



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN CHILE 'JALAPEÑO' (*Capsicum annuum*) BAJO
INVERNADERO EN CUATRO SUSTRATOS**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

HERIBERTO FERMÍN SANTOS

DIRECTOR DE TESIS

M.C GUILLERMO JESUITA PÉREZ MARROQUÍN

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2021



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN CHILE 'JALAPEÑO' (*Capsicum annuum*) BAJO
INVERNADERO EN CUATRO SUSTRATOS**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

HERIBERTO FERMÍN SANTOS

DIRECTOR DE TESIS

M.C GUILLERMO JESUITA PÉREZ MARROQUÍN

ASESORES

M.C. JOSÉ MÉNDEZ GÓMEZ

M.C. RAMIRO ESCOBAR HERNÁNDEZ

DR. RAÚL BERDEJA ARBEU

San Juan, Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2021.

La presente tesis titulada: "Productividad del agua en Chile 'Jalapeño' (*Capsicum annuum*) bajo invernadero en cuatro sustratos" y realizada por Heriberto Fermín Santos, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por:

Firma

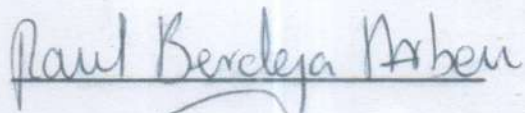
Director: M.C. Guillermo Jesuita
Pérez Marroquín



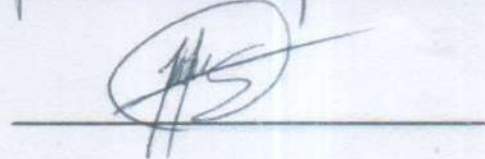
Asesor: M.C. Ramiro Escobar
Hernández



Asesor: Dr. Raúl Berdeja Arbeu



Asesor: M.C. José Méndez Gómez



San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2021.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: BUAP CA-231-Manejo de recursos fitogenéticos y de la Línea de Investigación: Manejo y Conservación de Recursos Fitogenéticos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias Dicho trabajo, fue financiado con recursos propios.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con mucho cariño a mis padres María del Carmen Santos Guerrero y Librado Fermín Hernández por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por enseñarme a valorar las cosas. Gracias por darme todo su cariño y amor, gracias por la paciencia que me han brindado durante estos últimos años, gracias, por tanto, LOS AMO.

A mi hermano Luis Ángel Fermín Santos por ser mi más grande amigo, consejero, mano derecha. Sabes muy bien lo mucho que te quiero y está de más decirlo.

A mi hermana Anayeli Fermín Santos

A mi hermana Brenda Idalia Fermín Santos, gracias por alegrarnos siempre.

A mi hermano Uriel Fermín Santos, el pequeño ingeniero, gracias por todos los consejos y la compañía.

A los compañeros de esta hermosa universidad

A mi familia y amigos que contribuyeron a ser la persona que ahora soy, este trabajo es nuestro.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al cuerpo académico y administrativo de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, siempre estaré eternamente agradecido por darme la oportunidad de superarme académicamente, profesionalmente y como persona.

Gracias a los docentes por todo el conocimiento que me han regalado.

Es un honor muy grande poder expresar mis más sinceros agradecimientos a las personas que contribuyeron de una u otra forma a la realización de este trabajo, particularmente a mi director de tesis el M.C. Guillermo Jesuita Pérez Marroquín por el tiempo que ha dedicado y consejos que han sido un factor importante en mi carrera, sin duda alguna también a mis asesores:

Gracias, Doctor en ciencias Raúl Berdeja Arbeu por su amistad, por los buenos consejos que me ha dado, las palabras de aliento, gracias por tomarse el tiempo de hacer las revisiones y correcciones necesarias. Sobre todo, por ayudarme a la realización de este trabajo.

Gracias, Maestro en ciencias José Méndez Gómez por brindarme las facilidades que ha tenido hasta ahora conmigo siempre estaré muy agradecido con usted, sin su ayuda no estaría hoy hasta aquí.

Gracias, Maestro en ciencias Ramiro Escobar Hernández por ayudar en mi formación académica y sobre todo por colaborar en este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.1.1 Objetivos específicos	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Importancia del cultivo en México	5
4.1.1 Importancia del cultivo en el estado de Puebla	7
4.2 Origen y descripción	8
4.3 Taxonomía	10
4.4 Manejo agronómico y fitosanitario	10
4.4.1 Siembra	10
4.4.2 Riegos	11
4.4.3 Fertilización	11

4.4.4	Control de malas hiervas	12
4.4.5	Control de plagas	12
4.4.6	Prevención y control de enfermedades	13
4.4.7	Cosecha	13
4.5	Importancia del agua en la agricultura de México	13
4.6	Requerimiento hídrico	15
4.6.1	Requerimiento por evapotranspiración	15
4.6.3	Riego localizado	17
4.7	Productividad del agua	17
4.8	Sustratos	19
4.8.1	Arena	20
4.8.2	Perlita	20
4.8.3	Tezontle rojo	20
4.8.4	Peat moss	21
4.8.5	Tierra de monte	21
4.9	Agricultura protegida	21
4.10	Investigaciones realizadas sobre productividad del agua en chile jalapeño.....	22
V.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1	Localización del experimento	24
5.2	Material genético	25
5.3	Manejo agronómico	26
5.3.1	Trasplante	26
5.3.2	Riegos	26
5.3.3	Fertilización	27
5.3.3	Control de plagas y enfermedades	27
5.3.4	Podas	28
5.3.5	Cosecha	28
5.4	Tratamientos y diseño experimental	28
5.5	Variables evaluadas	30

