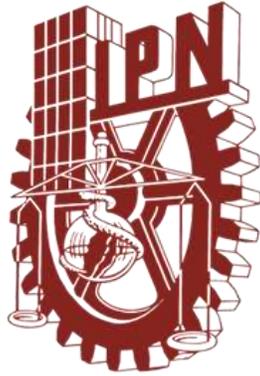


INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL



CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD DURANGO

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CAPSAICINA Y
CONSUMO DE AGUA DEL CHILE HABANERO *CAPSICUM*
CHINENSE EN TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
GESTIÓN AMBIENTAL**

QUE PRESENTA

KATIA DONAHI GARCÍA CASAS

COMITÉ TUTOTIAL:

M. C. NÉSTOR NARANJO JIMÉNEZ

M.C. JOSÉ NATIVIDAD URIBE SOTO

DRA. NORMA ALMARÁZ ABARCA

M.C. GILDARDO OREA LARA

Victoria de Durango, junio 2018



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

SIP-14-025

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 14:00 horas del día 5 del mes de junio del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Determinación del contenido de capsaicina y el consumo de agua del chile habanero Capsicum chinense en tres sistemas de producción

Presentada por el alumno:

GARCÍA	CASAS	KATIA DONAHI							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)							
		Con registro: <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">B</td> <td style="padding: 2px 5px;">1</td> <td style="padding: 2px 5px;">6</td> <td style="padding: 2px 5px;">0</td> <td style="padding: 2px 5px;">7</td> <td style="padding: 2px 5px;">0</td> <td style="padding: 2px 5px;">0</td> </tr> </table>	B	1	6	0	7	0	0
B	1	6	0	7	0	0			

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

 <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> <p>M. en C. Néstor Naranjo Jiménez</p>	 <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> <p>M. en C. José Natyvidad Uribe Soto</p>
 <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> <p>Dra. Norma Almanaz Abarca</p>	 <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> <p>M. en C. Gilardo Orta Lara</p>
 <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> <p>M. en C. Eli Amanda Delgado Alvarado</p>	

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



Dr. Eduardo Sánchez Ortiz



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
 DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
 CIIDIR-IPN UNIDAD DURANGO
 IPN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-13-BE

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 04 de mayo del 2018

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-IPN Durango en su sesión ordinaria No. 4 celebrada el día 4 del mes de mayo conoció la solicitud presentada por el(ia) alumno(a):

GARCÍA

CASAS

KATIA DONAHI

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre (s)

Con registro:

B	1	6	0	7	0	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Determinación del contenido de capsaicina y el consumo de agua del chile habanero *Capsicum chinense* en tres sistemas de producción

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:

M. en C. Néstor Naranjo Jiménez y M. en C. José Natividad Uribe Soto

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en: El CIIDIR-IPN Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente.

Directores de Tesis

M. en C. Néstor Naranjo Jiménez

Aspirante

Ing. Katia Donahi Garcia Casas

M. en C. José Natividad Uribe Soto

Presidente del Colegio

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz



SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
CIIDIR
UNIDAD DURANGO
IPN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Durango, Dgo., el día **05** del mes de **junio** del año **2018**, la que suscribe **Katia Donahi García Casas** alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental, con número de registro **B160700**, adscrita al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, CIIDIR-IPN Unidad Durango, manifiesta que es la autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del M. en C. **Néstor Naranjo Jiménez** y del M. en C. **José Natividad Uribe Soto** y cede los derechos del trabajo titulado "**Determinación del contenido de capsaicina y el consumo de agua del chile habanero *Capsicum chinense* en tres sistemas de producción**", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de la autora y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones kati_casas@hotmail.com, nmestor2@yahoo.com.mx y jnss2000@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

KATIA DONAHI GARCÍA CASAS

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del M.C. Néstor Naranjo Jiménez y la codirección del M.C. José Natividad Uribe Soto. El cultivo de chile habanero fue realizado en los invernaderos del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango (CIIDIR-IPN).

INDICE

RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	V
INTRODUCCIÓN.....	1
I. ANTECEDENTES.....	3
1.1. Antecedentes históricos de la agricultura	3
1.2. Impactos de la agricultura al ambiente.....	3
1.3. Uso ineficiente del agua en Mexico	4
1.4. Controversias de las posturas ambientales	4
1.5. Eco desarrollo.....	5
1.6. La hidroponía como un sistema de producción de alimentos.....	6
1.6.1. Nutrición vegetal.....	8
1.7. Descripción del género <i>Capsicum</i>	9
1.7.1. Origen del chile.....	9
1.7.2. Características del género <i>Capsicum</i>	10
1.8. Producción de Chile en Mexico.....	11
1.9. Cultivo de chile habanero	11
1.9.1. Descripción de la especie.....	11
1.9.2. Clasificación taxonómica del habanero.....	11
1.9.3. Etapa fenológica.....	12
1.9.4. Requerimientos climáticos y de nutrición	14
1.9.5. Principales plagas	15
1.9.6. Producción de chile habanero.	16
1.9.7. Usos del chile habanero	17
1.9.8. Características generales de los capsaicinoides.....	18
1.9.9. Capsaicina.....	19
II. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
III. OBJETIVOS.....	23
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	24
4.1. Área de trabajo.....	24

.....	24
4.2. Producción de plántula para los tres sistemas de cultivo	24
4.2.1. Determinación del porcentaje de germinación de semilla	24
4.2.2. Preparación de charolas de germinación	25
Figura 19. Charolas de germinación empacadas con hule	28
4.2.3. Manejo de las charolas de germinación.....	28
4.3. Selección de la plántula para trasplante hidroponía, invernadero en suelo y a cielo abierto en suelo	30
4.3.1. Diseño y construcción y trasplante a sistema de hidropónico	30
4.3.2. Materiales.....	30
4.3.3. Sustratos	34
4.3.4. Construcción del sistema.....	36
4.3.5. Trasplante a hidroponía.....	38
4.3.6. Preparación de la solución nutritiva	39
4.3.7. Programación de riegos.....	40
4.4. Trasplante de plántula los sistemas en suelo acolchado	40
4.5. Desarrollo fenológico del cultivo	41
4.6. Rendimiento de cada sistema hidroponía, invernadero en suelo y suelo en cielo abierto.....	42
4.7. Toma de muestra para análisis de capsaicina.	43
V. RESULTADOS	46
6.1. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) longitud del tallo	46
6.2. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) en las variables de diámetro de tallo inicial y final de los tres sistemas de producción	48
6.3. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable altura de planta de los tres sistemas de producción.....	49
6.5. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable peso de fruto extraído de los tres sistemas de producción	51
6.6. Rendimiento total.....	52
6.8. Contenido de capsaicina.....	54
VI. Discusión de resultados	56
VII. Conclusiones.....	59
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	60

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Cultivo de la cultura azteca por medio de chinampas	6
Figura 2. Hortalizas recomendadas para el sistema de hidroponía.....	8
Figura 3. Partes internas y externas de un chile	10
Figura 4. Cultivo de chile habanero naranja.....	12
Figura 5. Fenología del chile habanero.....	13
Figura 6. Requerimiento diario de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O, para el cultivo de chile.....	15
Figura 7. Principales plagas y enfermedades que atacan al cultivo de chile habanero	15
Figura 8. Cultivo de chile habanero en sistema hidropónico	17
Figura 9. Principales aplicaciones de la capsaicina en la industria.....	18
Figura 10. Capsaicinoides presentes en los frutos del género Capsicum.....	19
Figura 11. Partes internas del fruto de chile habanero	20
Figura 12. Escala del nivel de picor contenido en variedades de chile en México.....	20
Figura 13. Imagen aérea de los invernaderos del CIIDIR.....	24
Figura 14. Prueba de germinación de semilla de chile habanero rojo	25
Figura 15. Desinfección de las charolas de germinación para la producción de plántula de chile habanero rojo	26
Figura 16. Preparación del sustrato peat moss de la marca cosmopeat®.....	26
Figura 17. Preparación de las charolas de germinación con la semilla de chile habanero rojo	27
Figura 18. Charolas de germinación terminadas.....	27
Figura 19. Charolas de germinación empacadas con hule.....	28
Figura 20. Actividades de manejo del almacigo del mes de marzo al mes de abril del año 2017.	28
Figura 21. Plántula a los 12 días de edad después de la eclosion de la semilla.....	29
Figura 22. Plántula de chile habanero a los 25 días de edad después de la eclosión de la semilla	29
Figura 23. Plántula seleccionada para el trasplante.....	30
Figura 24. Bolsa de maceta para el cultivo de habanero.....	31
Figura 25. Estaca con laberinto	31
Figura 26. Gotero anti drenaje	32

Figura 27. Adaptador de 4 salidas	32
Figura 28. Microtubo de 3/5 pulgadas de diámetro	32
Figura 29. Manguera utilizada en el sistema de riego	33
Figura 30. Tubo de PVC utilizado en el sistema de riego	33
Figura 31. Vermiculita de la marca agrolita	34
Figura 32. Costal de perlita de la marca enviroment	34
Figura 33. Características técnicas del sustrato peat moss	35
Figura 34. Arena de rio desinfectada	35
Figura 36. Colocación de las canaletas de riego y del sistema de almacenamiento de la solución nutritiva	36
Figura 37. Instalación del timer y colocación de las macetas en su línea de alimentación.	37
Figura 38. Preparación y colocación del sustrato en las bolsas de cultivo.	37
Figura 39. Instalación de los goteros, adaptadores y estacas para cada bloque de plantas	37
Figura 40. Bloque de macetas con sistema de riego	38
Figura 41. Área de 9m ² del sistema hidropónico	38
Figura 42. Plántula seleccionada para trasplante a hidroponía	39
Figura 43. Plántulas trasplantadas a sistema hidropónico	39
Figura 44. Contenido de la solución nutritiva para el sistema hidropónico.	40
Figura 45. Medición del consumo de agua por minuto	40
Figura 46. Trasplante a suelo acolchado en invernadero	41
Figura 47. Trasplante a suelo acolchado en cielo abierto	41
Figura 48. Selección plantas al azar para seguimiento fenológico.	42
Figura 50. Medición de tamaño y peso de fruto fresco.	43
Figura 51. Fruto de habanero deshidratado	43
Figura 52. Selección de fruto maduro de invernadero y sistema hidropónico	44
Figura 53. Preparación de la muestra para deshidratación.	44
Figura 54. Muestras en la incubadora a 39.1°C	44
Figura 55. Muestras deshidratadas y en proceso de molienda.	45
Figura 56. Muestra molida y almacenada en frasco ámbar	45
Figura 57. Prueba de media tukey (alfa de .05%) de la variable longitud de tallo inicial y final de plantas de chile habanero de días cultivadas bajo tres diferentes sistemas.	47

Figura 58. Prueba de media tukey (alfa de .05%)de la variable diámetro de tallo inicial de plantas de chile habanero muestreado a los 30 después del trasplante y diámetro final muestreado a los 183 y 152 días después del trasplante).	48
Figura 59. Prueba de media tukey (alfa de .05%)de la variable altura promedio máxima alcanzada en cada sistema de producción	49
Figura 60. Prueba de media tukey (alfa de .05%)de la variable largo y ancho de fruto extraídos de los tres sistemas de producción	50
Figura 61. Prueba de media tukey (alfa de .05%)de la variable rendimiento de peso de fruto en los tres sistemas de producción.....	51
Figura 62. Prueba de media tukey (alfa de .05%)de la variable rendimiento total por tratamiento.....	52
Figura 63.Consumo de agua durante el ciclo de cultivo por sistema de producción.....	53
Figura 64.Contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina en frutos de chile habanero	54
Figura 65.Espectros de capsaicina identificada al tiempo 3.75 y de dihidrocapsaicina al 4.25. Cromatograma de la muestra de hidroponía	54
Figura 66.Espectro de capsaicina identificada al tiempo 3.75 y de dihidrocapsaicina al 4.25. Cromatograma de la muestra de invernadero en suelo acolchado.....	55
Figura 67.Espectro de capsaicina identificada al tiempo 3.75 y de dihidrocapsaicina al 4.25.Cromatograma de la muestra a cielo abierto en suelo acolchado	55

