Ago-05	51	5.12	3.06	07-Oct-05	99	7.37	4.41
04-Jul-05	3	11.26	6.74	21-Ago-05	52	12.015	7.27	08-Oct-05	100	18.51	11.07
05-Jul-05	4	20.18	12.08	22-Ago-05	53	8.63	5.16	09-Oct-05	101	11.14	6.66
06-Jul-05	5	16.97	10.16	23-Ago-05	54	6.38	3.81	10-Oct-05	102	15.75	9.42
07-Jul-05	6	18.97	11.36	24-Ago-05	55	13.62	8.15	11-Oct-05	103	14.55	8.71
08-Jul-05	7	23.29	13.94	25-Ago-05	56	14.13	8.45	12-Oct-05	104	13.47	8.06
09-Jul-05	8	22.12	13.24	26-Ago-05	57	23.51	14.07	13-Oct-05	105	16.87	10.1
10-Jul-05	9	21.26	12.73	27-Ago-05	58	20.83	12.46	14-Oct-05	106	15.47	9.26
11-Jul-05	10	16.29	9.75	28-Ago-05	59	23.83	14.26	15-Oct-05	107	14.29	8.55
12-Jul-05	11	21.74	13.01	29-Ago-05	60	18.99	11.37	16-Oct-05	108	17.34	10.38
13-Jul-05	12	11.67	6.98	30-Ago-05	61	11.38	6.81	17-Oct-05	109	14.44	8.64
14-Jul-05	13	17.75	10.62	31-Ago-05	62	15.33	9.17	18-Oct-05	110	18.36	10.99
15-Jul-05	14	16.82	10.06	01-Sep-05	63	12.32	7.3	19-Oct-05	111	18.99	11.37
16-Jul-05	15	16.08	9.62	02-Sep-05	64	19.42	11.62	20-Oct-05	112	20.19	12.09
17-Jul-05	16	16.41	9.82	03-Sep-05	65	12.32	7.37	21-Oct-05	113	21.03	12.58
18-Jul-05	17	18.3	10.96	04-Sep-05	66	13.16	7.87	22-Oct-05	114	21.02	12.58
19-Jul-05	18	12.92	7.73	05-Sep-05	67	12.48	7.47	23-Oct-05	115	20.87	12.49
20-Jul-05	19	19.5	11.68	06-Sep-05	68	12.34	7.38	24-Oct-05	116	19.68	11.78
21-Jul-05	20	16.26	9.73	07-Sep-05	69	9.94	5.94	25-Oct-05	117	9.11	5.44
22-Jul-05	21	13.93	8.33	08-Sep-05	70	11.08	6.63	26-Oct-05	118	5.43	3.24
23-Jul-05	22	18.15	10.86	09-Sep-05	71	11.51	6.88	27-Oct-05	119	9.56	5.72
24-Jul-05	23	14.32	8.57	10-Sep-05	72	18.43	11.03	28-Oct-05	120	10.15	6.07
25-Jul-05	24	14.8	8.86	11-Sep-05	73	20.52	12.28	29-Oct-05	121	13.72	8.21
26-Jul-05	25	11.77	7.04	12-Sep-05	74	15.41	9.22	30-Oct-05	122	18.77	11.23
27-Jul-05	26	15.21	9.1	13-Sep-05	75	14.93	8.93	31-Oct-05	123	18.07	10.81
28-Jul-05	27	16.08	9.62	14-Sep-05	76	20.05	12	01-Nov-05	124	19.17	11.47
29-Jul-05	28	21.67	12.97	15-Sep-05	77	18.9	11.31	02-Nov-05	125	19.15	11.46
30-Jul-05	29	22.75	13.62	16-Sep-05	78	18.9	11.12	03-Nov-05	126	19.03	11.39
31-Jul-05	30	23.58	14.12	17-Sep-05	79	18.69	11.19	04-Nov-05	127	18.75	11.22
01-Ago-05	32	19.73	11.81	18-Sep-05	80	20.51	12.27	05-Nov-05	128	17.97	10.75
02-Ago-05	33	10.43	6.24	19-Sep-05	81	16.31	9.76	06-Ene-05	129	18.07	10.81

03-Ago-05	34	16.58	9.92	20-Sep-05	82	15.3	9.16	07-Nov-05	130	14.53	8.69
04-Ago-05	35	11.86	7.09	21-Sep-05	83	8.03	4.8	08-Nov-05	131	7.89	4.72
05-Ago-05	36	12.79	7.65	22-Sep-05	84	21.07	12.61	09-Nov-05	132	8.4	5.03
06-Ago-05	37	11.92	7.13	23-Sep-05	85	22.66	13.56	10-Nov-05	133	11.87	7.1
07-Ago-05	38	22.52	13.14	24-Sep-05	86	21.92	13.12	11-Nov-05	134	14.91	8.92
08-Ago-05	39	18.72	11.2	25-Sep-05	87	17.25	10.32	12-Nov-05	135	16.53	9.89
09-Ago-05	40	21.99	13.16	26-Sep-05	88	14.11	8.44	13-Nov-05	136	18.55	11.1
10-Ago-05	41	18.69	11.19	27-Sep-05	89	14.05	8.41	14-Nov-05	137	17.53	10.49
11-Ago-05	42	14.9	8.92	28-Sep-05	90	22.19	13.28	15-Nov-05	138	17.53	10.49
12-Ago-05	43	18.72	11.2	29-Sep-05	91	12.06	7.21	16-Nov-05	139	9.08	5.43
13-Ago-05	44	15.54	9.3	30-Sep-05	92	17.85	10.68	17-Nov-05	140	15.56	9.31
14-Ago-05	45	19.4	11.61	01-Oct-05	93	16.75	10.02	18-Nov-05	141	12.69	7.59
15-Ago-05	46	16.24	9.72	02-Oct-05	94	14.81	8.86	19-Nov-05	142	14.53	8.69
16-Ago-05	47	15.41	9.22	03-Oct-05	95	7.93	4.74	20-Nov-05	143	13.7	8.2
17-Ago-05	48	16.4	9.82	04-Oct-05	96	5.3	3.17	21-Nov-05	144	8.18	4.89
18-Ago-05	49	16.61	9.94	05-Oct-05	97	7.58	4.53	22-Nov-05	145	15.84	9.48