5.5.1 Características físicas y químicas de los sustratos	31
5.5.1.1 CE y pH	31
5.5.1.2 Características físicas	31
5.5.1 Altura de la planta	31
5.5.2 Número de hojas	31
5.5.3 Diámetro del tallo	32
5.5.4 Diámetro polar del fruto	32
5.5.6 Relación diámetro polar diámetro ecuatorial del fruto	32
5.5.6 Peso de fruto	32
5.5.7 Numero de frutos	33
5.5.8 Peso promedio de frutos	33
5.5.7 Porcentaje de materia seca (% MS)	33
5.6 Análisis estadístico	34
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6.1 Propiedades físicas y químicas de los Sustratos	35
6.2 Porcentaje de materia seca de hoja, tallo, raíz y total	36
6.3 Altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas	38
6.4 Rendimiento y sus componentes	42
6.5 Productividad del agua	44
VII. CONCLUSIONES	46
VIII. LITERATURA CITADA	47
IX. ANEXOS	55

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Diversidad de chiles cosechados en México en el 2020.	5
Cuadro 2. Principales estados productores de chile 'Jalapeño'.	7
Cuadro 3. Municipios productores de chile Jalapeño en Puebla.	8
Cuadro 4. Dosis de macronutrientes para chile 'Jalapeño'.	12
Cuadro 5. Valor del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo de la familia de las Solanáceas, Kc de referencia.	16
Cuadro 6. Miliequivalentes por L de cada nutrimento para constituir la solución nutritiva propuesta.	17
Cuadro 7. Podas realizadas en el cultivo de chile 'Jalapeño'.	28
Cuadro 8. Diseño de tratamientos.	29
Cuadro 9. Características químicas de los sustratos. .	35
Cuadro 10. Características físicas de los sustratos. .	36
Cuadro 11. Porcentaje de materia seca de tallo (MSTA), materia seca de hoja (MSH), Materia seca de raíz (MSR) y materia seca total (MSTO) en chile 'Jalapeño'.	38
Cuadro 12. Altura de planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) en chile 'Jalapeño' (28/07/2021).	39
Cuadro 13. Peso de frutos por planta (PFP), Número de	

	frutos (NF), peso promedio de frutos (PPF), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), relación diámetro polar diámetro ecuatorial (DP/DE) de chile 'Jalapeño'	44
Cuadro 14.	Productividad del agua (PA) de chile 'Jalapeño'	45
Cuadro 15.	Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m ⁻² ·día ⁻¹ ; 1 mm/día = 2,45 MJ·m ⁻² ·día ⁻¹)	55
Cuadro 16.	Volumen del aforo y repeticiones.	57
Cuadro 17.	Días después del trasplante (DDT) y lamina de riego	58
Cuadro 18.	Clasificación dl suelo de acuerdo al valor de pH.	69
Cuadro 19.	Interpretación de la conductividad eléctrica.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Ubicación de Teziutlán, Puebla.	24
Figura 2. Ubicación del experimento.	25
Figura 3. Distribución de los tratamientos dentro del invernadero.	30
Figura 4. Altura de planta de chile 'Jalapeño' en las diferentes	40
Figura 5. Diámetro de tallo de chile 'Jalapeño' en las diferentes	41
Figura 6. Número de hojas de chile 'Jalapeño' en las diferentes	42
Figura 7. Porómetro utilizado.	72
Figura 8. Porómetro con muestras de sustrato, colocadas en agua	73
Figura 9. Colocación de membrana en los porómetros. ...	74
Figura 10. Porómetro con muestras de suelo sumergido por completo	75
Figura 11. Muestras de suelo drenándose.	76
Figura 12. Medición del peso húmedo de la muestra.	77
Figura 13. Medición del peso seco de la muestra.	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Página
Anexo 1. Radiación solar extraterrestre.	60
Anexo 2. Aforo realizado en el sistema de riego.....	62
Anexo 3. Lamina de riego diaria aplicada al cultivo de chile 'Jalapeño'.	63
Anexo 4. Metodología para determinar pH y conductividad eléctrica (norma oficial mexicana NOM-021- REC NAT-2000).	66
Anexo 5. Metodología para determinar características físicas de los sustratos propuesta por Piere y Pereira.	74

RESUMEN

En la actualidad, la agricultura presenta diversos retos entre ellos la necesidad de eficientizar los recursos disponibles para la producción de alimentos, uno de los más importantes es el recurso hídrico. En base a esto se requiere de técnicas que permitan obtener mayores rendimientos y una eficiente utilización del agua, el objetivo de este trabajo fue evaluar productividad del agua en el cultivo chile 'Jalapeño' utilizando diferentes sustratos bajo invernadero. La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP en los meses de marzo a julio de 2021. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cuatro tratamientos y 6 repeticiones bajo invernadero, los tratamientos fueron: T1 (tierra de monte y perlita 1:1), T2 (tezontle rojo), T3 (peat moss) y T4 (arena). Las variables evaluadas fueron el número de hojas, altura de planta, porcentaje de materia seca, diámetro de tallo, peso de fruto, número de frutos por planta, diámetro polar de fruto, diámetro ecuatorial de fruto, relación diámetro polar/diámetro ecuatorial, rendimiento. El mayor rendimiento y productividad del agua se obtuvo con el T3 (peat moss) y también este tratamiento presentó una mejor respuesta al número de hojas, diámetro de tallo, peso de fruto, número de frutos, diámetro polar y ecuatorial de frutos, relación diámetro polar/diámetro ecuatorial.

Palabras clave: *Capsicum annum*, eficiencia, recurso hídrico, rendimiento.