RESUMEN

Capsicum chinense (chile habanero) es un cultivo de alto valor comercial, ya que su precio en fresco puede alcanzar hasta \$129.00 por Kg. El cultivo de chile habanero no se limita para su consumo en fresco, sino para la obtención de capsaicina, el habanero es el chile con uno de los contenidos más altos de este compuesto, el cual puede alcanzar de 100 000 a 350 000 unidades scoville. La capsaicina es un metabolito secundario utilizado en la elaboración de cosméticos, pinturas, gases de defensa personal, productos farmacéuticos y se utiliza en recubrimiento de cables. En el presente trabajo se calculó el consumo de agua, se evaluó y comparó el contenido de capsaicina, y el rendimiento de fruto de chile habanero cultivado en tres sistemas de producción: hidroponía, invernadero en suelo acolchado, y cielo abierto acolchado. Para ello se prepararon dos almácigos en el mes de marzo, el trasplante se hizo en mayo, y la cosecha de fruto se realizó de julio a octubre. El estudio se efectuó en parcelas individuales con un diseño completamente al azar y 15 repeticiones. Se evaluó longitud y diámetro de tallo, altura de planta, número de frutos por planta, rendimiento de fruto, contenido de capsaicina, y consumo de agua, los datos obtenidos de la planta y cosecha se les practicaron un análisis de varianza y pruebas de media tukey con un 95% de confianza. El sistema hidropónico tuvo un consumo total de agua de 3.1 m³, un rendimiento de 1562 g y 192 frutos extraídos y obtuvo una concentración de capsaicina de 147692.2 unidades scoville. El sistema en invernadero consumió 9m³ de agua, tuvo un rendimiento de 2087.54 g, se extrajeron 434 unidades de fruto presentó un valor de capsaicina de 105620.8 unidades scoville, y el sistema a cielo abierto consumió 10m³ de agua, una concentración de capsaicina de 90256.69 unidades scoville, y tuvo un rendimiento de 399.2 g con un total de 80 frutos extraídos. El sistema hidropónico presentó el menor consumo de agua, el más alto contenido de capsaicina, y los frutos de mejor calidad, el rendimiento de fruto fue significativamente mayor en el invernadero en suelo que en cualquiera de los otros dos sistemas.

ABSTRACT

Capsicum chinense (habanero hot pepper) is a crop of high commercial value, since its fresh price can reach up to \$ 129.00 per kg. The cultivation of habanero pepper is not limited to fresh consumption, but to obtain capsaicin, the habanero It is the chili with one of the highest contents of this compound, which can reach from 100,000 to 350,000 Scoville units. Capsaicin is a secondary metabolite used in the manufacture of cosmetics, paints, self-defense gases, pharmaceuticals and is used in cable coating. In the present work the water consumption was calculated, the content of capsaicin was evaluated and compared, and the fruit yield of habanero pepper cultivated in three production systems: hydroponics, greenhouse and open sky. Two seedbeds were prepared in March, the transplant was made in May, and the fruit harvest was carried out from July to October. The study was carried out in individual plots with a completely random design and 15 repetitions. Stem length and diameter, plant height, number of fruits per plant, fruit yield, capsaicin content, and water consumption were evaluated. The data obtained from the plant and harvest were analyzed for variance and tests of average tukey with 95% confidence. The hydroponic system had a total water consumption of 3.1 m³, a yield of 1562 g and 192 extracted fruits and obtained a capsaicin concentration of 147692.2 Scoville units. The greenhouse system consumed 9m³ of water, had a yield of 2087.54 g, extracted 434 fruit units presented a capsaicin value of 105620.8 Scoville units, and the open-air system consumed 10m³ of water, a capsaicin concentration of 90256.6 units Scoville, and had a yield of 399.2 g with a total of 80 extracted fruits. The hydroponic system presented the lowest water consumption, the highest content of capsaicin, and the best quality fruits, fruit yield was significantly higher in the greenhouse in soil than in any of the other two systems

INTRODUCCIÓN

En México, el chile habanero (*Capsicum chinense*) se cultiva principalmente en los estados de Yucatán, Veracruz, Quintana Roo, Campeche, Sinaloa, y Nayarit. En las regiones áridas del norte de México el habanero no se cultiva bajo condiciones de cielo abierto debido a que las altas temperaturas e incidencia solar presentes hacen que la planta tenga un mal desarrollo y una baja producción; sin embargo, el cultivo bajo invernadero es una opción de producción que permite proteger a las cosechas de factores ambientales adversos tales como, temperaturas extremas, precipitación intensa, baja humedad relativa, y alta radiación solar.

Además del uso destinado a la gastronomía en la preparación de alimentos, como un condimento o especia, *C. chinense* ha sido destinado como insumo para la producción de diferentes artículos dentro de la industria. El uso potencial de *Capsicum chinense* se debe al alto contenido de capsaicina. Este compuesto es responsable de darle la característica de picor a los frutos del género *Capsicum*. La capsaicina (8-metil-N-vanillil-6-nonenamida) se produce como un metabolito secundario y es sintetizada por las plantas como un medio de defensa ante el ataque de herbívoros, además se ha demostrado que el contenido de capsaicina está genéticamente controlado, pero también se ve afectado por variables medio ambientales como la temperatura, la luz, la humedad del suelo, y los niveles de fertilización de éste.

En México, el 76.8 % del agua que es extraída se utiliza en el sector agrícola y aproximadamente el 50% del agua que se extrae es desaprovechada por técnicas ineficientes de riego, infiltración, y evaporación. La preocupación surge por encontrar estrategias de gestión ambiental que nos permitan optimizar el uso de agua.

El primer objetivo del presente estudio fue objetivo fue estimar la cantidad de agua consumida de chile habanero cultivado en tres sistemas de producción: sistema en invernadero en suelo acolchado, sistema a cielo abierto en suelo acolchado y

sistema hidropónico. El segundo objetivo fue determinar el contenido de capsaicina en los frutos en cada sistema de cultivo. El tercer objetivo fue determinar el rendimiento de producción de cada sistema de cultivo. Ya que el estudio se realizó en el estado de Durango, los resultados pueden dar una idea del potencial de este Estado para producir chile habanero. Los resultados también pueden contribuir a implementar estrategias de gestión de uso de agua que permiten hacer más eficientes los procesos de producción de este recurso, ahorrando en insumos y reduciendo los impactos negativos al ambiente.

I. ANTECEDENTES

1.1. Antecedentes históricos de la agricultura

La historia de las sociedades está íntimamente relacionada con el desarrollo de la agricultura; las primeras civilizaciones tuvieron cercanía con grandes ríos y lagos y eso marcó el paso de la recolección de frutos y semillas a las prácticas agrícolas. Egipto, Mesopotamia, China, y México son ejemplos de que el esplendor cultural, social y económico de sus grupos humanos se debió en gran medida a su éxito en la domesticación, producción y comercialización de alimentos (Robledo, 2012).

La agricultura permitió mayor densidad de población por la disponibilidad de alimento para un mayor número de individuos (Robledo, 2012).

Con la agricultura las sociedades van sedentarizándose y la propiedad deja de ser un derecho sólo sobre objetos móviles para trasladarse también a los bienes inmuebles, se amplía la división del trabajo y surge una sociedad más compleja con actividades artesanales y comerciales especializadas (Robledo, 2012).

La agricultura permitió el asentamiento de comunidades humanas inventando y descubriendo técnicas para la generación de alimentos, organizando las actividades diarias dando inicio a las primeras comunidades humanas, estos conocimientos fueron transmitiéndose generación con generación.

1.2. Impactos de la agricultura al ambiente

Con la evolución de la agricultura a mediados del siglo XX (la revolución verde) se introdujo el uso extensivo de maquinaria pesada, uso excesivo de fertilizantes y agroquímicos. Derivado de estos cambios, se generaron impactos severos al medio ambiente, algunas prácticas incorrectas como la utilización de sistemas de riego ineficientes, la mala disposición de residuos dieron origen a la problemática actual de la erosión del suelo, disminución de productividad del suelo, falta de agua por sobreexplotación, acumulación de contaminantes: sedimentos, fertilizantes,

pesticidas y la aparición de resistencias a los pesticidas en las plagas (SINERGIA, 2012).

La agricultura en todas sus modalidades es usuaria de los recursos naturales, y contribuye al agotamiento de las aguas subterráneas, a la contaminación por agroquímicos, al desgaste de los suelos y al cambio climático mundial (BMSD, 2008).

1.3. Uso ineficiente del agua en Mexico

Aproximadamente 3 600 km³ de agua al año son extraídos para actividades humanas, la agricultura consume alrededor del 76% de toda la extracción, (SAGARPA, 2008). El riego consume la mayor parte del agua que se extrae (frecuentemente la mitad o más) como resultado de la evaporación, incorporación a los tejidos de las plantas y transpiración de los cultivos. La otra mitad recarga el agua subterránea, fluye superficialmente o se pierde como evaporación no productiva, ver figura 1 (ONU 2002).

Las actividades humanas han afectado el funcionamiento de los sistemas ambientales, interfiriendo directamente en los ciclos naturales del agua, del nitrógeno y carbono, de la productividad del suelo, estos impactos pueden minimizarse mediante una combinación de reformas de la política y de innovaciones institucionales y tecnológicas. Se requiere de un enfoque político integral cuando se abordan tanto los programas de agricultura y de medio ambiente como el cambio climático y los biocombustibles (BMSD C|, 2008).

1.4. Controversias de las posturas ambientales

Existe una diversidad de opiniones sobre el desarrollo sustentable, los problemas ambientales y sus alternativas, de estas visiones se derivan dos tipologías ambientalistas que parten de un origen ético e histórico: posición antropocentrista y ecocentrista, En la teoría antropocentrista se ubica a la naturaleza al servicio del ser humano en el sentido solo de dominar y saquear la naturaleza ,mientras que la

postura ecocéntrica se presenta como crítica al capitalismo y en darle un valor intrínseco (Foladori, 2001).

El ecocentrismo se ve reforzado con la tesis de Thomas Malthus a principio del siglo XIX donde básicamente habla de la población, según Malthus los impulsos sexuales naturales de las clases pobres conducían al crecimiento de la población, más allá de las posibilidades materiales de su manutención.

Ambas corrientes de pensamiento, la ecocéntrica y la antropocéntrica utilizan, hoy en día, ampliamente, los resultados de la ciencia para fundamentar sus posiciones. Sólo que cada uno según su propia óptica llega a resultados diferentes.

1.5. Eco desarrollo

De acuerdo al autor Sustenta Sanchs el concepto de “eco-desarrollo” comienza a gestarse a partir de la reunión de ONU que se dio para el desarrollo de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano en Estocolmo (1972), en la que se aborda por primera vez el desarrollo sustentable que se define como atender las necesidades del hombre en el presente, asegurando la permanencia de los recursos para atender las necesidades de las generaciones futuras, en función de los recursos naturales disponibles, con niveles menores de contaminación de suelos, aguas y atmósfera, y encaminada al mejoramiento de la calidad de vida del ser humano y el hábitat que lo rodea (Eco Red 2001).

Continuando con el concepto de Eco desarrollo en 1798 Thomas Malthus publicó por primera vez un ensayo sobre el Principio de la Población, dice que eco-desarrollo significa sacar al máximo de provecho de las posibilidades ocultas de la ciencia, realizando una reflexión sobre los antecedentes del capitalismo, mencionando que se debe de utilizar ampliamente los recursos renovables sobre bases sostenibles (Contreras y Aguilar, 2012).

Los autores contreras y Aguilar hacen referencia al autor Almeida (2009), que el eco-desarrollo plantea desde un inicio: favorecer una regionalización concebida

como la reorganización del espacio y del tiempo, con esto se consigue una autosuficiencia y de diversidad de producción

1.6. La hidroponía como un sistema de producción de alimentos.

La Hidroponía es la forma de cultivar plantas sin tierra. Para ello, se utiliza una combinación precisa de diferentes sales minerales que contienen todos los nutrientes que requieren las plantas para su desarrollo y que habitualmente les entrega la tierra, diluidas en agua potable (solución nutritiva), la cual se aplica directamente a las raíces de diferente forma, según el método de cultivo hidropónico que se adopte (De león, 2008).

Los primeros indicios que se tienen sobre la aplicación de la hidroponía datan desde la época prehispánica en México, ya que se tiene evidencia de que los aztecas por medio de las chinampas cultivaban diversas hortalizas. Las chinampas ocupaban el 100 % del lago de Texcoco que ahora es la Ciudad de México ver figura 3 (Sánchez 2010).