**Anexo 2. Datos de irradiación solar y Radiación Fotosintéticamente Activa.
Población I (invernadero de vidrio)**

Datos de Irradiación solar global registrados en el Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM

Los totales horarios y el total diario están dados en MJ/m².

Fecha	DÍA	Irradiación total(MJ/m ²)	RFA(moles/día)
23-Nov-05	146	16.01	9.58
24-Nov-05	147	15.79	9.45
25-Nov-05	148	16.13	9.65
26-Nov-05	149	13.36	7.99
27-Nov-05	150	16.55	9.9
28-Nov-05	151	16.51	9.7
29-Nov-05	152	15.82	9.46
30-Nov-05	153	16.39	9.81
01-Dic-05	154	18.71	11.21
02-Dic-05	155	18.8	11.26
03-Dic-05	156	18.86	11.3
04-Dic-05	157	20.13	12.06
05-Dic-05	158	18.83	11.28
06-Dic-05	159	12.13	7.27
07-Dic-05	160	12.59	7.64
08-Dic-05	161	16.34	9.79
09-Dic-05	162	16.01	9.459
10-Dic-05	163	12.59	7.54
11-Dic-05	164	13.77	8.25
12-Dic-05	165	12.67	7.59
13-Dic-05	166	12.12	7.26
14-Dic-05	167	17.21	11.29
15-Dic-05	168	16.89	10.12
16-Dic-05	169	17.21	10.31

Anexo 3. Datos de irradiación solar y Radiación Fotosintéticamente Activa Población I I(invernadero de plástico)

Datos de Irradiación solar global registrados en el Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM

Los totales horarios y el total diario están dados en MJ/m².

Fecha	DÍA	Irradiación total(MJ/m ²)	RFA(moles/día)	Fecha	DÍA	Irradiación total(MJ/m ²)	RFA(moles/día)	Fecha	DÍA	Irradiación total(MJ/m ²)	RFA(moles/día)
02-Jul-05	1	19.56	8.71	18-Ago-05	49	16.61	7.39	04-Oct-05	96	5.3	2.36
03-Jul-05	2	22.17	9.88	19-Ago-05	50	13.73	6.11	05-Oct-05	97	7.58	3.37
04-Jul-05	3	11.26	5.07	20-Ago-05	51	5.12	2.28	06-Oct-05	98	6.85	3.04
05-Jul-05	4	20.18	8.99	21-Ago-05	52	12.015	4.87	07-Oct-05	99	7.37	3.28
06-Jul-05	5	16.97	7.3	22-Ago-05	53	8.63	3.84	08-Oct-05	100	18.51	8.25
07-Jul-05	6	18.97	8.45	23-Ago-05	54	6.38	2.84	09-Oct-05	101	11.14	4.96
08-Jul-05	7	23.29	10.38	24-Ago-05	55	13.62	6.06	10-Oct-05	102	15.75	7.01
09-Jul-05	8	22.12	9.86	25-Ago-05	56	14.13	6.29	11-Oct-05	103	14.55	6.48
10-Jul-05	9	21.26	9.47	26-Ago-05	57	23.51	10.48	12-Oct-05	104	13.47	6
11-Jul-05	10	16.29	7.26	27-Ago-05	58	20.83	9.28	13-Oct-05	105	16.87	7.51
12-Jul-05	11	21.74	9.68	28-Ago-05	59	23.83	10.61	14-Oct-05	106	15.47	6.89
13-Jul-05	12	11.67	5.2	29-Ago-05	60	18.99	8.46	15-Oct-05	107	14.29	6.36
14-Jul-05	13	17.75	7.91	30-Ago-05	61	11.38	5.07	16-Oct-05	108	17.34	7.72
15-Jul-05	14	16.82	7.49	31-Ago-05	62	15.33	6.83	17-Oct-05	109	14.44	6.43
16-Jul-05	15	16.08	7.016	01-Sep-05	63	12.32	5.48	18-Oct-05	110	18.36	8.18
17-Jul-05	16	16.41	7.31	02-Sep-05	64	19.42	8.65	19-Oct-05	111	18.99	8.46
18-Jul-05	17	18.3	8.15	03-Sep-05	65	12.32	5.48	20-Oct-05	112	20.19	8.99
19-Jul-05	18	12.92	5.74	04-Sep-05	66	13.16	5.86	21-Oct-05	113	21.03	9.37
20-Jul-05	19	19.5	8.69	05-Sep-05	67	12.48	5.56	22-Oct-05	114	21.02	9.38
21-Jul-05	20	16.26	7.24	06-Sep-05	68	12.34	5.49	23-Oct-05	115	20.87	9.3
22-Jul-05	21	13.93	6.18	07-Sep-05	69	9.94	4.42	24-Oct-05	116	19.68	8.76
23-Jul-05	22	18.15	8.09	08-Sep-05	70	11.08	4.93	25-Oct-05	117	9.11	4.05
24-Jul-05	23	14.32	6.38	09-Sep-05	71	11.51	5.13	26-Oct-05	118	5.43	2.41
25-Jul-05	24	14.8	6.59	10-Sep-05	72	18.43	8.21	27-Oct-05	119	9.56	4.26
26-Jul-05	25	11.77	5.22	11-Sep-05	73	20.52	9.14	28-Oct-05	120	10.15	4.52
27-Jul-05	26	15.21	6.78	12-Sep-05	74	15.41	6.86	29-Oct-05	121	13.72	6.11
28-Jul-05	27	16.08	7.16	13-Sep-05	75	14.93	6.65	30-Oct-05	122	18.77	8.36
29-Jul-05	28	21.67	9.65	14-Sep-05	76	20.05	8.93	31-Oct-05	123	18.07	8.05
30-Jul-05	29	22.75	10.06	15-Sep-05	77	18.9	8.42	01-Nov-05	124	19.17	8.54
31-Jul-05	30	23.58	10.5	16-Sep-05	78	18.9	8.42	02-Nov-05	125	19.15	8.53