ABSTRACT

At present, agriculture presents various challenges, including the need to make the resources available for food production more efficient, one of the most important is the water resource. Based on this, techniques are required that allow obtaining higher yields and efficient water use, the objective of this work was to evaluate water productivity in the Jalapeño pepper crop using different substrates under greenhouse. The present investigation was carried out in the facilities of the Faculty of Agricultural and Livestock Sciences of the BUAP in the months from March to July 2021. The experimental design used was a completely randomized with four treatments and 6 repetitions under a greenhouse. The treatments were: T1 (forest land and perlite 1: 1), T2 (red tezontle), T3 (peat moss) and T4 (sand). The variables evaluated were the number of leaves, plant height, percentage of dry matter, stem diameter, fruit weight, number of fruits per plant, polar diameter of fruit, equatorial diameter of fruit, polar diameter / equatorial diameter ratio, yield. The highest yield and productivity of water was obtained with t3 (peat moss) and this was also the treatment that presented the best response to the number of leaves, stem diameter, fruit weight, number of fruits, polar and equatorial diameter of fruits, polar diameter / equatorial diameter ratio.

Keywords: *Capsicum annuum*, efficiency, water resource, yield.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector agrícola es el mayor consumidor de agua con el 65 % (Avilés, 2006). Sin embargo, la sobrepoblación mundial requiere de alimentos para la subsistencia, por lo que se estima que se requerirá de producir el doble de alimento en los próximos 30 años, la agricultura tendrá que incrementar de manera notable la eficiencia en el uso del agua. En especial en México, que es un país con baja disponibilidad de agua, no sólo mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, sino también promover su uso de manera sustentable (Salazar *et al.*, 2014).

La productividad del agua según Gonzales *et al.* (2014), es la relación productiva existente entre el rendimiento del cultivo y el agua total aplicada como riego.

Esta es una herramienta que ayuda a tomar mejores decisiones para mejorar el uso de este recurso natural tanto en la administración, distribución y en la utilización de técnicas que permitan eficientizar su aplicación.

En México existen alrededor de 150,000 hectáreas sembradas con más de dos millones de toneladas anuales de chile seco y verde. Esto representa un valor comercial de aproximadamente 13,224 millones de pesos. México se ubica como el principal exportador de chile verde a escala internacional y es el segundo productor mundial (Aguirre y Muñoz, 2015).

El 'Jalapeño' es el chile más popular a nivel nacional e internacional. El 60 % de la producción se utiliza en la industria de encurtidos, 20 % se consume fresco y el resto, en estado

maduro, se procesa por secado y ahumado para obtener el chile que conocemos como chipotle. Los principales estados productores son: Chihuahua, Veracruz y Oaxaca (Aguirre y Muñoz, 2015).

Entre los factores que pueden afectar la producción de este cultivo se encuentra como más importantes el recurso hídrico ya que este es un cultivo de alto requerimiento de agua, también la genética de la planta y factores de manejo del cultivo entre los que se encuentran el manejo de suelo.

Existen trabajos de donde evalúan la producción y la eficiencia del agua en base a la utilización de diferentes acolchados plásticos y la utilización de sustratos, sin embargo, es poca la información referente a chile 'Jalapeño'.

Por lo antes mencionado, se realizó el presente trabajo de investigación para estudiar la productividad del agua en el cultivo de chile 'Jalapeño' bajo invernadero utilizando diferentes sustratos.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

-Evaluar la productividad del agua en el cultivo de chile 'Jalapeño' con cuatro sustratos bajo invernadero.

2.1.1 Objetivos específicos

-Determinar las características físicas y químicas de los diferentes sustratos.

-Evaluar el rendimiento del cultivo de chile 'Jalapeño'.

-Determinar la productividad del agua en chile 'Jalapeño' para cada sustrato.

III. HIPÓTESIS

La productividad del agua en el cultivo de chile 'Jalapeño' se ve afectada en mayor medida por la utilización de peat moss como sustrato en comparación del tezontle rojo, tierra de monte más perlita en relación 1:1 y arena.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Importancia del cultivo en México

México es uno de los mayores productores de chile a nivel mundial y las principales variantes cosechadas son: el Jalapeño, Habanero, Serrano, Poblano y Pimiento Morrón (FND, 2020). En el Cuadro 1 se puede observar que el chile 'Jalapeño' es la principal variedad de chile cosechada.

Cuadro 1. Diversidad de chiles cosechados en México en el 2020.

Variedad	superficie cosechada (ha)
Chile 'Jalapeño'	29,269.41
Chile 'Poblano'	16,787.02
Chile 'Mirasol'	16,514.64
Chile 'Ancho'	15,074.30
Chile 'Serrano'	13,052.23
Chile 'Puya'	11,327.31
Chile 'Guajillo'	10,015.25
Chile 'Morrón' (bell pepper)	7,441.99
Chile 'Chilaca'	5,973.22
Chile 'Colorado'	5,450.00
Chile 'Pasilla'	4,678.25
TOTAL	157,910.27

Fuente: SIAP, 2020

Del volumen total de hortalizas producidas en México, producción de chiles aporta alrededor del 20.2 %. El consumo per cápita es aproximadamente de 18.4 kilogramos al año. Aunado a lo anterior, el comercio internacional de chile alcanzó ventas por mil 407 millones de dólares, y al primer cuatrimestre de este año, se lleva un avance en exportaciones por 690 millones de dólares (FND,2020).

Según SIAP (2020) la superficie cosechada de chiles fue de 157,910 hectáreas (ha) de chiles verdes, de los cuales, 29,269 ha corresponden al chile 'Jalapeño' (18.3 %) con un rendimiento de 31.1 toneladas por hectáreas, la mayoría se realiza a cielo abierto con 29,598 hectáreas. Cerca del 99 % del total de la producción está destinada al consumo Nacional y aproximadamente el 1 % al mercado de exportación lo que representa un total de 425 hectáreas

El Cuadro 2 muestra la superficie en hectáreas que se cosechó por estado en el 2020, siendo los mayores productores de chile 'Jalapeño': Chihuahua con 10,296 ha Sinaloa con 4,487.47 ha y Michoacán con 1993.67 ha (SIAP, 2020).