Figura 1. Cultivo de la cultura azteca por medio de chinampas

Existen diversos métodos de cultivos hidropónicos, pero todos se ajustan a un principio esencial, que consiste en el cultivo de plantas sin tierra y sin materia orgánica (De león, 2008).

Ventajas de un sistema hidropónico

- Mayor eficiencia en la regulación de la nutrición.
- Uso eficiente de agua y nutrientes.
- Bajo costo en la desinfección del medio de cultivo.
- Mayor densidad de plantas
- Mayor producción por unidad de superficie
- Aprovechamiento de pequeña superficie en el traspatio para la producción de alimentos

Aspectos importantes a cuidar en un sistema hidropónico

- Nutrición de plantas
- Ubicación del sistema
- Aireación
- Calidad del agua y sustrato
- Tipo de plantas a utilizar

Las plantas que comúnmente se cultivan en hidroponía son especies de alto valor comercial, las cuales se aprovechan por sus usos alimenticios u ornamentales, dentro de ellas podemos mencionar:

• Hortalizas:

Hortalizas de hoja: Lechuga, acelga, espinaca, col, apio, arrúgala, berros.

Hortalizas de flor: Brócoli, coliflor, alcachofa, etc.

Hortalizas de fruto: Tomate, pimiento morrón, pepino, chile manzano, melón, sandía, calabacín, berenjena y fresa, etc...

• Especies aromáticas: Albahaca, menta, cilantro, perejil.

• Ornamentales: Rosas, anterior, nochebuenas, orquídeas, crisantemos, lilas, gerberas.

En la Figura 2 se muestran los cultivos que se han cultivado en hidroponía y que mejor se adaptan, se aprecia que la fenología de la acelga, lechuga y tomate son las hortalizas que crecen más rápido y lo vuelven los cultivos más rentables

Cultivo	Días despues de la siembra			Centímetros entre plantas		Producción por M2 por mes
	germinacion	transplante	cosecha	surcos	plantas	
acelga	7 a 14	30 a 35	70 a 75	15 A 29	15 a 20	25 unidades
albahaca	5 a 8	25 a 40	60	20 a 30	20 a 30	3 a 4 kg
apio	8 a 15	50 a 55	60 a 75	17 a 20	17 a 20	35 unidades
brocoli	3 a 8	22 a 25	85	25 a 30	25 a 30	n.d
cebolla	6 a 10	40 a 45	65 a 70	10 a 15	10 a 15	6 a 8 kg
coliflor	3 a 8	22 a 25	90	25 a 30	25 a 30	n.d
cilantro	10 a 25		50 a 55	a chorro	15 a 20	25 rollos
chile	4 a 12	35	80 a 85	30 a 50	100 a 120	15 a 20 plantas
lechuga	3 a 5	22 a 25	35 a 45	25	25	20 a 25 unidades
pepino	3 a 5	12 a 14	45 a 50	25 a 30	25 a 30	n.d
rabano	3 a 6		60 a 65	5		20 rollos
repollo	3 a 18	22 a 25	45 a 50	25 a 30	25 a 30	10 a 12 kg
tomate	4 a 12	25 a 28	90 a 95	120 a 140	120 a 140	5 a 8 kg
zanahoria	7 a 15		90 a 95	15 a 20	15 a 20	n.d.
zuchini	3 a 5	12 a 14	45 a 50	50 a 60	50 a 60	n.d.

Figura 2. Hortalizas recomendadas para el sistema de hidroponía.

1.6.1. Nutrición vegetal

La nutrición de la planta en el sistema de hidroponía es un aspecto muy importante para el buen desarrollo de la planta, esta nutrición se proporciona mediante la adición de una sustancia nutritiva balanceada y equilibrada.

La solución nutritiva es un conjunto de sales minerales disueltas en el agua, contiene macro y micro nutrientes.

Para poder proporcionar al cultivo todos estos macros y micro nutrientes se tiene que hacer un análisis de agua, considerar la especie que se va a cultivar y las condiciones del entorno (clima, humedad y temperatura).

De acuerdo con Arnon y Stout (1939), para que un nutrimento se considere como esencial para las plantas debe cumplir con tres requisitos:

- Las plantas deben ser incapaces de completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral.
- Las funciones del elemento no podrán ser sustituidas por otro elemento.
- El elemento debe estar directamente involucrado en el metabolismo de las plantas

Los principales minerales esenciales son los siguiente: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo). Se ha demostrado también que varios otros minerales como el sodio (Na), silicio (Si), aluminio (Al), cobalto (Co) níquel (Ni) y selenio (Se), sin ser esenciales, pueden estimular el crecimiento de varias especies vegetales (OASIS, 2016).

- La clasificación de estos nutrimentos por su concentración en el tejido vegetal es la siguiente,
- Macro nutrimentos: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S
- Micro nutrimentos: B, Cl, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Si, Co, Ni. La solución nutritiva se debe de encontrar en un pH entré 5.5 y 6 para que la mayoría de los nutrimentos estén disponibles, (Oasis, 2016).

1.7. Descripción del género *Capsicum*

El género *Capsicum* fue descrito por Carlos Linneo en el año de 1753. El nombre *Capsicum* se piensa que se deriva del griego kopto que significa picar, ya que es una de las características principales de este género.

Es conocido en el mundo con diferentes nombres: Ají o chili en Perú, Chile en México, chiri en Japón, pepper o chilly en EUA y diversos países europeos y sin embargo todos hacen referencia a un fruto de tamaño variable de diferentes aromas, colores y sabores que enamoran a la gastronomía en el mundo y que tienen muchas otras propiedades y cualidades.

El género *Capsicum* agrupa a más de 26 especies, de las que sólo 12, incluyendo algunas variedades, son empleadas por el hombre. Sólo cinco de las especies han sido domesticadas y se cultivan (López- Riquelme, 2003).

1.7.1. Origen del chile

Las especies del género *Capsicum* tienen su origen en América, de acuerdo a especialistas se tienen evidencias arqueológicas que el chile tuvo su origen en

México se ha podido estimar que este cultivo fue domesticado desde el año 7000 al 2555 a. C. en las regiones de Tehuacán, Puebla, y en Ocampo, Tamaulipas.

Este cultivo es de gran importancia para las culturas de Mesoamérica puesto que junto al maíz, frijol y calabaza formaron parte de la alimentación.

1.7.2. Características del género *Capsicum*.

Son plantas angiospermas, dicotiledóneas, herbáceas o arbustivas, de ciclo anual. El fruto, en donde se encuentran las semillas, es una baya hueca carnosa o semicartilaginosa, puede alcanzar distintos tamaños, desde poco menos de 1 cm hasta 30 cm de largo, y su forma va de lo redondo a lo alargado, en colores que oscilan de distintos tonos de amarillo y verde en estado inmaduro, a rojo y hasta café al madurar (Aguirre y Muñoz. 2015).

El pimiento *Capsicum* comprende 4 partes principales que son: el pericarpio, placenta, semillas y tallo. El pericarpio es la pared del fruto que conforma aproximadamente el 38% del *Capsicum*, en él se distinguen 3 capas: el exocarpio es la capa externa, delgada y poco endurecida, el mesocarpio es una capa intermedia y carnosa y el endocarpio que es la capa interior y de consistencia poco leñosa. En promedio, la placenta comprende el 2% del chile, 56% de semillas y un 4% de tallos, ver figura 3.



Figura 3. Partes internas y externas de un chile

La propiedad que separa a la familia *Capsicum* de otros grupos vegetales, es un grupo de alcaloides denominados capsaicinoides. En particular, una sustancia cristalina excepcionalmente potente y acre, que no existe en ninguna otra planta es la capsaicina, y es la principal fuente de acritud y pungencia en el *Capsicum*

1.8. Producción de Chile en México.

El chile es de gran importancia comercial, según datos de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el chile es a nivel mundial el quinto producto hortícola, por superficie cultivada.

México sobresale en la generación de variedades de chile en el mundo, alrededor del 90% de chile que se consume a nivel mundial es de origen mexicano. Otros países productores son China, Indonesia, Turquía, España, Estados Unidos y Nigeria (SAGARPA, 2012).

Los principales chiles cultivados en el país pertenecen a *C. annum* y son el jalapeño, serrano, poblano, morrón además de *C. chinense*. Estos productos son altamente apreciados como ingrediente en la comida mexicana, y reconocido por su sabor en gastronomía internacional (SAGARPA, 2012).

1.9. Cultivo de chile habanero

1.9.1. Descripción de la especie

EL habanero es un chile originario de las tierras bajas de la amazona esto según Pickersgill 1979; Andrews, 1999. La especie de *C. chinense* a México se introdujo por la Península de Yucatán. Investigaciones recientes reportan evidencia que hubo contacto en la etapa precolombina, vía marítima, entre los taínos y los mayas del período Clásico. Se cree entonces que fue introducido a la península proveniente de Cuba (Soria, Trejo, Saldívar, 2002).

1.9.2. Clasificación taxonómica del habanero

El chile habanero se clasifica en la clase Angiosperma, subclase Dicotiledóneas, superorden Sim - pétalas, orden Tubifloral, familia Solanácea, género *Capsicum* y especie *C. chinense* Jacq, ver figura 4 (Ruiz-Lau y Medina, 2011).



Figura 4. Cultivo de chile habanero naranja

Es una planta de ciclo anual, que puede alcanzar hasta 12 meses de vida, dependiendo del manejo agronómico. Su altura es variable: puede oscilar de 75 y 120 centímetros en condiciones de invernadero. Su tallo es grueso, erecto y robusto; con un crecimiento semia determinado. Las hojas son simples, lisas, alternas y de forma lanceolada, de tamaño variable, lo mismo que su color, el cual puede presentar diferentes tonos de verde, dependiendo de la variedad (Ruiz y Medina, 2011).

1.9.3. Etapa fenológica

La planta del chile habanero posee una raíz principal de tipo pivotante, la cual se profundiza de 0.20 a 0.60 m, con raíces secundarias extendidas que varían en longitud dependiendo del tipo de suelo. En condiciones de cultivo de cielo abierto, la planta tiene un hábito de crecimiento intermedio con una altura que puede variar de 0.40 a 1.0 m (Gonzales y Casanova, 2010).

El tallo se desarrolla de manera erecta, es herbácea, ramificado y circular a la madurez en la selección media. El número de hojas es controlado por la temperatura y el genotipo, pero generalmente se desarrollan entre 8 y 15 hojas antes de la aparición de la primera flor, y la relación entre el número de hojas y flores es cercano a uno. Florece a los 50-60 días posteriores al trasplante. Las flores son blancas y

generalmente pentámeras con estambres fusionados y un solo ovario. Varios autores señalan que el chile habanero presenta de tres a cuatro flores en cada axila; siendo ésta la característica que lo diferencia de la especie *C. annum*, que por lo general sólo presenta una o dos flores por axila (González y Casanova, 2010).

Los frutos pueden medir de 1 a 6 cm de longitud y su forma varía de esférica a oblonga; pueden ser lisos o arrugados, de color verde cuando son tiernos y amarillo, anaranjado, rojo o café al madurar, por lo general presentan de 2 a 4 lóculos (cavidades), considerándose la forma triloculada como la típica del chile habanero. El pedúnculo presenta una constricción en la base que es otra característica distintiva de *C. chinense*. El peso fresco del fruto puede variar desde 4 g hasta más de 20 g; pero los frutos muy pesados son poco frecuentes. El peso seco del fruto varía entre 0.38 g y 0.89 g.

El habanero color naranja presenta un peso fresco promedio de 5.3 g y un peso seco promedio de 0.63 g. El contenido de capsaicina de la placenta del habanero naranja puede variar de 35.7 mg/g peso seco (PS) a 53.4 mg/g PS y de 29.7 mg/g PS a 50.7 mg/g PS de dihidrocapsaicina, con contenidos promedio de 44.5 mg/g PS y 40.2 mg/g PS, respectivamente (Cuadro 1). Se le considera el chile más picante que se cultiva en la Península de Yucatán (González y Casanova, 2010).



Figura 5. Fenología del chile habanero

1.9.4. Requerimientos climáticos y de nutrición

El ciclo vegetativo de la planta depende de la variedad, de la temperatura en las diferentes etapas fenológicas (germinación, floración, maduración), de la duración del día y de la intensidad luminosa (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1991).