01-Ago-05	32	19.73	8.78	17-Sep-05	79	18.69	8.33	03-Nov-05	126	19.03	8.48
02-Ago-05	33	10.43	4.64	18-Sep-05	80	20.51	9.14	04-Nov-05	127	18.75	8.35
03-Ago-05	34	16.58	7.38	19-Sep-05	81	16.31	7.26	05-Nov-05	128	17.97	8
04-Ago-05	35	11.86	5.28	20-Sep-05	82	15.3	6.82	06-Ene-05	129	18.07	8.05
05-Ago-05	36	12.79	5.69	21-Sep-05	83	8.03	3.57	07-Nov-05	130	14.53	6.47
06-Ago-05	37	11.92	5.3	22-Sep-05	84	21.07	9.38	08-Nov-05	131	7.89	3.51
07-Ago-05	38	22.52	10.03	23-Sep-05	85	22.66	10.1	09-Nov-05	132	8.4	3.73
08-Ago-05	39	18.72	8.34	24-Sep-05	86	21.92	9.76	10-Nov-05	133	11.87	5.28
09-Ago-05	40	21.99	9.8	25-Sep-05	87	17.25	7.68	11-Nov-05	134	14.91	6.64
10-Ago-05	41	18.69	8.33	26-Sep-05	88	14.11	6.28	12-Nov-05	135	16.53	7.36
11-Ago-05	42	14.9	6.64	27-Sep-05	89	14.05	6.26	13-Nov-05	136	18.55	8.26
12-Ago-05	43	18.72	8.34	28-Sep-05	90	22.19	9.88	14-Nov-05	137	17.53	7.81
13-Ago-05	44	15.54	6.92	29-Sep-05	91	12.06	5.37	15-Nov-05	138	17.53	7.81
14-Ago-05	45	19.4	8.64	30-Sep-05	92	17.85	7.95	16-Nov-05	139	9.08	4.04
15-Ago-05	46	16.24	7.23	01-Oct-05	93	16.75	7.46	17-Nov-05	140	15.56	6.93
16-Ago-05	47	15.41	6.86	02-Oct-05	94	14.81	6.6	18-Nov-05	141	12.69	5.65
17-Ago-05	48	16.4	7.3	03-Oct-05	95	7.93	3.53	19-Nov-05	142	14.53	6.47

Anexo 3. Datos de irradiación solar y Radiación Fotosintéticamente Activa Población I I(invernadero de plástico)

Datos de Irradiación solar global registrados en el Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica,
UNAM

Los totales horarios y el total diario están dados en MJ/m2.

20-Nov-05	143	13.7	6.1
21-Nov-05	144	8.18	3.64
22-Nov-05	145	15.84	7.05
23-Nov-05	146	16.01	7.14
24-Nov-05	147	15.79	7.03
25-Nov-05	148	16.13	7.18
26-Nov-05	149	13.36	5.95
27-Nov-05	150	16.55	7.37
28-Nov-05	151	16.51	7.22
29-Nov-05	152	15.82	7.04
30-Nov-05	153	16.39	7.3
01-Dic-05	154	18.71	8.34
02-Dic-05	155	18.8	8.38
03-Dic-05	156	18.86	8.12
04-Dic-05	157	20.13	8.96
05-Dic-05	158	18.83	8.39
06-Dic-05	159	12.13	5.4
07-Dic-05	160	12.59	5.6
08-Dic-05	161	16.34	7.27
09-Dic-05	162	16.01	7.13
10-Dic-05	163	12.59	5.6
11-Dic-05	164	13.77	6.13
12-Dic-05	165	12.67	5.64
13-Dic-05	166	12.12	5.4
14-Dic-05	167	17.21	7.67
15-Dic-05	168	16.89	7.52
16-Dic-05	169	17.21	7.61

Anexo 4. Invernadero de plástico: Datos del diámetro, altura y peso fresco de cada uno de los frutos