Cuadro 2. Principales estados productores de chile 'Jalapeño'.

Entidad federativa	Superficie cosechada (ha)
Chihuahua	10,296.00
Sinaloa	4,487.47
Chiapas	2,074.85
Michoacán	1,993.67
Jalisco	1,732.00
Sonora	1,586.07
Campeche	1,367.00
Veracruz	1,207.50
Tamaulipas	722.5
Guanajuato	609.96
Colima	429
Baja California Sur	426.25
otros estados	2337.14
TOTAL	29,269.41

Fuente: SIAP, 2020

4.1.1 Importancia del cultivo en el estado de Puebla

Para el año 2020 Puebla cosechó una superficie de 84.5 hectáreas con un rendimiento de 23.83 t ha⁻¹. Cabe resaltar que toda la producción fue destinada para el mercado nacional y el 100 % se cultiva a cielo abierto (SIAP, 2020).

En el Cuadro 3 se puede observar los municipios productores de chile 'Jalapeño' encabezando la lista Tecamachalco con una producción de 1385.54 t y en segundo lugar San Jerónimo Tecuanipan con 159.52 t.

Cuadro 3. Municipios productores de chile Jalapeño en Puebla.

Municipio	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Producción (t)
Tecamachalco	33	41.98	1,385.34
San Jerónimo	16	9.97	159.52
Tecuanipan			
Huaquechula	8.5	10.65	90.53
Coatzingo	27	14	378
TOTAL	84.5	84.5	2,013.39

Fuente: SIAP, 2020

4.2 Origen y descripción

Capsicum deriva del griego kapsakes o cápsula y el nombre común chili (náhuatl), el aprovechamiento de este cultivo talvez se remonte a las épocas en que los grupos que habitaban el territorio nacional y tenían un modo de subsistencia basado en la caza-recolección, además de que eran nómadas (SADER, 2012).

Gran parte de las especies silvestres de chile se ubican en América del sur en cuyo lugar se estima que se originó este género de plantas (SADER, 2015).

El chile junto con otras especies constituyo la base de la alimentación de las culturas Mesoamericanas. Varios especialistas concluyen que el chile es originario de México. Las evidencias sugieren que el chile fue cultivado desde el año 7000 al 2555 A. C. en las regiones de Tehuacán, Puebla y Tamaulipas (Aguirre y Muñoz, 2015).

Montes-Hernández (2010) describen las características del al género (*Capsicum spp.*) de la siguiente manera:

Planta

Es una planta de comportamiento anual y perenne, tiene tallos erectos, herbáceos y ramificados de color verde oscuro. En promedio esta planta alcanza los 60 cm de altura.

Raíz

Las raíces tienen en promedio una profundidad que va de 0.7 a 1.20 m, y 1.20 m de manera lateral.

Hojas

Las hojas son planas, simples y de forma ovoide alargada.

Flores

Las flores son perfectas (hermafroditas), formándose en las axilas de las ramas, son de color blanco y a veces purpura.

Fruto

El fruto en algunas variedades se hace curvo cuando se acerca a la madurez; para el caso de los pimientos verdes usualmente se cosecha cuando están grandes y firmes en la fase verde inmadura, también se pueden permitir que maduren al color rojo, amarillo, naranja, morado u otros colores.

4.3 Taxonomía

El género *Capsicum* fue descrito por Carlos Linneo (1753) cuando publicó su obra "Species Plantarum" (Heiser y Pickersgill, 1969).

Reino: Vegetal
Tipo: *Fanerógama*
División: *Spermatophita*
Clase: *Dicotyledonea*
Subclase: *Simpetala*
Orden: *Solanales*
Familia: *Solanaceae*
Género: *Capsicum*
Especie: *C. annuum*.

El género (*Capsicum*) lo constituyen 31 especies, claramente *Capsicum annuum* es una de las especies de mayor importancia agrupando gran parte de las variedades cultivadas y silvestres. El fruto se describe como una baya hueca y carnosa que en su interior resguarda las semillas presenta características en cuanto a tamaño de fruto de 1 cm hasta 30 cm de largo. En cuanto a forma esta puede ser redonda o alargada, los colores característicos van desde varios tonos de amarillo y verde en estado inmaduro, a rojo y hasta café al madurar (Aguirre y Muñoz, 2015).

4.4 Manejo agronómico y fitosanitario

4.4.1 Siembra

Después de la germinación las plántulas se colocan de tal manera que el cuello quede ligeramente por encima del nivel del suelo, y después se presiona con fuerza para fijar la planta. Para una densidad de siembra de 20,000 plantas, En ambientes

protegidos, la distancia entre planta y planta debe ser 0.25 m y entre surcos de 1.20 m (Barrantes, 2010).

4.4.2 Riegos

Después de establecer cultivo se deberán aplicar riegos cada 15 a 20 días durante el ciclo del cultivo. Es recomendable realizar riegos por aspersión o riego rodado con una lámina de agua de 10 cm (SARH, 2012).

Los métodos más utilizados para realizar la programación del riego son de dos tipos: los que utilizan la medición y monitoreo de algunas variables relacionadas con el estrés hídrico del cultivo, y los que se basan en el balance de la humedad en el suelo se basan en los procesos de evaporación y transpiración (Sea y Alonzo, 2015).

La frecuencia del riego dependerá del clima de la zona, del tipo de suelo en el terreno, del estado de la planta y del sistema de riego utilizado (Barrantes, 2010).

Según Sea y Alonso (2015) la práctica del riego está basada en considerar el suelo como un reservorio para almacenar agua y que las plantas absorban la humedad necesaria, entonces tenemos que saber la capacidad del suelo para retener agua y definir las cantidades de agua que el suelo puede almacenar según la profundidad.