Tapia-Vargas M et al. (2016), nos dice que el habanero es un cultivo exigente en aspectos climáticos como lo es la temperatura. La temperatura del chile habanero es aproximadamente entre los 25° y los 30°, abajo de una temperatura de 15° no se desarrollaría óptimamente el cultivo. En cuestiones de humedad en chile habanero, como cuenta con una alta retención de humedad, no es necesario mantener altos los niveles.

López-Gómez et al. (2017), agregó que el chile habanero se adapta y desarrolla en suelos profundos y bien drenados contextura entre lo franco limoso y franco arcilloso, con un pH desde 6.5 a 7.0, con un buen nivel de fertilidad y con una leve pendiente no menos de 8% para evitar áreas que se inunden o se estanque el agua después de una fuerte lluvia.

Fernandez y Mendoza (2007), dicen que para predecir el nivel de disponibilidad de fósforo (P) en un análisis de suelo, es singular para cada cultivo al igual que en las condiciones donde se desarrolla; por tanto, debe basarse en la relación entre el P extraído por la planta y el análisis de suelo realizado con una técnica apropiada.

Según Prado (2006), la cantidad de fertilizante que se tiene que incorporar al cultivo, depende de la disponibilidad de nutrientes que se encuentren en el suelo y de la curva de nutrición de la planta. Recomendar una dosis de fertilización para el cultivo de chile habanero es irresponsable, cuando no se conoce en qué condiciones nutritivas se encuentra el suelo.

En términos generales el cultivo de chile habanero, es exigente en potasio, nitrógeno, calcio, magnesio y fósforo, el requerimiento nutritivo es de 250 kilogramos de nitrógeno, 100 kilogramos de fósforo, 300kilogramos de potasio, 200 kilogramos

de calcio y 100 kilogramos de magnesio, en todo el ciclo de producción (Prado, 2006)

Días después del trasplante.	Requerimiento diario (mg/planta).		
	N	P2O5	K2O
1-8	20.7	27.0	0.0
9-19	27.9	36.0	15.8
20-26	41.4	48.6	23.0
27-38	54.9	59.0	27.0
39-52	64.0	63.1	49.5
53-68	72.1	44.1	76.6
69-77	83.3	32.4	99.1
78-90	79.7	35.1	94.6
91-100	74.3	36.9	112.6
101-112	63.0	27.0	81.1
113-135	45.0	18.5	54.0
136-156	36.0	14.4	45.0

Figura 6. Requerimiento diario de N, P2O5 y K2O, para el cultivo de chile

1.9.5. Principales plagas

ESPECIE	DAÑOS	SÍNTOMAS	CONTROL
Mosquita blanca (Bemisia tabaco). (ninfas y adultos)	Debilidad a la planta.	Amarillamiento, moteado y enchinamiento de las hojas. Achaparramiento y formación de escasos frutos de baja calidad	*biológico o con insecticidas orgánicos (el mejor control es el del uso correcto de la malla protectora)
Barrenillo del chile ((Anthonomus eugenil cano.) (adulto y larva)	Mal formación y manchado de semillas de los frutos atacados;	Amarillamiento, maduración prematura, caída y pudrición del fruto.	*Recoger y enterar los frutos caídos, este hábito se debe considerar como una actividad agronómica más para el control de la plaga. *Control biológico con NEEEM (azadiractina)
Mancha bacteriana (Xanthomonas campestris pv vesicatoria)	Afecta las hojas, tallos y frutos;	En las hojas aparecen pequeñas lesiones cloróticas o necróticas, generalmente concentradas en los márgenes de los folíolos. aspecto quemado o atizonado en tallo	*Se recomiendan aplicaciones de aplicaciones de bacterias mismas para su control, *Aplicación de gluconatos de cobre y sulfato de cobre pentahidratado, según la severidad de la enfermedad.
Hongos Fusarium y a la Rhizoctonia solani	A la raíz	Pudrición del fruto.	*uso de fungicidas formulados con cobre o mezclados con antibióticos u otros productos específicos conocidos como de nueva generación.

Figura 7. Principales plagas y enfermedades que atacan al cultivo de chile habanero

1.9.6. Producción de chile habanero.

El chile habanero es el chile más producido en invernadero debido a su alta rentabilidad, retornos económicos, competencia y demanda en el mercado. Las regiones donde más se produce el chile habanero son: en la zona sur del país, en la zona de la península de Yucatán y Veracruz, por sus climas idóneos para el cultivo y del chile habanero, (SOLIHAGUA 2012).

Los principales estados productores de chile habanero son Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Colima, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas (SIAP,2010).

El cultivo de chile habanero, bajo condiciones de campo, no se lleva a cabo en forma comercial en las regiones áridas del norte de México. Esto debido a que las altas temperaturas e incidencia solar presentes hacen que la planta tenga un desarrollo raquíutico y una baja producción lo cual lo hace incosteable. Sin embargo, el chile habanero es un cultivo atractivo ya que su precio en el mercado nacional supera a la de cualquier otro tipo de chile. En la Región Lagunera, por ejemplo, se vende entre \$100 y 130 por kilo de fruto fresco; además el chile habanero es un producto que tiene demanda a nivel nacional e internacional por sus múltiples usos. El cultivo bajo invernadero es una opción de producción que permite proteger a las cosechas de factores ambientales adversos. Tales como, temperaturas extremas, precipitación intensa, baja humedad relativa y radiación solar intensa (Villa et al. 2014).

También con este sistema de producción es posible tener un mejor control de las plagas y enfermedades, lo cual ayuda para que la calidad y cantidad de las cosechas se incrementen (Villa et al. 2014).

Los principales cultivos que se producen bajo invernadero en México son el tomate, chile pimiento y pepino. El chile habanero puede ser un cultivo alternativo de

producción en invernadero, sobre todo en las regiones donde a campo abierto no tiene buen desarrollo, como es el caso de las regiones áridas y semiáridas del norte de México (Villa et al. 2014).



Figura 8. Cultivo de chile habanero en sistema hidropónico

La cantidad de producción en invernadero de este cultivo en condiciones óptimas es de 90-100 toneladas al año por hectárea y el cultivo se vende 18-20 pesos por Kilo por lo que lo hace un cultivo muy rentable. Sus aplicaciones más comunes son el mercado culinario, sin embargo, se están popularizando los usos industriales, como la adición a pinturas para la protección contra microorganismos (Villa et al. 2014).

1.9.7. Usos del chile habanero

Además de su uso como alimento o condimento, el chile habanero y otros chiles son utilizados en medicina, debido a la presencia de unos compuestos denominados capsaicinoides, que determinan el grado de picor en la mayoría de los frutos del género *Capsicum* (Ruiz y Medina 2011).

El habanero también se relaciona con algunos efectos medicinales: aumenta el número de calorías quemadas durante la digestión, reduce los niveles de colesterol, es un anticoagulante y se le asocia con cualidades antioxidantes. Tradicionalmente se usa como infusión para el asma, la tos, el resfriado; como analgésico en casos

de artritis, como antiinflamatorio; incluso tiene propiedades para combatir el cáncer de próstata, (SIAP, 2010).



Figura 9. Principales aplicaciones de la capsaicina en la industria

1.9.8. Características generales de los capsaicinoides

Los capsaicinoides son los compuestos que le dan el sabor picante a chile, los cuales son un grupo de amidas ácidas formados a partir de la vanillilamida y ácidos grasos de 8 a 13 átomos de carbono, entre los cuales destacan dos, la capsaicina, (E)-N-[(4-hidroxi-3-metoxifenil) metil]-8-metil-6-nonenamida, y la dihidrocapsaicina, que es el 6,7- dihidroderivado de la capsaicina. Estos dos capsaicinoides mayoritarios representan por lo general el 90 % de los capsaicinoides totales presentes en las variedades picantes de chile. El siguiente capsaicinoide en importancia es la nordihidrocapsaicina, que por lo general está presente en proporciones que oscilan del 4 al 8 % del total de capsaicinoides presentes en los pimientos. Además de estos tres compuestos mayoritarios, más de 12 capsaicinoides han sido encontrados como compuestos minoritarios (Fernandez, 2007).

Algunos de estos capsaicinoides minoritarios son: nordihidrocapsaicina, norcapsaicina, homocapsaicina I, homocapsaicina II, homodihidrocapsaicina I, homodihidrocapsaicina II, nornorcapsaicina, nornornorcapsaicina³⁵, nonivamida, vanillilamida del a. decílico y vanillilamida del a. caprílico (Fernandez, 2007).



Figura 10. Capsaicinoides presentes en los frutos del género *Capsicum*

Los capsaicinoides poseen propiedades analgésicas, antiinflamatorias, antioxidantes e incluso anticancerígenas al inhibir el crecimiento dependiente de andrógenos en células cancerígenas de seno, colon, adenocarcinoma gástrico y de próstata, además han sido utilizados en la industria farmacéutica esto debido a sus propiedades médicas y farmacológicas. Se mencionan algunas de las funciones que tienen los capsaicinoides en el organismo: estimula la membrana mucosa del estómago, incrementando la secreción salival y la peristalsis (estimula el apetito), efectos antiinflamatorios y contra-irritante, incluso en el mercado farmacéutico se encuentran productos elaborados con extracto de chile habanero para aliviar malestares musculares. Incluso se puede obtener del fruto de habanero un compuesto llamado oleorresinas que sirve a la industria química para la fabricación de barnices, pinturas y gas lacrimógeno.

1.9.9. Capsaicina

La capsaicina es un alcaloide de fórmula $C_{18}H_{27}O_3N$ que es sólido a temperatura ambiente (punto de fusión $64^{\circ}C$). Su nombre IUPAC es (E)-N-(4-hidroxi-3-metoxibencil)-8-metilnon-6-enamida. Conjuntamente con la dihidrocapsaicina (capsaicina que ha perdido el doble enlace por hidrogenación), forman el 90% de todos los compuestos responsables del picor del ají y los pimientos (Cedrón ,2013).

Es un compuesto cien veces más picante que la pimienta y que estimula la liberación de neurotransmisores e incentiva los puntos receptores de dolor de la lengua y el paladar. El cerebro responde con endorfinas que incrementan el metabolismo liberando más saliva y sudor. El nivel de picante puede variar de una planta a otra, debido a las condiciones medioambientales y del suelo en que se encuentra la planta (SIAP, 2010).

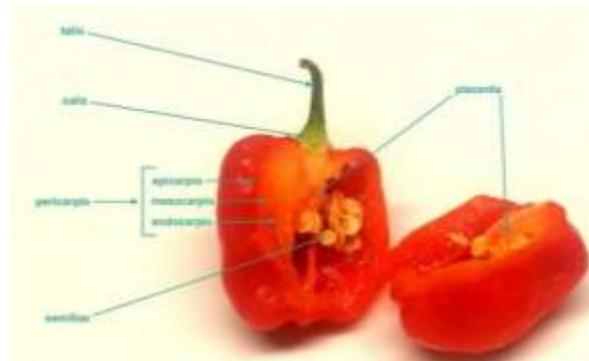


Figura 11. Partes internas del fruto de chile habanero

Para medir el picante o el contenido de capsaicina se utiliza una escala llamada scoville que consiste en diluir el extracto de chile en agua hasta hacer imperceptible el sabor de la capsaicina. El chile habanero, es considerado como el más picante, ya que debe ser diluido 300 mil veces antes de perder su nivel máximo de picante.



Figura 12. Escala del nivel de picor contenido en variedades de chile en México

La capsaicina es sintetizada por las plantas como un medio de defensa ante el ataque de animales, este picor, al igual que en los humanos, es detectado por un receptor general del dolor: al entrar en contacto con la capsaicina se facilita la entrada de iones calcio a las células, lo cual es transmitido al cerebro como un mensaje. Este mensaje se traduce como una sensación de quemazón o ardor (Fernandez, 2007).

II. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

SAGARPA 2008, nos dice que 76.8% del agua que es extraída en México es destinada a actividades agrícolas y aproximadamente el 50% del agua destinada a esta actividad no es utilizada de manera eficiente.

Es necesario implementar estrategias de gestión ambiental que nos permitan optimizar el uso de agua.

Cultivar chile habanero en un sistema hidropónico tiene ventajas de optimización de agua y espacio, donde los productos que se obtengan sean de un alto valor económico.

Debido al incremento de la población y a la demanda de productos se necesita hacer la implementación y transferencia de tecnologías que nos permitan optimizar los procesos de producción de hortalizas y con ello abastecer las necesidades actuales de la sociedad.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

- Calcular el consumo de agua y determinar el contenido de capsaicina de chile habanero *Capsicum chinense* cultivado en tres sistemas: hidroponía, invernadero en suelo acolchado y cielo abierto en suelo acolchado.