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

<u>Invernadero de plástico</u>	diámetro	altura	peso fresco	<u>Invernadero de plástico</u>	diámetro	altura	peso fresco
planta 1	3.73	4.9	43.86	planta4	4.3	4.84	60.36
	4.15	5.1	50.11		3.94	5.33	46.58
	3.34	4.27	31.84		4.45	5.33	46.58
	3.73	4.9	39.31		4.2	4.8	52.98
	3.74	4.73	66.29		4.94	6.65	78.27
	3.6	5	42.27		4.2	5.7	58.55
	3.86	4.8	42.09		3.35	5.2	38.02
	3.3	4.5	27.47		4.29	7.05	75.41
	2.46	4.5	17.61		4.5	5	61.82
	2.2	3.8	14.32		2.56	3.4	15.5
	2.6	4.2	19.86		3.74	4.1	37.3
	2.45	3.5	13.55		3.36	4.1	63.43
	2.15	3.4	10.5		4.46	6.3	80.27
	planta 2	4.3	5.9		60.29	4.4	6.3
4.1		5.45	55.31	4.5	5.83	71.75	
5.5		3.6	40.64	3.42	3.9	28.82	
2.72		4.5	22.08	4	5	49	
3.7		4.96	36.9	4.1	5.64	53.86	
5		6.5	82.06	4.17	5.4	60.49	
4.5		5.9	37.33	4.45	5.25	58.11	
3.7		4.74	38.5	3.9	4.7	47.86	
4		5.5	47.02	3.46	4.2	31.36	
3.4		4.95	37.1	4.8	5.7	75.5	
3.4		5.3	39.26	4.4	5.8	74.78	
3.1		5	30.82	4.35	6	63.81	
2.7		3.8	15.7	4.6	5.4	71.63	
2.3		2.6	6.548	4.33	6.1	70.77	
planta 3	5	5.43	72.45	4	5.2	50.13	
	4.87	5.8	84.9	3.9	5.7	52.71	
	4.7	7	81.64	3.65	5.13	40.3	
	4.9	6.1	83	3.4	5.35	41.23	
	4.5	5.9	75.63	4.07	4.9	49.08	
	4.97	5.7	65.1	3.9	4.9	46.87	

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

<u>Invernadero de plástico</u>	diámetro	altura	peso fresco
planta6	3.5	4.6	33.35
	4.2	5.5	57.55
	4.1	5.9	73.06
	3.3	4.1	26.18
	4.3	5.17	55.57
	3.7	4.96	36.9
	4	4.8	47.12
	4.5	6	75.38
	4.6	5.9	77.3
	3.1	4.5	29.73
planta7	4.2	5.4	57.07
	4.1	5.74	62.96
	4.67	6.6	92.36
	4.8	6.2	84.94
	3.1	5	33.47
planta8	2.7	5.47	27.62
	5.5	6.35	104.22
	5	6.5	95.29
	4.9	6.8	100.89
	5.16	6.3	94.41
	5.5	6.8	115.16
	4.92	5.7	94.41
planta9	4.6	5.6	77.87
	4.65	6	78.03
	5.2	7	104.78
	4.14	5.2	45.29
	3.4	5.8	54.16
	3.2	4.48	28.84
	3.2	4.5	24.63
	4.25	5.3	54.94
	4.25	5.5	57.97
	3.86	4.54	38.81
4.45	5.26	50.91	

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

<u>Invernadero de plástico</u>	diámetro	altura	peso fresco
planta10	4.5	5.9	69.91
	4.53	6.3	85.87
	4.7	6.5	93.16
	5	6.1	103.65
	4.72	5.66	69.93
	3.9	5.2	48.04
	2.6	4.3	14.1
	3.35	4.5	26.6
	3.06	5.4	35.92
	3.8	4.7	35.16
planta11	3.7	4.73	41.88
	2.15	3.1	7.01
	3	5.8	42.1
	4.1	7.23	84.02
	3.25	4.95	29.39
	4.8	6.07	75.82
	4.25	5.3	54.94
planta12	4.1	7.23	84.02
	4.8	5.5	75.07
	3.64	5	31.36
	3.76	4.84	34.5
	2.1	3.04	8.86
	4.73	6.1	80.35
	4.75	5.7	82.89
planta13	3.8	4.8	46.46
	4.2	5.2	59.52
	4.3	5.8	69.25
	4.12	5.34	90.75
	4.6	5.8	78.08
	4.8	5.86	84.26
	4.3	5.4	69.98
	4.7	6.2	93.36
4	5.2	54.64	

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

Invernadero de plástico

	diámetro	altura	peso fresco	
planta14	5.3	5.4	79.68	
	3.8	4.7	46.41	
	4.25	5.2	63.95	
	4.45	5.4	66.8	
	2.73	3.9	16.19	
	4	4.82	43.88	
	3.07	4.4	20.5	
	2.66	3.2	18.2	
	planta15	5.5	6.2	103.89
		5.85	6.1	107.2
5.78		6.7	123.4	
4.94		6.2	86.66	
4.99		6.72	101.38	
4.6		6.4	93.28	
4.94		5.3	69.42	
4		5.25	43.17	
3.52		4.2	21.27	
3.7		4.76	33.99	
planta16	4.23	5.86	56.47	
	5.32	6.6	110.29	
	4.2	5.3	55.1	
	3.15	4.2	25.6	
	4.1	6.2	78.88	
	5.09	6.2	10.35	
	4.2	6.16	71.5	
	5.17	6.5	103	
	4.2	6.14	74.38	
	4.73	6.54	94.87	
planta17	4.26	5	48.34	
	4.96	5.49	74.68	
	4.3	5.8	63.28	
	4.55	5.9	90.87	
	4.74	6.3	93.5	