4.4.3 Fertilización

De acuerdo con Salazar y Juárez (2012) recomiendan una fertilización del cultivo de Chile con las dosis de macronutrientes como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Dosis de macronutrientes para chile 'Jalapeño'.

Macronutriente	Dosis (Kg ha ⁻¹)
Nitrógeno (N)	2.4-4.0
Fosforo (P ₂ O ₅)	0.4-1
Potasio (K ₂ O)	3.4-5.9
Calcio (CaO)	0.5-1.8
Magnesio (MgO)	0.28-0.49

Fuente: Salazar y jugares (2012)

4.4.4 Control de malas hiervas

Esta actividad se lleva a cabo con el objetivo de eliminar las malas hierbas que se encuentren compitiendo por nutrientes con el cultivo, las malas hierbas albergan de plagas y enfermedades. La maleza puede ser eliminada de diferentes formas como la química (con la aplicación de herbicidas selectivos), mecanizada (con maquinaria agrícola) o manual (Martínez y Moreno, 2009).

4.4.5 Control de plagas

Las principales plagas son Áfidos y mosquita blanca por lo que se recomienda la aplicación de Actara, Confidor y Plenun en dosis de 1 L por hectárea, 0.6 L por hectárea y 5 kg por hectárea cada 15 0 30 días a partir de que se observa la incidencia de estas plagas (INIFAP, 2012).

Las plagas y enfermedades son uno de los problemas más grandes para los agricultores, causando pérdidas muy considerables en chiles con la presencia de mosquita blanca y paratrioza (Martínez y Moreno, 2009).

4.4.6 Prevención y control de enfermedades

Para la prevención se recomienda evitar los excesos de humedad y realizar aplicaciones preventivas semanales de captan 75 gramos de ingrediente activo por ha (INIFAP, 2012).

4.4.7 Cosecha

La cosecha se realiza cuando la mayoría de frutos presentan un tamaño de entre 6 a 8 cm, el fruto debe estar firme al tacto y presentar con una coloración característica verde brillante. La cosecha se hace en forma manual (SARH, 2012).

4.5 Importancia del agua en la agricultura de México

México presenta una precipitación media anual de 758 mm lo que representa un volumen de agua de 1,489 km³, pero de este volumen total el 72 % se pierde por causa de la evapotranspiración y evaporación directa de las masas de agua, 350 km³ escurre por los ríos o arroyos, y 150 km³ se considera agua subterránea renovable de los cuales 91 km³ se infiltra al subsuelo de forma natural para recargar los acuíferos, esto se refleja en un total de 409 km³ que se refiere a los recursos hídricos internos renovables anuales (RHIR) (FAO, 2014).

En el país, la mayoría del agua utilizada para uso consuntivo se abastece principalmente de fuentes superficiales

(ríos, arroyos y lagos) con un 60.1 %, mientras que en segundo lugar se utiliza el agua proviene de fuentes subterráneas con el 37.3 % (CONAGUA, 2011).

El sector agrícola es el principal consumidor de agua de uso consuntivo con un volumen de 61.6 km³ lo que representa el 77 % del total de las extracciones (CONAGUA, 2011).

Para el año 2009 se reportó la superficie cosechada de 5,966,875 ha de cultivos con infraestructura para el riego y siendo los más importantes los granos con 54 %, cultivos forrajeros con el 20 %, las hortalizas con 9 %, entre otros que representan el 17 % (CONAGUA, 2011).

De acuerdo con SIAP (2016) en el 2016 la superficie de riego fue del 26 % del total del área sembrada en el territorio Mexicano.

Según la Comisión nacional del agua (2017) la agricultura es uno de los sectores más ineficientes en el uso del agua. Se estima que más de la mitad del líquido empleado en el mundo con fines agrícolas se pierde antes de llegar a los campos de cultivo debido a los escurrimientos y evapotranspiración principalmente. En el caso de México el sector agrícola es el principal consumidor de agua dulce concesionada, muy por arriba de los sectores doméstico e industrial. La eficiencia del agua de este sector se mide en términos de la biomasa producida por unidad de volumen de agua concesionada durante ese año. Al aumentar la eficiencia en el uso del recurso hídrico se puede reducir significativamente la presión que se tiene sobre las fuentes naturales de abastecimiento.

4.6 Requerimiento hídrico

El requerimiento hídrico de un cultivo está representado por el volumen de agua o lamina de riego que se debe retribuir para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo (Allen *et al*, 2006).

Las necesidades de agua de los cultivos están determinadas por la evapotranspiración (ET) que engloba las cantidades de agua consumida por dos procesos distintos la transpiración (que depende del tipo de cultivo y su fase de desarrollo; y la evaporación (producidas desde la superficie del suelo y depende de las condiciones climáticas de la zona (Gómez *et al*,.2010).

La evapotranspiración del cultivo (E_{tr}), es en función de la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{to}) y este cálculo es modificado por un coeficiente de cultivo (K_c) el cual varía según el cultivo y de sus fases fenológicas (Fernández *et al.*, 2012).

En el riego localizado tiene la ventaja sobre el riego por superficie y aspersión, ya que la utilización del suelo como almacén es mucho menor que en los otros sistemas de riego, en riego por goteo el agua que se aporta al cultivo está en función de las necesidades diarias (Gómez *et al.*,2010).

4.6.1 Requerimiento por evapotranspiración

Las necesidades hídricas pueden ser determinadas con la siguiente ecuación mencionada por la FAO (2006):

$$E_{Tr} = K_c \times E_{T0}$$

Donde:

E_{Tr} : Evapotranspiración real o del cultivo (mm).

K_c : Coeficiente de cultivo.

E_{T0} : Evapotranspiración de referencia.