Objetivo específico

- Determinar el rendimiento de producción de tres sistemas de producción: sistema hidropónico, invernadero en suelo acolchado y cielo abierto en suelo acolchado.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de trabajo.

El lugar de trabajo fue en el área de invernaderos del CIIDIR con la dirección Sigma 119, 20 de noviembre II, 34220 Durango, Dgo.

Las coordenadas de los invernaderos son

Invernadero 500m²: 24.050611, -104.611360

Invernadero 30 m²: 24.050686, -104.611145



Figura 13. Imagen aérea de los invernaderos del CIIDIR

4.2. Producción de plántula para los tres sistemas de cultivo

El presente trabajos se realizó en dos etapas en campo, la primera es donde se desarrolla la plántula y la segunda etapa corresponde al trasplante.

4.2.1. Determinación del porcentaje de germinación de semilla

- Se utilizó una variedad de semilla determinada como chile habanero Rojo marca cosechando al natural.

Referente a la manipulación de la semilla, es importante que proceda de un lote reciente, que se conserve en un lugar fresco y se exponga al mínimo tanto a los cambios de temperatura como al viento caliente.

Procedimiento:

- a) Se colocaron 100 semillas en 5 cajas Petri (20 semillas por caja)
- b) Se colocó algodón estéril dentro de las cajas y se le añadieron 3 mililitros de agua
- c) Para la germinación las semillas fueron acondicionadas dentro de una estufa a temperatura ambiente
- d) Para las lecturas de la temperatura y humedad se utilizó un hidro termómetro de la marca EXTECH®

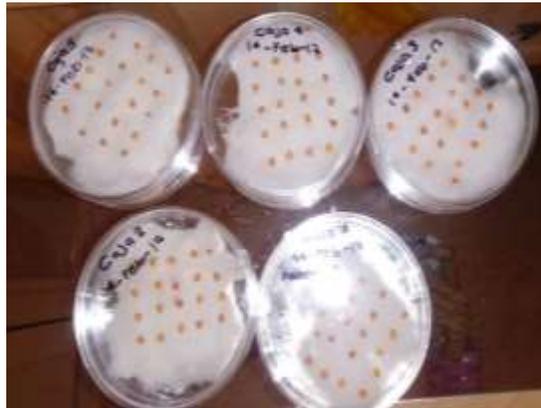


Figura 14. Prueba de germinación de semilla de chile habanero rojo

4.2.2. Preparación de charolas de germinación

- a) La siembra se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades previamente desinfectadas con solución de cloro al 5% para eliminar cualquier contaminante químico o biológico



Figura 15. Desinfección de las charolas de germinación para la producción de plántula de chile habanero rojo

b) Preparación del sustrato y llenado de las charolas de germinación

Se utilizó peat moss de la marca cosmopeat® como sustrato recomendado para la propagación de plántulas bajo condiciones de invernadero. Sus procesos de recolección, tamizado, mezcla y empaque aseguran un producto libre de plagas, maleza y enfermedades, con homogeneidad en la distribución de sus componentes, así como una alta capacidad de retención de humedad ver figura 16 (Comcel, 2015).

Al sustrato peat moss se le adiciono agua hasta obtener una humedad uniforme. En la figura 17 se muestran las charolas debidamente llenadas con el sustrato correspondiente.



Figura 16. Preparación del sustrato peat moss de la marca cosmopeat®



Figura 17. Preparación de las charolas de germinación con la semilla de chile habanero rojo

c) Terminación de las charolas de germinación

Se depositó una semilla por cada cavidad de las charolas enseguida se añadió una capa de vermiculita y se aplicó un riego único para lograr retener la humedad durante el periodo de desarrollo de las plántulas.

Las charolas fueron cubiertas por hule transparente con la finalidad de mantener una temperatura constante y protegerla de bajas temperaturas luego se colocaron en la entrada del invernadero hasta la eclosión de la semilla.



Figura 18. Charolas de germinación terminadas



Figura 19. Charolas de germinación empacadas con hule

4.2.3. Manejo de las charolas de germinación

El manejo adecuado de los almácigos, ofrece la posibilidad de obtener plántulas con características deseables: sanas, vigorosas con sistema radical bien desarrollado, sus hojas de buen tamaño y coloración, que esté disponible para replantar cuando se requiera, confiable para arraigo en el campo, libre de plagas, tolerante a cambios ambientales y que su tamaño y desarrollo sea homogéneo (Vavrina, 2002). La Figura 20 muestra las actividades realizadas para el manejo de la plántula.

<u>Actividad</u>	<u>Fecha</u>	<u>Descripción del proceso</u>
Llegada de las charolas de germinación al invernadero	15-mar	Se comenzó el riego de agua potable, distribuyendo un litro por charola
Fertilización de la plántula	03-abr	aparece la hoja verdadera se empieza a suministrar una solución fertilizante preparada para dos litros con una composición de: 1gr 12-61-00 nitrógeno y fosforo .8 gr 0-00-52-18 sulfato de potasio .4gr 11-0-016 nitrato de manganeso .2gr micros (Zn, Cu, Mn, Mg, B, Mo) El volumen de agua utilizada aumentó a 1.30 litros por charola.
Fertilización completa	11-abr	se adiciona el fertilizante 19-19-19
se suspende fertilización	29-abr	Debido al tamaño alcanzado por las plántulas se suspendió el riego con fertilizante y se suministró a la planta solo agua

Figura 20. Actividades de manejo del almácigo del mes de marzo al mes de abril del año 2017.



Figura 21. Plántula a los 12 días de edad después de la eclosión de la semilla



Figura 22. Plántula de chile habanero a los 25 días de edad después de la eclosión de la semilla



Figura 23. Plántula seleccionada para el trasplante.

4.3. Selección de la plántula para trasplante hidroponía, invernadero en suelo y a cielo abierto en suelo

Las características de las plantas trasplantadas fue que tuvieran un tamaño de entre 9 y 12 cm, el tamaño promedio de las plantas seleccionadas fue de 9.5 cm, otra característica importante es que tuvieran el sistema de raíz bien desarrollado.

Para cada sistema en suelo se trasplantaron 50 plántulas.

4.3.1. Diseño y construcción y trasplante a sistema de hidropónico

Para el cultivo en hidroponía se eligió en método de sistema en macetas, en el cual se selecciona un sustrato inerte de manera que se tenga la propiedad de servir de soporte a la plántula y además sea capaz de retener el agua para alimentar las raíces.

4.3.2. Materiales

- 1) Bolsa para cultivo de 35x35 con fuelle col. Blanco/Negro Cal. 600

Descripción: Las bolsas maceteras, también llamadas bolsas agrícolas se recomiendan para el cultivo de plantas de corte mediano a alto, tienen un interior Negro para proteger a las raíces de la luz y así evitar la formación de algas y tiene exterior blanco para disminuir la temperatura de la maceta



Figura 24. Bolsa de maceta para el cultivo de habanero.

2) Estaca con laberinto para tubin 2.8 L/H

Descripción: Precisión exacta para riego por goteo localizado ya que regula el flujo del líquido a 2.8 litros por hora, ahorrando el uso inclusive de goteros.

Su grabado ayuda a la regulación del flujo y evita encharcamientos en el sustrato.

Fabricados a partir de plásticos duraderos para una larga vida y con protección ante la degradación UV es Resistentes a químicos y fertilizantes.



Figura 25. Estaca con laberinto

3) Gotero Anti drenaje Autocompensante para riego localizado de 4 LPH Color negro

Descripción: permite distribuir el riego de manera proporcional al número de salidas que le conectemos; permitiendo administrar con precisión la cantidad y la zona donde queremos dirigir el riego. Cada Gotero Anti drenaje autocompensante también cuenta con un diafragma el cual le permite mantener la presión dentro del sistema de riego y por lo mismo.



Figura 26. Gotero anti drenaje

4) Adaptador o Distribuidor de 4 salidas para microtubo de 5 mm

Descripción:

Elaborado a base de plástico resistente a la abrasión por insecticidas y fertilizantes. Recomendado para cultivos en Bolsas o macetas, especiales para riego localizado.



Figura 27. Adaptador de 4 salidas

5) Manguera Microtubing de 3/5

Descripción: Manguera fabricada con polietileno negro humo y protección anti UV para larga duración a la intemperie, tiene una resistencia de presión de 2 a 4 bares.



Figura 28. Micro tubo de 3/5 pulgadas de diámetro

6) Manguera Ciega o Poliducto de 16mm

Descripción: tiene un flujo regulado de riego, por lo que es ideal para la instalación de riegos por goteo localizado.

Su coloración oscura evita la formación de algas y bacterias dentro de la misma. es resistente a la obstrucción, a químicos y a fertilizantes.

Fabricados a partir de plásticos duraderos para una larga vida y protegido contra la degradación UV.



Figura 29. Manguera utilizada en el sistema de riego

7) Tubo de PVC de 2 pulgadas

Descripción: Resistente al ataque de corrosivos y al impacto. Flexibilidad, baja conductividad termal.



Figura 30. Tubo de PVC utilizado en el sistema de riego

4.3.3. Sustratos

1) Vermiculita

Descripción: Sustrato de origen mineral tiene una porosidad 80% - 90%, retención de líquidos del 68%, el tamaño de los granos 4 milímetros, PH 6.8 - 7.2



Figura 31. Vermiculita de la marca agrolita

2) Perlita

Descripción: sustrato de origen mineral. La perlita es un sustrato ligero, que permite una excelente ventilación y drenaje en tus cultivos. Ideal para la germinación en almácigos o bolsas de plástico y para el desarrollo de hortalizas tanto de porte alto como mediano; brinda una gran retención de líquido además de que nos ayuda al aumento de potencial en tierra en cultivos. Porosidad: 34% - 65%, retención de líquidos 63%, tamaño de los granos 1.5 - 2.3 milímetros



Figura 32. Costal de perlita de la marca enviroment

3) Peat moss

Descripción: está formulado principalmente para la propagación de plántulas bajo condiciones de invernadero. Sus procesos de recolección, tamizado, mezcla y empaque aseguran un producto libre de plagas, maleza y enfermedades, con homogeneidad en la distribución de sus componentes, así como una alta capacidad de retención de humedad



Figura 33. Características técnicas del sustrato peat moss

4) Arena de río

Descripción: Menor contenido en finos y un alto equivalente de arena. Granulometría de 3mm, fue Lavada y desinfectada con cloralex al 5%



Figura 34. Arena de río desinfectada

4.3.4. Construcción del sistema

- a) El invernadero de 30m² fue limpiado y desinfectado con una solución de cloro al 30%
- b) Se hizo la preparación de las macetas con un contenido de 16.6% de agrolita, 22.2% de perlita, 50% de peat moss 11% arena.
- c) Cada bolsa se llenó colocando una base de arena (11%), luego los sustratos agrolita, perlita y peat moss.

Los sustratos mencionados fueron colocados en una tina de 400 litros donde fueron mezclados en una proporción 2.5 litros de agua por cada maceta.

- d) El drenaje de la bolsa se hizo en la parte baja de la maceta, este orificio fue de un largo de 3 cm y tiene la función de eliminar el exceso de agua.
- e) El sistema de riego se hizo utilizando manguera ciega con perforaciones cada 40 cm. Se colocaron bloques de 4 plántulas a lo largo de la manguera
- f) Se utilizó un tinaco de 450 litros como almacén de la solución nutritiva



Figura 35. Colocación de las canaletas de riego y del sistema de almacenamiento de la solución nutritiva



Figura 36. Instalación del timer y colocación de las macetas en su línea de alimentación.



Figura 37. Preparación y colocación del sustrato en las bolsas de cultivo.

Cada maceta a está conectada con microtubo a un gotero y a un adaptador de la manguera ciega, estas estacas son las que estarán proporcionándole el agua a cada planta del sistema.



Figura 38. Instalación de los goteros, adaptadores y estacas para cada bloque de plantas



Figura 39. Bloque de macetas con sistema de riego



Figura 40. Área de 9m² del sistema hidropónico

4.3.5. Trasplante a hidroponía

Una vez preparadas las macetas de soporte y la instalación del sistema de riego se procedieron a realizar el trasplante de la plántula, este se hizo en un horario de 10am, en promedio el tamaño de la plántula fue de 9.5cm. Se trasplantaron 50 plántulas al sistema de hidroponía.