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

Invernadero de plástico

	diámetro	altura	peso fresco
planta18	4.6	6.6	82.44
	4.7	6.4	91.81
	4.74	6.4	84.34
	5.25	7.14	114.76
	4.9	6.4	96.37
	4.7	6	74.53
	2.8	2.9	24.45
	4.9	6.3	87.24
	4	5.7	63.74
	3.73	4.6	39.34
planta19	4.3	5.6	58.8
	4.2	5.4	52.78
	4.35	5.4	59.4
	1.4	3.15	2.3
	4.73	2	67.49
	5.16	5.2	94.51
	5.3	5.95	68.67
	4.84	5.26	79.5
	4.4	5.5	56.4
	3.42	5.5	25.71
planta20	3.73	4.213	39.34
	5	6.76	98.4
	4.81	5.6	77.15
	4.4	6	82
	4.9	6.3	100.05
	4.95	6.2	89.2
	4.5	5.1	52.57
	5.3	6.3	86.06
	4.26	5.96	49.38
	5	6.82	88.59
3.6	4.8	32.14	
4.7	5.5	69.97	
2.9	4.7	20.64	

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

Invernadero de plástico

diámetro	altura	peso fresco
4.25	6	50.4
4.3	5.1	41.73
4.5	5.45	74
4.43	5.34	70.05
3.96	5.16	47.1

Anexo 5. Invernadero de vidrio: Datos del diámetro, altura y peso fresco de cada uno de los frutos

Invernadero de vidrio

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

	diámetro	altura	peso fresco
planta 1	3.7	5.93	48.54
	4.04	6.16	60.65
	3.7	5.45	46.97
	4.25	5.6	58.54
	3.35	4.3	26.93
planta 2	4	4.5	43.16
	4.72	5.67	78.3
	3.9	5.13	44.41
	3.37	5	31.09
	2.6	3	12.06
planta3	9.2	5.7	55.89
	4.4	5.3	59.22
	3.6	4.6	37.23
	3.8	4.6	37.51
	3.9	4.6	42.25
planta4	4.4	5.3	62.01
	3.28	5.6	60.2
	5.2	4.2	49.36
	4.3	5.4	60.45
	3.2	4.2	27.35
planta5	5.05	6.4	99.488
	4.8	6.2	84.75
	4.53	6.15	77.69
	2.25	2.3	6.75
	3.9	5.1	42.71
planta6	3.9	4.9	41.53
	4.7	5.2	58.91
	2.3	2.7	7.33
	4.53	5.95	69.6
	4.75	5.64	60.2

Invernadero de vidrio

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

	diámetro	altura	peso fresco
planta6	4.8	5.7	60.12
	4.26	5.75	60.34
	4.35	5.9	63.54
	4.6	5.6	69.9
	4.8	5.7	60.12
planta7	4.26	5.75	60.39
	3.45	4.2	33.01
	5	6.1	97.1
	5.15	6.4	95.13
	3.7	5.6	49.2
planta 8	4.4	6.4	76.91
	5	6.1	9.1
	4.57	5.6	66.65
	4.3	5.2	53.9
	4.7	5.65	69.58
planta9	4.7	5.42	68.06
	4.4	5	62.34
	4.8	5.7	84.65
	4.5	5.3	66.18
	4.59	5.4	54.24
planta9	3.97	6.3	62.49
	4.5	6.3	80.07
	4.75	6.4	77.5
	5.2	6.2	91.9
	4.24	5.7	58.6
planta9	3.9	4.62	40.68
	5.8	4.6	62.16
	4.1	6.1	59
	4.8	6	76.14
	3.76	4.6	36.95

3.6	5.3	45.55	2	2	4.56
3.6	4.6	34.9	2.5	2.2	7.57

Invernadero de vidrio

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

	diámetro	altura	peso fresco
planta10	4.8	6.1	76.3
	3	3.5	19.9
	3.5	5.1	40.27
	4.4	6.1	71.72
	4.7	5.9	74.37
planta11	4.95	6.3	87.71
	3.9	5.1	45.63
	3.66	4.85	38.6
	3.5	4.1	38.12
	2.8	4.3	19.59
planta12	3.44	4.3	32.18
	2.4	2.2	6.23
planta13	4.5	5.9	69.41
	4	5.7	57.07
	3.9	4.6	40.42
	3.2	4.4	28.76
	3.5	5.75	43.17
planta14	3.2	4.3	31.53
	4.2	5.5	52.89
	2.8	3.2	15.76
	4	5.37	50.42
	2.32	4.1	25.31
	4.3	5.5	58.6
	4.25	5.4	57.01
1.32	1.2	3.5	
2.82	4.4	25.2	