Para este estudio se han utilizado los coeficientes de cultivo (K_c) se puede observar en el Cuadro 5, para la familia de las solanáceas propuestos por FAO (Allen *et al.*, 2006).

Cuadro 5. Valor del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo de la familia de las Solanáceas, K_c de referencia.

Cultivo	K_c inicial	K_c medio	K_c final
Pimiento dulce (familia de las <i>Solanáceas</i>)	0.6	1.15	0.9

Fuente: FAO, 2006

Para el cálculo de E_{T0} (Evapotranspiración de referencia) se tomó en cuenta la siguiente ecuación propuesta por Hargreaves (1985):

$$E_{t0} = 0.023 (T_{med} + 17.78) R_0 (T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

Donde:

E_{t0} = Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

T_{med} = Temperatura media diaria, °C

R_0 = Radiación solar extraterrestre, en mm/día; R_0 se obtiene de tablas de acuerdo con el mes y latitud del lugar (**Anexo 1**).

Tmax = Temperatura diaria máxima

Tmin = Temperatura diaria mínima

4.6.3 Riego localizado

En el riego localizado se aplica el agua cierta zona determinada del suelo y no a la superficie en su totalidad. El agua es circulada a presión dentro de un sistema de tuberías (principales, secundarias y ramales) y por último sale con baja presión por los emisores (Gómez *et al.*, 2010).

Se define al riego por goteo como un sistema que proporciona agua y en ocasiones fertilizantes sobre el suelo para ser aprovechadas por las plantas. Este sistema permite que el agua, que es liberada con una baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo (Gurovich, 1985).

4.7 Productividad del agua

La productividad del agua es una herramienta que sirve para comprobar la eficiencia del uso del agua en los sistemas agrícolas, se utiliza principalmente para la determinación de las oportunidades de redistribución de agua en las cuencas, donde el fin es aumentar la producción agrícola del agua (Ríos *et al.*, 2016).

Este concepto se define como la relación entre el volumen de alimentos producidos con respecto al agua utilizada (ITA, 2015).

Según Fernández y Camacho (2005) desde un punto de vista productivo se relaciona el consumo de agua con el rendimiento en

kg de producto por m³ de agua utilizada, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Ef\ Agua = \frac{Produccion\ (Kg)}{Agua\ utilizada\ (m^3)}$$

La eficiencia en el uso del agua de las plantas está determinada principalmente por dos factores: en primer lugar, se encuentra la especie y variedad y por último de las características que se presentan en el ambiente donde crece y se desarrolla la planta (Medrano *et al.*, 2007).

El agua que requiere un cultivo está determinada por las condiciones climáticas y del estado de desarrollo de este, Esta cantidad de agua se puede estimar por varios métodos, el método del tanque evaporimétrico o por la fórmula de Penman-Monteith, actualmente recomendado por la FAO, y que se ajusta perfectamente al consumo real (ITA, 2015).

A nivel de la planta este término representa un valor meramente experimental ya que en la mayoría de los casos este se obtiene en condiciones controladas cuando las plantas se establecen en contenedores o en sistemas en los que el agua utilizada puede medirse con mayor precisión. Este parámetro es representado con mayor exactitud debido a que ambos componentes: agua consumida y biomasa producida, pueden ser determinadas con mayor precisión (Medrano *et al.*, 2007).

Según Jacob (2003) todas las prácticas culturales y agronómicas que reducen estas pérdidas de agua, por ejemplo: las diferentes distancias de siembra y la aplicación de cobertura al suelo, contribuyen a mejorar la productividad del agua. Al mismo

tiempo el sistema de riego afecta las pérdidas por evaporación debido a que el riego por goteo causa menos humedecimiento del suelo en comparación al riego por aspersión. El significado del mejoramiento del suelo en el fortalecimiento de la productividad del agua es a menudo ignorado, pero las prácticas de manejo integrado de cultivos y recursos, tales como el mejor manejo de los nutrientes, pueden incrementar la productividad del agua elevando proporcionalmente el rendimiento de los cultivos más de lo que aumenta la evapotranspiración.

4.8 Sustratos

El sustrato a utilizar depende principalmente del costo y la disponibilidad de los materiales, entre las características deseables se busca una buena capacidad de drenaje. Los materiales más usados son; la arena, piedras volcánicas, piedra pómez, carbón vegetal y cascarilla de arroz, entre otros. A pesar de lo anterior, últimamente se tiende a utilizar materiales de tipo mineral, por ser inertes y de mayor estabilidad y durabilidad en el tiempo (Soto, 2015).

Arellano *et al.* (2018) encontraron que existen diferencias entre el tipo de sustrato que se utiliza para germinar plántulas de chile 'Jalapeño'.

El estiércol bovino es uno de los sustratos más utilizado para la producción de plantas por características físicas, químicas y biológicas que ayudan a una excelente germinación y crecimiento (Ocampo *et al.*, 2005).

Beltrán (2016) obtuvo los mejores resultados en chile 'Jalapeño' en cuanto a altura de la planta y diámetro de tallo

con el sustrato vermicompost o lombricomposta comparándola con estiércol bovino y arena + perlita bajo condiciones de invernadero.

4.8.1 Arena

El cultivo en arena fue el método hidropónico más comúnmente utilizado en zonas del mundo que tiene abundancia de arena, habiéndose adaptado particularmente a las zonas desérticas como las existentes en el medio oeste (Howard, 2005).

Las ventajas que se tiene al utilizar arena son la disminución de enfermedades Fungosas, mayor uniformidad del riego (debido a una mayor facilidad del agua de moverse verticalmente), se tiene una buena aireación y los costos producción son más bajos en comparación a un sistema que utiliza grava (Howard, 2005).