Figura 41. Plántula seleccionada para trasplante a hidroponía

Antes de realizar el trasplante se verifico que el sustrato estuviera húmedo esto con la finalidad de que la planta pudiera estar en un medio húmedo y con la capacidad de poder expandir sus raíces, Se le realizo un orificio de 7 cm de profundidad para la inmersión de la plántula.



Figura 42. Plántulas trasplantadas a sistema hidropónico

4.3.6. Preparación de la solución nutritiva

Se preparó una solución nutritiva para 450 litros en base a la solución Steiner la cual también fue adicionada de ácido fosfórico para mantener un pH ideal de 6.1 unidades. La figura 44 nos muestra la cantidad de gramos de cada sustrato que fue añadida a la solución nutritiva.

Fertilizante	Formula	Cantidad gramos
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	258.3
nitrato de potasio	KNO_3	146.25
sulfato de potasio	K_2SO_4	33.75
sulfato de magnesio	MgSO_4	184.5
Micronutrientes		11.25
Ácido fosfórico	H_3PO_4	51 mil

Figura 43. Contenido de la solución nutritiva para el sistema hidropónico.

4.3.7. Programación de riegos.

Se determinó la programación de 6 tiempos de riego con una duración de 1 minuto cada 2:30hrs. La planta tuvo un consumo de 50 mililitros por minuto y por día 350 mililitros.



Figura 44. Medición del consumo de agua por minuto

4.4. Trasplante de plántula los sistemas en suelo acolchado

Para el cultivo en suelo se trabajó con la técnica de acolchado con hule blanco, la cual consiste en la colocación de un hule encima de las camas de cultivo, su función es Impedir el crecimiento de hierbas ya que evita el paso de luz, además evita el riesgo de quemaduras en las partes aéreas de las plantas, ya que se calienta mucho menos que un film negro y una de las ventajas más grandes es que optimiza los recursos hídricos ya que reduce la evaporación de agua del suelo, y por tanto, la desecación del mismo.

En invernadero se cultivó en media cama a dos hileras con una distancia entre hileras de 50 cm y 35 cm entre planta y planta. Ver figura 46

Para cielo abierto se trabajó en una cama de cultivo a dos hileras con una distancia entre hileras de 50 cm y 35 cm entre planta y planta.



Figura 45. Trasplante a suelo acolchado en invernadero



Figura 46. Trasplante a suelo acolchado en cielo abierto

4.5. Desarrollo fenológico del cultivo

Se realizó un muestreo al azar seleccionando a 15 individuos, a los que se les hizo un muestreo cada 15 días con las siguientes variables de respuesta:

- ✓ Planta:

- Diámetro y longitud de tallo
- Numero de frutos
- Altura de planta



Figura 47. Selección plantas al azar para seguimiento fenológico.

El aparato que se utilizó para hacer las mediciones de diámetro de tallo fue un vernier de la marca truper®, para medir altura y ancho de follaje se utilizó una cinta métrica de la marca truper®.

4.6. Rendimiento de cada sistema hidroponía, invernadero en suelo y suelo en cielo abierto.

La cosecha de los frutos maduros empezó en la última semana del mes de julio a partir del día 31 de julio y termino el 5 de octubre realizando en total 5 cortes de fruto para sistema de hidroponía e invernadero en suelo y 3 cortes para sistema en cielo abierto esto debido a que las condiciones de intemperie no le permitieron al sistema permanecer por más tiempo.

Los parámetros de análisis que se definieron para rendimiento de fruto son:

- ✓ FRUTO
- Peso fresco
- Largo y ancho de fruto

A los datos obtenidos de las variables de respuesta relacionadas con el desarrollo fenológico del cultivo, así como las variables de cosecha, se les realizaron Anova´s

y prueba de tukey utilizándose el programa estadístico SPSS versión 2.0 manejándose un nivel de confianza del 95%.



Figura 48. Medición de tamaño y peso de fruto fresco.



Figura 49. Fruto de habanero deshidratado

4.7. Toma de muestra para análisis de capsaicina.

Se decidió realizar el análisis de capsaicina por un laboratorio externo, el cual pidió la muestra molida y seca.

Procedimiento de extracción de la muestra

1. Se extrajeron 15 chiles de cada sistema de cultivo, seleccionando un chile por planta etiquetada.



Figura 50. Selección de fruto maduro de invernadero y sistema hidropónico

2. El chile habanero recolectado fue limpiado, se le quitó el péndulo y las semillas, se troceó y se pesó en fresco



Figura 51. Preparación de la muestra para deshidratación.

3. Se colocó el fruto fresco a secar en una incubadora de la marca incucell® a una temperatura de 39.1°C durante 120 horas.



Figura 52. Muestras en la incubadora a 39.1°C

4. la muestra se sometió a un procedimiento molienda, para obtener una muestra homogénea con una elevada superficie de contacto esto con la

5. finalidad de que el disolvente que se utilice pueda tener una mayor accesibilidad.



Figura 53. Muestras deshidratadas y en proceso de molienda.

6. Una vez obtenido un polvo fino se pesó en seco y se almaceno en frascos ámbar y se refrigero a una temperatura de 4°C.



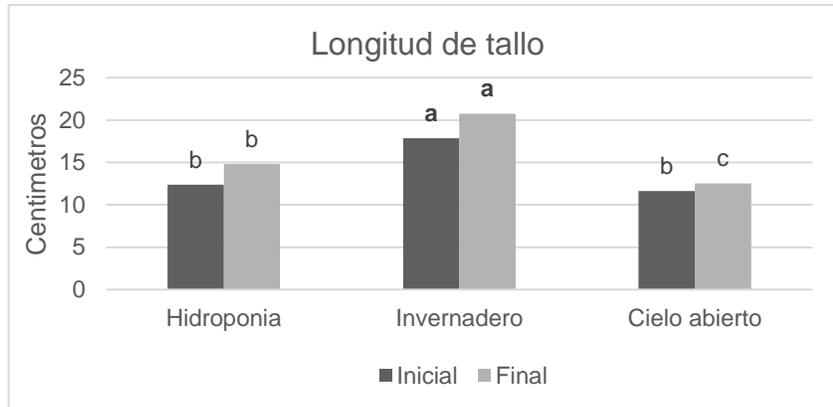
Figura 54. Muestra molida y almacenada en frasco ámbar

V. RESULTADOS

El análisis de varianza aplicado a los datos de los diferentes tratamientos nos indicó diferencias altamente significativas entre las variables longitud y diámetro de tallo y altura de planta, longitud de fruto, ancho de fruto y peso de fruto.

6.1. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) longitud del tallo

La variable longitud de tallo se muestreo durante 6 fechas,(4 de junio, 20 de Junio, 5 de julio, 30 de julio, 9 de septiembre y 5 de octubre de 2017) los resultados que se muestran corresponden al promedio de longitud de tamaño de planta inicial de cada sistema (30 después del trasplante), y la longitud promedio de tallo final entre los 183 y 152 días de edad después del trasplante (Nota: el estado final de las plantas del sistema de cielo abierto corresponde a una edad de 152 días después de trasplante ya que las plantas no completaron las 6 fechas de muestreo debido al ataque de un virus que no fue identificado y las plantas del sistema hidropónico y en invernadero corresponden a una edad de 183 días después del trasplante). En la figura 57 se muestra que el sistema en invernadero tuvo el mejor desarrollo de longitud ya que alcanzó en promedio 20.76 cm, esto muestra una diferencia significativa de 1.67 veces en relación al sistema hidroponía, (el sistema hidropónico obtuvo un promedio de longitud de 12.37) y fue de 1.78 veces más que en el sistema de cielo abierto (el sistema cielo abierto obtuvo un promedio de longitud final de 11.61 cm). Ver figura 57.

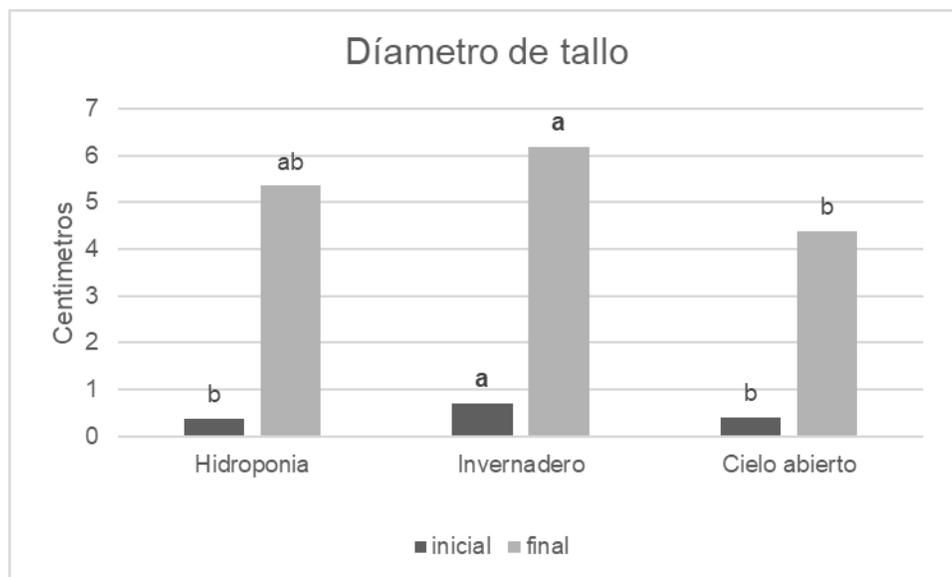


Literales diferentes muestran diferencias estadísticas

Figura 55. Prueba de media Tukey ($\alpha = .05\%$) de la variable longitud de tallo inicial y final de plantas de chile habanero de días cultivadas bajo tres diferentes sistemas.

6.2. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) en las variables de diámetro de tallo inicial y final de los tres sistemas de producción

La variable diámetro inicial de tallo tuvo una diferencia significativa a favor del sistema en invernadero en suelo, sin embargo, con el desarrollo de la planta el sistema hidroponía e invernadero lograron a tener un diámetro similar. El diámetro final del sistema en invernadero fue de 6.17 cm, en hidroponía el diámetro promedio fue de 5.35 cm y en cielo abierto se registró un promedio de 4.37 cm. La variable diámetro de tallo inicial se muestro a los 30 días de edad de planta después del trasplante y el diámetro final se muestro entre los 183 y 152 días de edad de planta después del trasplante.

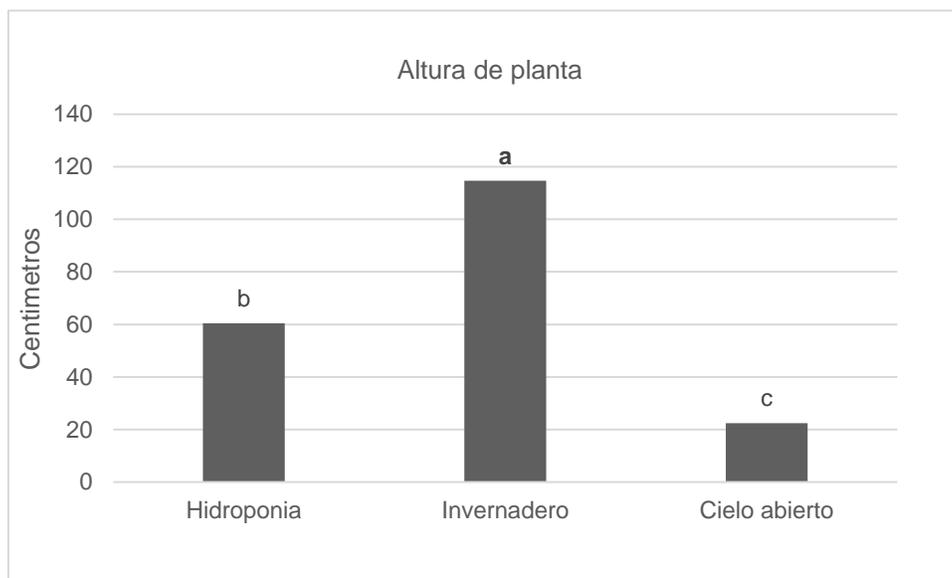


Literales diferentes muestran diferencias estadísticas

Figura 56. Prueba de media Tukey ($\alpha = .05\%$)de la variable diámetro de tallo inicial de plantas de chile habanero muestreado a los 30 después del trasplante y diámetro final muestreado a los 183 y 152 días después del trasplante).