Invernadero de vidrio

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

	diámetro	altura	peso fresco
planta16	4.6	5.67	64.96
	5.3	3.9	54.63
	3.9	4.8	43.1
	3.5	4.55	34.82
	3.44	4.4	29.96
planta17	3	4.6	27.83
	4.3	5.4	62.54
	2.2	1.94	5
	4.9	4	46.24
	5.3	4.4	62.99
planta18	3.6	5.3	41.29
	3.9	5	45.05
	3.82	5.6	52.32
	3.8	5.7	51.46
	4.3	5	57.16
planta19	2.6	2.5	9.59
	3.34	4.23	26.2
	4	5.4	47.97
	4.5	6.14	67.04
	4.44	6.5	66.51
planta 20	3.3	3.3	18.42
	4.3	5.7	64
	4.43	3.05	22.08
	2.4	3	10.6
	2.35	2.3	8.13
4.73	6.15	79.07	

planta15	3.5	4.6	30.2	3.96	5.2	49.8
	4.1	5.55	53.96	4.83	5.85	77.2
	4	5.5	51.7	3.8	4.2	30.78
	3.9	6.5	60.58	2.9	3	15.33
	3.6	5.6	50.07	3.35	4.6	30.07
	3.4	4.5	30.1	4.9	5.8	88.45

Invernadero de vidrio

Datos diámetro, altura , peso fresco de cada uno de los frutos

diámetro	altura	peso fresco
4.96	5.9	79.36
2.35	2.3	8.13
4.9	5.7	75.59

Anexo 6. Correlación entre el número de días y la RFA

plástico	díasp	RFAp	diasv	RFAV
	55	395.29	41	416.81
	13	93.54	18	176
	56	384.88	40	356.03
vidrio	díasp	RFAp	diasv	RFAV
	13	93.54	18	176
	55	395.94	40	356.03
	56	384.88	41	416.81

	días	RFA
días	1	
RFA	0.92073306	1

Anexo 7. Correlación entre el rendimiento/ corte

	rend/corte	RFA
vidrio	691.55	1248.76
vidrio	2370.708	1369.92
vidrio	1902.54	1458.35
vidrio	1464.76	1589.509
plástico	2562.11	1068.106
plástico	4590.528	1141.296
plástico	3937.22	1181.266

	rend/corte	RFA
rend/corte	1	
RFA	-0.6522452	1

Anexo 8.**Rendimiento por planta (gramos) en cada una de las cohortes**

	planta 1	planta 2	planta 3	planta 4
Cohorte plástico	408.58	553.51	850.608	886.4
Cohorte vidrio	284.79	221.75	435.58	488.758
	planta 5	planta 6	planta 7	planta 8
Cohorte plástico	514.44	529.28	360.53	709.87
Cohorte vidrio	324.65	223.42	394.09	679.01
	planta 9	planta 10	planta 11	planta12
Cohorte plástico	1143.31	1144.21	965.39	816.86
Cohorte vidrio	437.56	370.27	141.94	38.41
	planta 13	planta 14	planta 15	planta 16
Cohorte plástico	763.76	392.05	801.86	866.74
Cohorte vidrio	339.01	220.04	396.2	203.25
	planta 17	planta18	planta 19	planta20
Cohorte plástico	943.39	703.3	406.03	625
Cohorte vidrio	356.51	83.76	256.78	533.78

Anexo 9. Análisis de varianza

One-Way ANOVA

Número de abortos o caída de flores

Summary Statistics

Dataset	N	Mean	SD	SE
Data1_nap	56	2.44643	1.58309	0.21155
Data1_nav	60	3.78333	1.40329	0.18116

Null Hypothesis: The means of all selected datasets are equal

Alternative Hypothesis: The means of one or more selected datasets are different

ANOVA

Source	DoF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Model	1	51.7704844	51.7704844	23.23350	4.46465E-6
Error	114	254.022619	2.22826859		

At the 0.05 level,
the population means are significantly different.

Means Comparison using Scheffe' Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_nap	2.44643				
Data1_nav	3.78333	-1.3369	-1.88635	-0.78746	Yes

- Means Comparison using Tukey Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_nap	2.44643				
Data1_nav	3.78333	-1.3369	-1.88635	-0.78746	Yes

- Power Analysis

Alpha	Total Sample Size	Power
0.05	116	0.99759 (actual)

One Sample t-Test

Summary Statistics

Sample	N	Mean	SD	SE
Data1_frutpla	56	3.625	1.64662	0.22004

Null Hypothesis: Mean = 0
 Alternative Hypothesis: Mean <> 0

t	DoF	P Value
16.47434	55	6.30988E-23

At the 0.05 level, the population mean is significantly different than the test mean (0).

Confidence Interval for Mean

Level	Lower Limit	Upper Limit
90	3.25687	3.99313
95	3.18403	4.06597
99	3.03788	4.21212

Power Analysis

Alpha	Sample Size	Power
0.05	56	1.00000 (actual)

Two Sample Independent t-Test

Summary Statistics

Sample	N	Mean	SD	SE
1. Data1_frutpla	56	3.625	1.64662	0.22004
2. Data1_numfrutvid	60	2.2	1.32512	0.17107

Difference of Means: 1.425

Null Hypothesis: Mean1 - Mean2 = 0
Alternative Hypothesis: Mean1 - Mean2 \neq 0

t	DoF	P Value
5.15091	114	1.09678E-6

At the 0.05 level, the difference of the population means is significantly different than the test difference (0).

One Sample t-Test

Número de flores

Summary Statistics

Sample	N	Mean	SD	SE
numflor_nfp	56	6.08929	0.34519	0.04613

Null Hypothesis: Mean = 0
Alternative Hypothesis: Mean \neq 0

t	DoF	P Value
132.00874	55	1.6582E-70

At the 0.05 level, the population mean is significantly different than the test mean (0).