4.8.2 Perlita

La Perlita es un material de origen volcánico extraído de los ríos de lava. Debido al proceso que tiene para su elaboración este es un material estéril, la perlita absorbe de 3 a 4 veces su peso en agua, es esencialmente neutra teniendo un pH de 6 a 8 y es útil en las mezclas para incrementar la aireación (Howard, 2005).

4.8.3 Tezontle rojo

La roca volcánica o también conocida como tezontle es de los materiales minerales de tipo natural más utilizado en México para la producción de diversos cultivos de hortalizas y flores,

debido la disponibilidad y el bajo costo. Pero se debe considerar el tamaño de partícula y la proporción ya que puede influir en ciertas propiedades físicas (Vargas et al., 2008).

4.8.4 Peat moss

El *peat moss* o turba es uno sustratos orgánicos de los más utilizados en México mayormente en la producción de plántula, este es un material considerado como un recurso no renovable (Hanson, 2003).

Dicho material representa un gran costo en la producción de cultivos en contenedor. En México el *peat moss* es un producto de importación de alto costo (Favaro et al., 2002).

4.8.5 Tierra de monte

La tierra de monte es uno de los sustratos más utilizados en la producción de plantas ornamentales en la parte central de México, por las características físicas, la disponibilidad y su bajo costo (Bastida-Tapia, 2002).

La principal desventaja de este recurso es que su extracción tiene impactos ambientales negativos, principalmente sobre la vegetación y el suelo de los ecosistemas forestales, por tal motivo, es necesario buscar materiales alternativos para la preparación de sustratos (Acosta-Durant et al., 2007).

4.9 Agricultura protegida

En México, La agricultura protegida ha crecido rápidamente y se ha extendido geográficamente. El principal objetivo de la

agricultura protegida es regular condiciones que son difíciles, de controlar en la agricultura de campo abierto (Pratt y Ortega, 2019).

Uno de Los principales factores comerciales que impulsan la agricultura protegida en México es que se obtiene una Mayor eficiencia en el uso de; la tierra, el agua, los fertilizantes, los pesticidas y la mano de obra. Al igual que una mayor y constante productividad (Pratt y Ortega, 2019).

La producción de chile 'Jalapeño' bajo el sistema de agricultura protegida para el año 2019 reporto una superficie de 44.5 hectáreas lo representa un 0.15 % de 29,593.22 del total de la producción nacional para esta hortaliza (SIAP,2018).

De las 44.5 hectáreas de agricultura protegida el tipo de tecnología con la mayor superficie sembrada es la malla sombra con 39 hectáreas, macro túnel con 3 hectáreas e invernadero con 2.5 hectáreas (SIAP, 2018).

4.10 Investigaciones realizadas sobre productividad del agua en chile jalapeño.

Inzunza *et al.* (2007) evaluaron el efecto del riego por goteo y acolchado plástico en la eficiencia del uso de agua y producción de chile 'Jalapeño' encontrando que el acolchado plástico incrementó en 50 % el rendimiento de fruto y en 48 % a la eficiencia de uso del agua comparándolo con el tratamiento sin acolchar.

Ventura (2015) realizó una evaluación económica de la productividad de tres variedades de chile 'Jalapeño' bajo el

sistema de riego por jarrones porosos, Los tratamientos utilizados fueron compostas (bovino, caprino, ovino, bocashi y testigo) y determino que La mayor eficiencia en uso de agua se presentó en el tratamiento de ovino con una aplicación de 730.29 m³.

Mojarro y Moreno (1995) estudiaron el efecto de 4 sustratos (Estopa de Coco, Balastro, Jal, Tezontle) y diferentes proporciones (100 %, 50 % - 50 %, 75 % - 25 %.) en la producción de chile 'Jalapeño' y los resultados que obtuvo fueron que existe una tendencia de los sustratos utilizados a influir en las variables estudiadas. También se observó un incremento de rendimiento conforme se aumenta la proporción del tezontle.

Maraña-Santacruz *et al.* (2018) utilizando fertilización orgánica y dos sistemas de riego en la producción de chile 'Jalapeño' determinaron que el riego por goteo tuvo un efecto positivo en la producción de fruto a pesar de que se aplicó menos cantidad de agua.

Youping y Osuna (2019) evaluaron el crecimiento y respuesta fisiológica de 3 variedades de chile 'Jalapeño' a condiciones de estrés controlada y observaron que a medida que bajaba el contenido volumétrico de agua que se aplicó de 45 % a 15 % también las variables de altura, diámetro del tallo, peso fresco de la fruta, hoja, tallo y el total de peso seco.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del experimento

El experimento se estableció en un invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP, ubicada en la junta auxiliar de San Juan Acateno perteneciente al municipio de Teziutlán, Puebla (Figura 1), con coordenadas $19^{\circ}52' 27''$ N y $97^{\circ}21' 35''$ N.