6.3. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable altura de planta de los tres sistemas de producción

El sistema en invernadero tuvo una altura promedio de planta de 114.58 centímetros, el sistema en hidroponía tuvo una altura máxima de 60.47 centímetros y el sistema en cielo abierto de 47 centímetros, como se puede apreciar en la figura 64, existe una diferencia significativa donde el sistema en invernadero tuvo ventaja en comparación a los otros dos tratamientos.

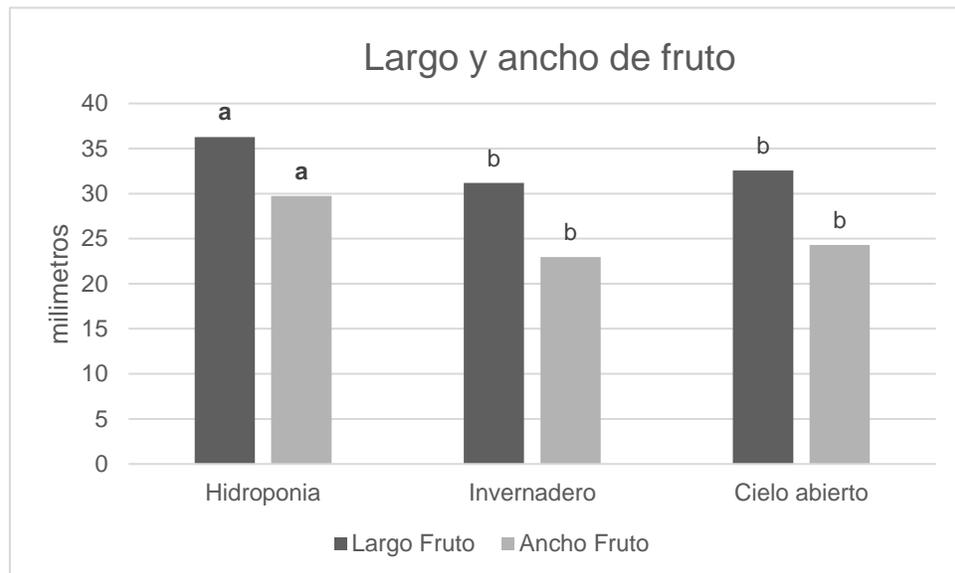


Literales diferentes muestran diferencias estadísticas

Figura 57. Prueba de media Tukey (alfa = .05%) de la variable altura promedio máxima alcanzada en cada sistema de producción

6.4. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable largo y ancho de fruto extraído de los tres sistemas de producción

El sistema que dio los frutos más grandes fue el sistema hidropónico llegando a tener en promedio de largo 36.27 y de ancho 29.74 hubo diferencia significativa a comparación de los frutos del sistema invernadero y cielo abierto. El sistema invernadero registro un promedio de largo de fruto de 28.37 milímetros y un promedio de ancho de 22.09 milímetros. El sistema a cielo abierto obtuvo un promedio de largo de 32.55 y promedio de ancho de 24.48 milímetros

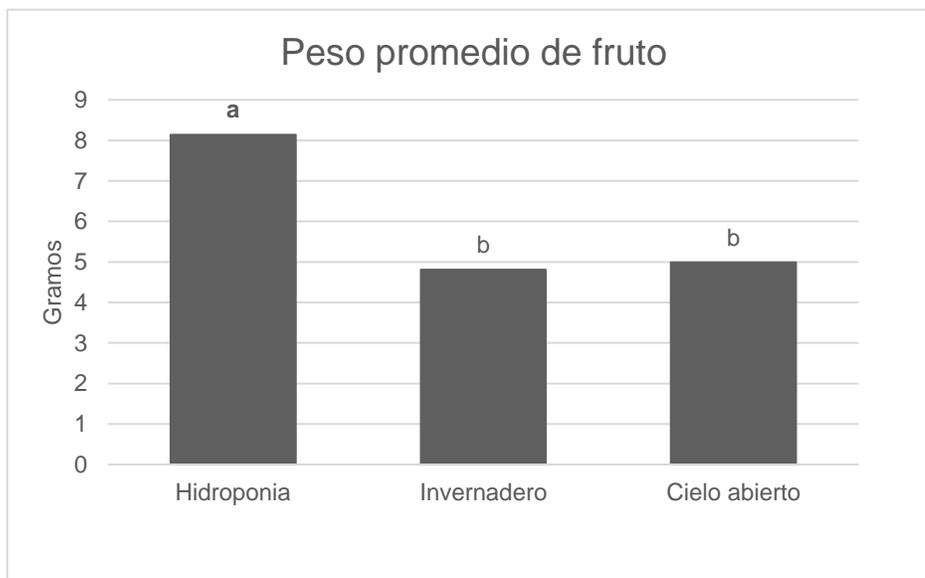


Literales diferentes muestran diferencias estadísticas

Figura 58. Prueba de media Tukey ($\alpha = .05\%$) de la variable largo y ancho de fruto extraídos de los tres sistemas de producción

6.5. Prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para la variable peso de fruto extraído de los tres sistemas de producción

La figura 61 muestra el peso de fruto obtenido en cada sistema de producción, el fruto de hidroponía fue el que obtuvo el más alto peso llegando a tener un promedio de 8.14 gramos hubo diferencia significativa en cuanto a tamaño, calidad y peso de fruto, para el sistema en invernadero y cielo abierto en suelo no hubo diferencia significativa, el peso promedio del fruto de invernadero fue de 4.8 gramos y en cielo abierto se obtuvo un peso promedio de 4.9 gramos.



Literales diferentes muestran diferencias estadísticas

Figura 59. Prueba de media Tukey ($\alpha = .05\%$) de la variable rendimiento de peso de fruto en los tres sistemas de producción.

6.6. Rendimiento total.

En la figura 62 se muestra los resultados de rendimiento obtenidos en cada sistema de producción, para el sistema en hidroponía se tiene un número total de 192 frutos extraídos, con un peso promedio de 8.1 y de acuerdo a la NMX-FF-025-SCFI-2007 PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS. PARA CONSUMO HUMANO - CHILE FRESCO. (*Capsicum spp*) tiene una categoría de primera calidad, tuvo rendimiento total por sistema de 1555.2 gramos. El sistema en invernadero tuvo el mayor número de fruto extraído con 434 unidades una diferencia altamente significativa, sin embargó el fruto extraído corresponde a una tercera calidad, fue el sistema que obtuvo el mayor rendimiento con una producción de 2083.2 gramos. En el sistema a cielo abierto se extrajeron 80 unidades de fruto, se obtuvo un peso promedio de fruto de 4.9 gramos, este peso por fruto lo sitúa dentro de una calidad de tercera y tuvo un rendimiento total de 392 gramos.

Sistema de producción	Número de frutos	Rendimiento sistema (gramos)	Rendimiento por planta (gramos)	Rendimiento fruto (gramos)
Hidroponía	192 ^b	1555.2 ^b	103.7	8.1 ^a
Invernadero	434 ^a	2083.2 ^a	138.9 ^a	4.8 ^b
Cielo abierto	80 ^c	392 ^c	26.13	4.9 ^b

Literales diferentes muestran diferencias estadísticas

Figura 60. Prueba de media Tukey ($\alpha = .05\%$) de la variable rendimiento total por tratamiento

6.7. Consumo de agua.

El cálculo de consumo de agua se tomó en cuenta desde el riego en las charolas de germinación (15 de marzo) hasta el levantamiento del cultivo (30 de octubre).

Hubo diferencias altamente significativas en relación al consumo de agua, el sistema en hidroponía ahorro aproximadamente el 68.82% de lo que utilizaron los otros dos sistemas.

Sistema	Consumo de agua (L)	Consumo de agua por planta (L)
Hidroponía	3125a	62.5a
Invernadero	9023	180.46
Cielo abierto	10023	200.46

Literales diferentes muestran diferencias estadísticas

Figura 61. Consumo de agua durante el ciclo de cultivo por sistema de producción

6.8. Contenido de capsaicina

El análisis se realizó en un equipo de cromatografía líquida de alta eficiencia. En la figura 64 se muestra la concentración de capsaicina en unidades scoville

Muestra	Capsaicina unidades scoville
Hidroponía	147692.28a
Invernadero	105620.89b
Cielo abierto	90256.6995c

Figura 62. Contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina en frutos de chile habanero

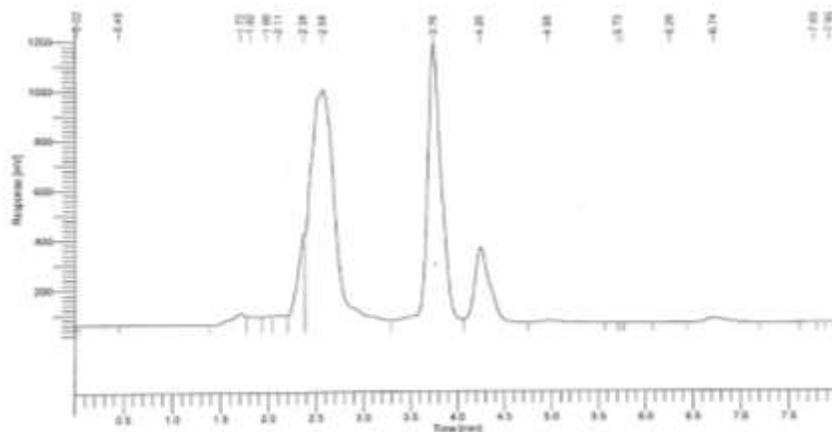


Figura 63. Espectros de capsaicina identificada al tiempo 3.75 y de dihidrocapsaicina al 4.25. Cromatograma de la muestra de hidroponía

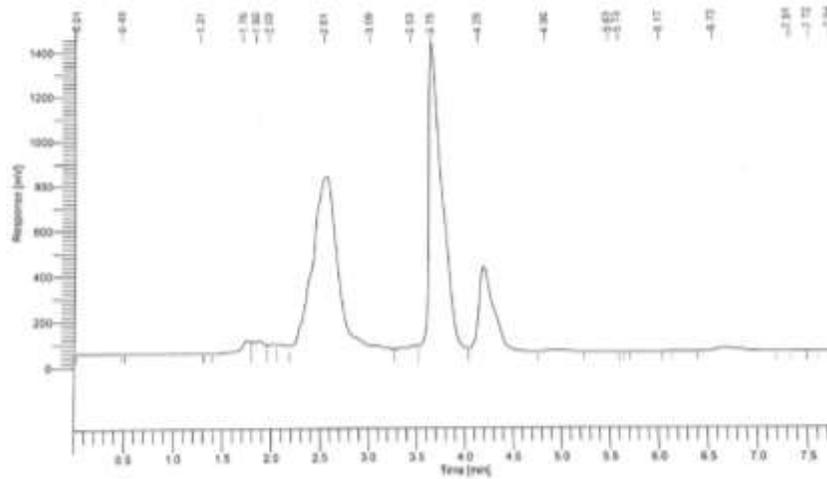


Figura 64. Espectro de capsaicina identificada al tiempo 3.75 y de dihidrocapsaicina al 4.25. Cromatograma de la muestra de invernadero en suelo acolchado

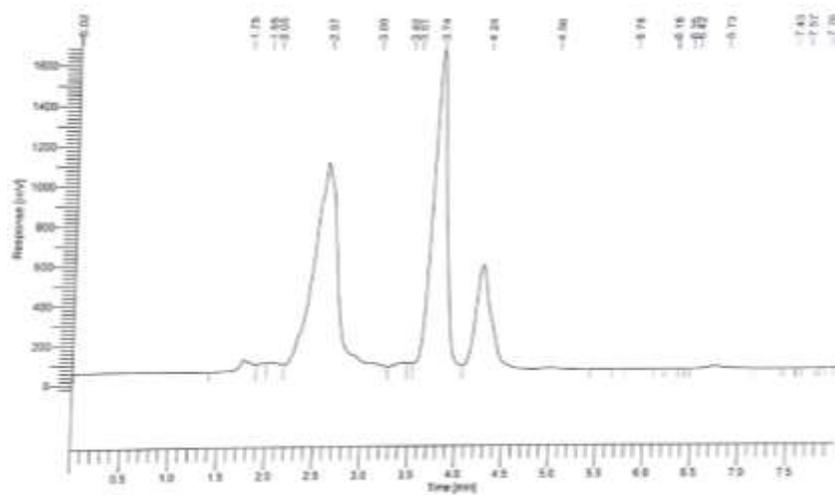


Figura 65. Espectro de capsaicina identificada al tiempo 3.75 y de dihidrocapsaicina al 4.25. Cromatograma de la muestra a cielo abierto en suelo acolchado

VI. Discusión de resultados

Desarrollo fenológico de la planta

El sistema en invernadero obtuvo un promedio de largo de tallo de 20.76 centímetros y un diámetro de tallo de 6.17 centímetros, el sistema en invernadero obtuvo un largo de tallo de 14.82 cm y un diámetro de tallo de 5.35 cm para el sistema en cielo abierto se obtuvieron valores de 12.52 cm de longitud y 4.37 cm de diámetro de tallo. Hubo diferencia significativa en el sistema en invernadero e hidroponía.