Confidence Interval for Mean

Level	Lower Limit	Upper Limit
90	6.01211	6.16646
95	5.99684	6.18173
99	5.96621	6.21237

Power Analysis

Alpha	Sample Size	Power
0.05	56	1.00000 (actual)

Two Sample Independent t-Test

Summary Statistics

Sample	N	Mean	SD	SE
1. numflor_nfp	56	6.08929	0.34519	0.04613
2. numflor_nfv	60	6.01667	0.34404	0.04442

Difference of Means: 0.07262

Null Hypothesis: Mean1 - Mean2 = 0
 Alternative Hypothesis: Mean1 - Mean2 < 0

t	DoF	P Value
1.13419	114	0.25910

At the 0.05 level, the difference of the population means is not significantly different than the test difference (0).

One-Way ANOVA

Summary Statistics

Dataset	N	Mean	SD	SE
numflor_nfp	56	6.08929	0.34519	0.04613
numflor_nfv	60	6.01667	0.34404	0.04442

Null Hypothesis: The means of all selected datasets are equal
 Alternative Hypothesis: The means of one or more selected datasets are different

ANOVA

Source	DoF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Model	1	0.152750411	0.152750411	1.28638	0.25910
Error	114	13.5369048	0.118744779		

At the 0.05 level, the population means are not significantly different.

Means Comparison using Scheffe' Test

Dataset	Mean	Difference	Simultaneous	Significant	
	between	Confidence	Intervals	at 0.05	
numflor_nfp	6.08929	Means	Lower Limit	Upper Limit	Level
numflor_nfv	6.01667	0.07262	-0.05422	0.19946	No

Means Comparison using Tukey Test

Dataset	Mean	Difference	Simultaneous	Significant	
	between	Confidence	Intervals	at 0.05	
numflor_nfp	6.08929	Means	Lower Limit	Upper Limit	Level
numflor_nfv	6.01667	0.07262	-0.05422	0.19946	No

Power Analysis

Alpha	Total	Power
	Sample Size	
0.05	116	0.20279 (actual)

One-Way ANOVA

Número de frutos

Summary Statistics

Dataset	N	Mean	SD	SE
Data1_frutpla	56	3.625	1.64662	0.22004
Data1_numfrutvid	60	2.2	1.32512	0.17107

Null Hypothesis: The means of all selected datasets are equal
 Alternative Hypothesis: The means of one or more selected datasets are different

ANOVA

Source	DoF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Model	1	58.8181034	58.8181034	26.53186	1.09678E-6
Error	114	252.725000	2.21688596		

At the 0.05 level,
 the population means are significantly different.

Means Comparison using Scheffe' Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_frutpla	3.625				
Data1_numfrutvid	2.2	1.425	0.87696	1.97304	Yes

Means Comparison using Tukey Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_frutpla	3.625				
Data1_numfrutvid	2.2	1.425	0.87696	1.97304	Yes

Power Analysis

Alpha	Total Sample Size	Power
0.05	116	0.99918 (actual)

One-Way ANOVA

Diámetro medio del fruto

Summary Statistics

Dataset	N	Mean	SD	SE
Data1_dfp	203	4.13355	0.79041	0.05548
Data1_dfv	131	3.99031	0.94097	0.08221

Null Hypothesis: The means of all selected datasets are equal
 Alternative Hypothesis: The means of one or more selected datasets are different

ANOVA

Source	DoF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Model	1	1.63364735	1.63364735	2.24767	0.13477
Error	332	241.304034	0.726819380		

At the 0.05 level,
 the population means are not significantly different.

Means Comparison using Scheffe' Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_dfp	4.13355				
Data1_dfv	3.99031	0.14324	-0.04471	0.33119	No

Means Comparison using Tukey Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_dfp	4.13355				
Data1_dfv	3.99031	0.14324	-0.04471	0.33119	No

Power Analysis

Alpha	Total Sample Size	Power
0.05	334	0.32121 (actual)

Two Sample Independent t-Test

Summary Statistics

Sample	N	Mean	SD	SE
1. Data1_nap	56	2.44643	1.58309	0.21155
2. Data1_nav	60	3.78333	1.40329	0.18116

Difference of Means: -1.3369

Null Hypothesis: Mean1 - Mean2 = 0
Alternative Hypothesis: Mean1 - Mean2 \neq 0

t	DoF	P Value
-4.82011	114	4.46465E-6

At the 0.05 level, the difference of the population means is significantly different than the test difference (0).

One Sample t-Test

Summary Statistics

Sample	N	Mean	SD	SE
Data1_nap	56	2.44643	1.58309	0.21155

Null Hypothesis: Mean = 0
Alternative Hypothesis: Mean \neq 0

t	DoF	P Value
11.56435	55	2.37457E-16

At the 0.05 level, the population mean is significantly different than the test mean (0).