El resultado de altura de planta mostro una diferencia altamente significativa con el tratamiento en invernadero en suelo ya que la planta llego a una altura de 1.14 metros, esta altura corresponde a la mencionada por Ruiz y medina (2011) quienes mencionan que el habanero puede llegar a medir de .75 a 1.20 metros en condiciones de invernadero. En tanto el sistema de hidroponía obtuvo un promedio de altura de planta de .60 metros este dato obtenido esta debajo de los valores mencionados por Ruiz y Medina, se le puede atribuir la altura obtenida a que la planta estuvo estresada por el ataque del pulgón *Myzus persicae*. Por otro lado, en cielo abierto se obtuvo un promedio de .22 metros, Gonzales y Casanova nos dicen que en condiciones de cultivo a cielo abierto, la planta tiene un hábito de crecimiento intermedio con una altura que puede variar de 0.40 a 1.0 m. El resultado obtenido puede entenderse debido a las condiciones climáticas, ya que las temperaturas registradas durante los meses de cultivo de mayo a agosto del 2017 en Durango fueron en promedio de 33°C este dato está por encima de lo que nos dice SOLHIAGUA (2016) quien menciona que rango de temperatura optimo va de los 25° y los 30°.

Rendimiento

Los rendimientos alcanzados mostraron respuesta significativa al método de producción elegida, El rendimiento de fruto tuvo una respuesta significativa con el tratamiento en invernadero, en suelo se extrajeron 434 unidades con un peso promedio de 4.8 gramos, dando un rendimiento total de 2083.2 gramos y un

rendimiento promedio de planta de 138.9 gramos. Por otra parte, hubo respuesta significativa en cuanto a peso y tamaño de fruto con el sistema en hidroponía, este sistema obtuvo un peso en promedio por fruto de 8.14 gramos de acuerdo a la NMX-FF-025-SCFI-2007 PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS. PARA CONSUMO HUMANO este peso corresponde a frutos de primera calidad. En el sistema hidropónico se extrajeron en total 192 unidades de fruto y se tuvo un rendimiento total de 1555.2 gramos con una media de peso de 103.7 gramos por planta. El tratamiento con el rendimiento menor fue el sistema a cielo abierto se extrajeron 80 unidades de fruto, con un peso promedio por planta de 26.61 gramos y un peso individual de fruto de 4.9 gramos

Consumo de agua

El objetivo principal de la investigación fue estimar el consumo de agua en los tres sistemas de producción,

El tratamiento que tuvo un consumo menor de agua fue el sistema de hidroponía, este método de producción utilizó durante todo el ciclo de cultivo (del 15 de marzo al 6 de 30 de octubre) 3.1 m³, y un consumo por planta de 62.5 litros, esta cantidad representa entre el 65 % y 68% de ahorro a comparación del sistema invernadero quien consumió un total de 9m³ y cielo abierto que consumió 10023 m³.

Esta diferencia significativa de agua es debido a la eficiencia del sistema en administrar el agua a la raíz evitando pérdidas durante el transporte de agua, evaporación o por infiltración.

Contenido de capsaicina

Determinar el contenido de capsaicina en cada sistema de producción fue el segundo objetivo clave de la investigación. la hidroponía tuvo el mayor contenido de capsaicina logrando una concentración de 147692.28 unidades Scoville. La planta del cultivo en invernadero tuvo 105620.89 y los frutos de cielo abierto 90256.69 Los valores obtenidos de capsaicina son similares a los que ha reportado el autor

Cisneros-Pineda et al. (2007) quien obtuvo una concentración para habanero naranja de 109050 unidades Scoville. Rangos similares han sido reportados por Borges-Cervantes et al. (2010) quienes reportaron una concentración de capsaicina de 70500 a 126000 unidades Scoville.

De acuerdo a la escala scoville el chile habanero llega a tener una concentración de 100000 a 350000 unidades de picor, tanto frutos de hidroponía como frutos de invernadero están dentro del rango de picor, los frutos de cielo abierto quedan por debajo del rango mencionado.

Diversos autores como B. Estrada (2002) mencionan que el contenido de capsaicina está genéticamente controlado, pero también se ve afectado por variables medio ambientales como la temperatura, la luz, la humedad del suelo, estrés hídrico o los niveles de fertilización de éste.

VII. Conclusiones

La hidroponía fue el tratamiento que tuvo un menor consumo de agua, durante el ciclo de cultivo consumió 3125 litros (3.1 m^3), fue el sistema que obtuvo una mayor concentración de capsaicina con 147692.28 unidades scoville. El sistema en invernadero consumió 9023 litros (9m^3) y obtuvo una concentración de capsaicina de 105620.89 unidades Scoville. El sistema a cielo abierto consumió 10023 litros de agua mientras que su contenido de capsaicina fue de 90256.69 unidades Scoville.

De acuerdo al análisis estadístico realizado, hubo diferencia significativa en cuanto a rendimiento de producción, el sistema en invernadero en suelo obtuvo la mayor producción de los tres sistemas, a pesar de ello el fruto que se extrajo era de tercera calidad una característica que resta valor en el mercado de venta en fresco. Por otra parte, el análisis estadístico realizado al peso, largo y ancho de fruto nos marcó una diferencia alta mente significativa a favor del sistema hidropónico. El fruto obtenido de este sistema se encontró dentro de una calidad de primera y con un tamaño mayor al extraído en los otros dos tratamientos

En Durango el cultivo de chile habanero bajo condiciones de agricultura protegida es una oportunidad de negocios, cultivar mediante condiciones de invernadero permite proteger a las cosechas de factores ambientales adversos. *Capsicum chinense* es una especie de alto valor comercial su precio en fresco ronda los \$129.00 por kilogramo, sin embargo, existe un mercado potencial de capsicum chinense el destinado a la extracción de capsaicina.

Hacer eficiente el uso del agua debe de ser una prioridad a implementar en los sistemas de producción.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguirre E.; Muñoz V.:(2015). El chile como alimento. México. Ciencia :16-23

Arnold D.; Stout P.:(1939). The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. COLLEGE o AGRICULTURE UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Banco Mundial sobre el desarrollo; (2008). Agricultura para el desarrollo. Consultado en línea el 30/octubre/2016:

<http://siteresources.worldbank.org/INTIDM2008INSPA/Resources/INFORME-SOBRE-EL-DESARROLLO-MUNDIAL-2008.pdf>.

Beltramo J.; Giménez D.; (2015). Cultivo en hidroponía. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

Bosland P.W; Votava E.J.; (2012). Peppers: vegetable and spice Capsicums. New México, USA. Cabi Publishing.

Cedron J. C.; (2013). La capsaicina. Revista de Química PUCP 27: 7-8.

Contreras R.; Aguilar O.:(2012). Desarrollo sostenible (semblanza histórica). Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle 37: 101-121.

De león E.; (2008), Hidroponía. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala-Fundación Soros Guatemala.

Eco red;(2008). Consultado en línea el 10/oct/2016

http://www.ecored.com.mx/portalesp/pagina/z_10_Desarrollo_Sustentable.php

FAO; (2002). La agricultura y su evolución a la agroecología. Consultado en línea el 29/sep./2016:

<http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/y3918s00.htm#TopOfPage>.

Fernández C.; & Mendoza R.; (2008). Evaluación del fósforo disponible mediante tres métodos en distintos suelos y manejos productivos. *Ciencia del suelo*, 1 13-27.

Fernández G.; (2007). Extracción, análisis, estabilidad y síntesis de capsaicinoides. Tesis de Doctorado de la Universidad de Cádiz España.

Foladori G.; (1999). Los límites del desarrollo sustentable. Montevideo: Ediciones de la Banda Oriental/Trabajo y Capital.C.

Foladori G.; (2001). Controversias sobre sustentabilidad: la coevolución sociedad-naturaleza. Ciudad de México.

González E.; Casanova C.; Gutiérrez P.; Torres T.; Contreras M.; Peraza S. S.; (2010) Chiles cultivados en Yucatán. CICY, CONABIO, SEDUMA: 342-344.

Hydroenvironment;(2016). Consultado en línea el 10/oct/2016

<http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main>

López-Gómez, J.;(2017). Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 1747-1758

López-Riquelme;(2003). Chili: La especia del nuevo mundo. México. *Ciencias* 69: 66-75.

Medina S.;(2004). La dependencia tecnológica en México. *Economía UNAM* 330.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANERIA Y PESCA REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY_ Consultado en línea el 01/oct/2016

<http://www.mgap.gub.uy/bibliotecasdelmgap/bibliotecacentral/boletines/b6publicaciones/hidroponia.pdf>

Oasis floral;(2016). Consultado en línea el 29/oct/2016:

<http://www.oasisfloral.mx/pdf/manual-hidroponia.pdf>

Oldeman L.R.; Hakkeling R.T.A.; Sombroek W.G.; (2001). World map of the status of human-induced soil degradation. *Land Degradation & Development* 3: 68-69

ONU;(2015). Consultado end line el 10/oct/2016

http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/green_economy_2011/pdf/info_brief_water_and_agriculture_spa.pdf

Orozco C.S.; Jiménez S. L.; Estrella C. N.; Ramírez V. B.; Peña O.B.V.; Ramos S.A.; Morales G. M.; (2008). Escuelas de campo y adopción de ecotecnia agrícola. *Ecosistemas* 17: 94-102.

Otazú V.; (2010). Manual de la producción de semilla de papa de calidad usando Aeroponía. Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP): 5-7.

Peña-Álvarez A.; Ramírez-Maya E.; Alvarado-Suárez L.A; (2009). Analysis of capsaicin and dihydrocapsaicin in peppers and pepper sauces by solid phase micro extraction –gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1216: 2843-2847.

Prado U., G. 2006. Tecnología de producción comercial del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, 43.

Restrepo R. J.; Pinheiro S.; (2011). *Cromatografía*. Cali: Feriva

Robledo-Arratia L.; (2012). Consultado en línea el 10/oct/2016

http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/323_cienciorama.pdf

Ruiz-Lau N.; Medina F.; Martínez M.; (2011). El chile habanero su origen y usos. *Revista Ciencia* 62: 70-77.

SAGARPA; (2012). México, potencia productora de chile. Boletín de Prensa. Mérida Yucatán.

Sánchez Á.; (2004). Hidroponía: una gota viva de esperanza. Consultado en línea el 30/sep./2016:

http://www2.mgap.gub.uy/BibliotecasdelMGAP/BibliotecaCentral/Boletines/B6Publicaciones/Articulo_AlvaroSanchez.pdf

SEMARNAT;(2013). Consultado en línea el 01/oct/2016

http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/03_suelos/3_2.html

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera;(2010). Consultado en línea el 15/oct/2016

<http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100705-monografia-chile.pdf>

Sinergia; (2012). Impactos ambientales en agricultura. Consultado en línea el 20/oct/2016:

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=SYNERGIA_boletin_9.pdf

Sinergia;(2012). Producción Respetuosa en Viticultura: Impactos Ambientales en Agricultura. Consultado en línea el 20/oct/2016:

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=SYNERGIA_viti.pdf

Soria, F.; Trejo J; Saldívar R.; (2002), Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsi - cum chinense* Jacq.), Secretaría de Educación Pública/ SEIT/Instituto Tecnológico Agropecuario de Conkal, Yucatán, pp. 1-21.

Tapias-Vargas M. et al.:(2016). Producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum chinense* Jacq.). Revista fitotecnia mexicana 3: 241-245

Villa M. et al.; Producción hidropónica de chile habanero en invernadero. CENID-RASPA

Wikipedia;(2016). Consultado en línea el 10/oct/2016

https://es.wikipedia.org/wiki/Thomas_Malthus