Confidence Interval for Mean

Level	Lower Limit	Upper Limit
90	2.0925	2.80036
95	2.02247	2.87038
99	1.88197	3.01089

Power Analysis

Alpha	Sample Size	Power
0.05	56	1.00000 (actual)

One-Way ANOVA

Longitud del fruto

Summary Statistics

Dataset	N	Mean	SD	SE
Data1_lfp	203	5.37139	0.92411	0.06486
Data1_lfv	131	4.96695	1.14747	0.10025

Null Hypothesis: The means of all selected datasets are equal
 Alternative Hypothesis: The means of one or more selected datasets are different

ANOVA

Source	DoF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Model	1	13.0240252	13.0240252	12.58175	4.45576E-4
Error	332	343.670633	1.03515251		

At the 0.05 level,
 the population means are significantly different.

Means Comparison using Scheffe' Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_lfp	5.37139				
Data1_lfv	4.96695	0.40445	0.18015	0.62875	Yes

Means Comparison using Tukey Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_lfp	5.37139				
Data1_lfv	4.96695	0.40445	0.18015	0.62875	Yes

-

Power Analysis

Alpha	Total Sample Size	Power
0.05	334	0.94258 (actual)

One-Way ANOVA

Peso fresco del fruto

Summary Statistics

Dataset	N	Mean	SD	SE
Data1_pfp	203	59.09437	26.27474	1.84413
Data1_pfv	131	49.0806	22.84697	1.99615

Null Hypothesis: The means of all selected datasets are equal
 Alternative Hypothesis: The means of one or more selected datasets are different

ANOVA

Source	DoF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Model	1	7983.93272	7983.93272	12.78593	4.01102E-4
Error	332	207311.069	624.430932		

At the 0.05 level,
 the population means are significantly different.

Means Comparison using Scheffe' Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_pfp	59.09437				
Data1_pfv	49.0806	10.01378	4.50486	15.5227	Yes

Means Comparison using Tukey Test

Dataset	Mean	Difference	Simultaneous	Significant	
	between	Confidence	Intervals	at 0.05	
Data1_pfp	59.09437	Means	Lower Limit	Upper Limit	Level
-					
Data1_pfv	49.0806	10.01378	4.50481	15.52275	Yes
-					

Power Analysis

Alpha	Total Sample Size	Power
0.05	334	0.94580 (actual)

One-Way ANOVA

Altura de planta

Summary Statistics

Dataset	N	Mean	SD	SE
Data1_app	20	84.3	3.41976	0.76468
Data1_apv	20	64.175	7.649	1.71037

Null Hypothesis: The means of all selected datasets are equal
 Alternative Hypothesis: The means of one or more selected datasets are different

ANOVA

Source	DoF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Model	1	4050.15625	4050.15625	115.38582	4.50306E-13
Error	38	1333.83750	35.1009868		

At the 0.05 level,
 the population means are significantly different.

Means Comparison using Scheffe' Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_app	84.3				
Data1_apv	64.175	20.125	16.33224	23.91776	Yes

Means Comparison using Tukey Test

Dataset	Mean	Difference between Means	Simultaneous Confidence Intervals Lower Limit	Upper Limit	Significant at 0.05 Level
Data1_app	84.3				
Data1_apv	64.175	20.125	16.33224	23.91776	Yes

Power Analysis

Alpha	Total Sample Size	Power
0.05	40	1.00000 (actual)

Anexo 10. Datos de la temperatura y análisis de varianza en la cohorte de vidrio y plástico

tempplast	tempvid	tempplast	tempvid	tempplast	tempvid
19.119	21.637	15.877	15.439	12.296	11.118
16.835	18.47	15.781	16.09	10.738	13.991
17.68	17.99	13.502	16.362	8.292	14.637
17.275	18.55	17.158	17.106	10.343	
17.084	22.232	13.25	16.818	11.411	
16.491	19.373	15.138	15.629	13.115	
19.701	17.858	15.546	14.387	9.896	
18.741	19.209	16.891	14.87	13.183	
21.699	18.016	19.106	15.252	13.836	
16.395	17.496	11.604	14.403		
19.062	21.65	12.917	14.804		
20.262	18.466	11.831	14.371		
17.922	17.986	13.117	13.747		
17.922	18.549	14.794	14.118		
18.487	17.81	14.592	14.314		
18.419	18.59	13.866	14.662		
17.416	19.454	13.393	15.61		
17.093	19.792	15.896	13.927		
17.587	17.65	14.107	14.281		
17.433	16.9327	12.41	11.732		
19.319	17.394	12.909	15.352		
18.27	17.799	13.843	14.604		
16.855	18.915	12.918	12.673		
16.27	17.336	13.679	12.911		
17.571	15.405	12.047	11.479		
15.86	16.728	11.295	12.045		
13.934	16.304	9.78	13.276		

Anexo 10. Análisis de varianza Variable: Temperatura

Source	DF	Sum of squares	Mean Square	F Value	Pr >F
Model	1	5.854137	5.854137	0.75	0.3876
Error	104	808.812173	7.7770401		
Corrected Total	105	814.666631			

R-Square	Coeff var	Root MSE	Temperatura Mean
0.007186	17.35613	2.788735	16.06772

Source	DF	Type SS	Mean Square	F value	Pr >F
cubierta	1	5.85413695	5.85413695	0.75	0.3876

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F value	Pr >F
cubierta	1	5.85413695	5.85413695	0.75	0.3876

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for temperatura

Note

This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	104
Error Mean Square	7.77704
Critical Value of Studentized Range	2.80444
Minimum Significant Difference	1.075
Harmonic Mean of Cell Sizes	52.92453

Note: Cell sizes are not equal.

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	Cubierta
A	16.3118	51	vidrio
A	15.8414	55	plástico