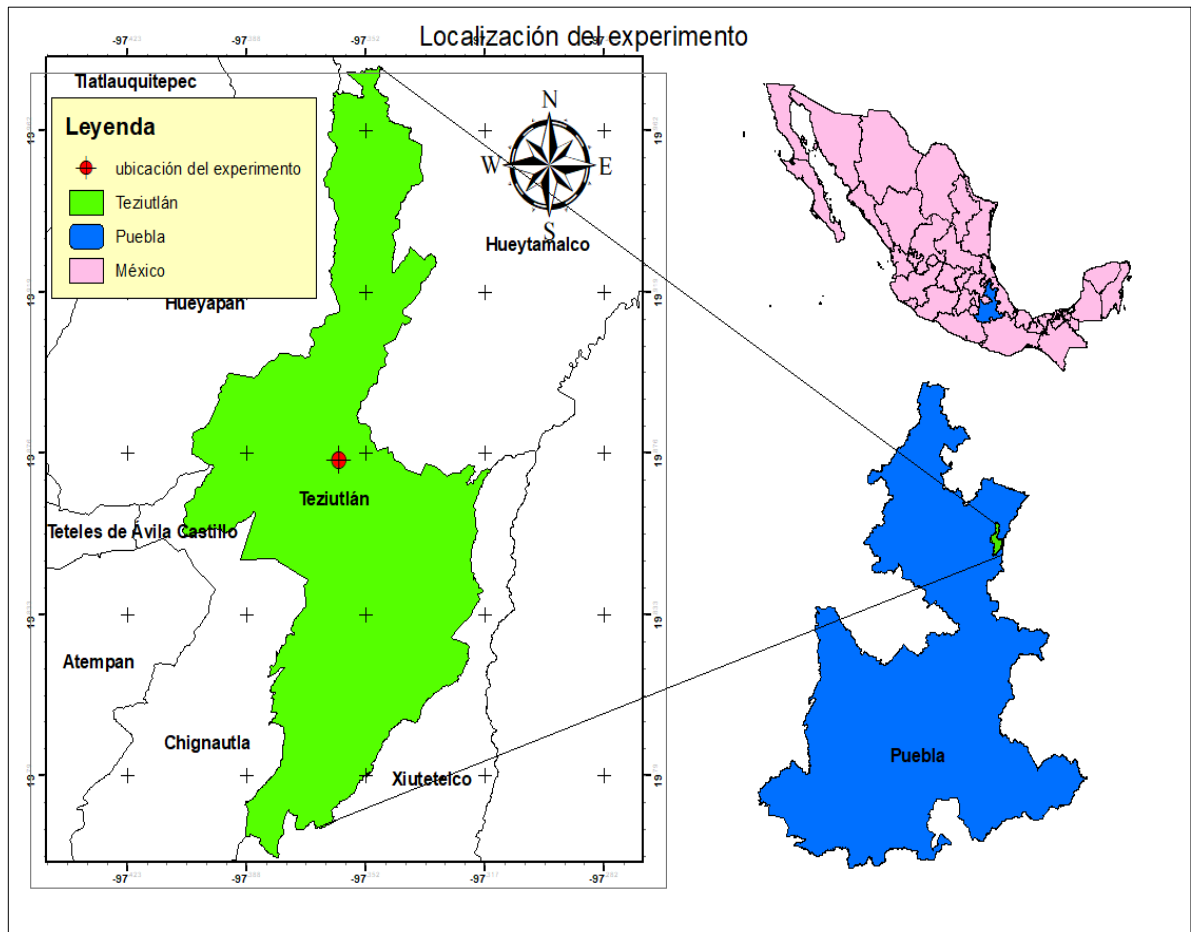


Figura 1. Ubicación de Teziutlán, Puebla.

El clima de Teziutlán es templado con lluvias todo el año, con una precipitación media anual de 1 593 mm, siendo el mes más seco enero (52.1 mm) y el mes más húmedo septiembre (383.4 mm). La temperatura varía de 13.1 °C en enero, a 18.6 °C en mayo la variación de temperatura es mínima durante todo el año y sólo los cambios drásticos se observan en la precipitación (García, 1981).

En la Figura 2, se observa una fotografía satelital de la ubicación del experimento.



Figura 2. Ubicación del experimento.

5.2 Material genético

Se utilizaron plántulas de chile 'Jalapeño' criollo (*Capsicum annum*) con una altura aproximada de 12 cm provenientes de un vivero ubicado en el municipio de Atempan.

5.3 Manejo agronómico

5.3.1 Trasplante

Antes de realizar el trasplante se desinfectaron los sustratos con el fungicida Cymoxanil y Clorotalonil con una dosis de 4 g por litro y en cada contenedor (bolsa de plástico) se aplicó hasta saturar el sustrato.

El trasplante se realizó el 26 de marzo del 2021 cuando la mayoría de las plantas tenían de 3 a 4 hojas verdaderas y 12 cm de altura aproximadamente.

5.3.2 Riegos

Se instaló un sistema de riego localizado por goteo con cintilla de 16 mm utilizando goteros autocompensantes a una distancia de 0.5 m, una vez instalado se realizó un aforo para determinar el gasto de los goteros que fue de 0.12 L min⁻¹ (**Anexo 2**). Los riegos fueron diarios y se realizaron tomando en cuentas las temperaturas máximas y mínimas obtenidas dentro del invernadero, se aplicaron de acuerdo al requerimiento por evapotranspiración del cultivo señalado por la FAO (2006), el requerimiento o lamina de riego aplicada se registró en el (**Anexo 3**).

Las necesidades hídricas del cultivo o lamina de riego se aplicaron en función al gasto de los emisores, el cual fue obtenido por el aforo realizado, ya que de esa forma se estimó el tiempo a regar con el sistema de riego.

5.3.3 Fertilización

La nutrición del cultivo se realizó con una solución nutritiva propuesta por Favela *et al.* (2006) que establece los miliequivalentes por litro de cada nutrimento para realizar la solución (Cuadro 6).

Cuadro 6. Miliequivalentes por L de cada nutrimento para constituir la solución nutritiva propuesta.

Iones	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻
me L ⁻¹	7.08	9.103	4.046	11.88	0.991	6.934

FUENTE: Favela *et al.*, 2006

5.3.3 Control de plagas y enfermedades

El control se llevó de acuerdo a las incidencias de plagas y enfermedades. La incidencia principal de plagas fue de mosquita blanca para lo cual se utilizaron trampas adhesivas de color amarillo y se hicieron la aplicaciones de insecticidas orgánicos (Piretrinas) con una dosis de 5 ml por litro y químico con aplicación de Mancozeb a una dosis de 2 ml por litro y Imidacloprid a una dosis de 3 ml por litro a intervalos de 20 días.

Para el control de hongos se aplicó de manera preventiva un fungicida orgánico Oxicloruro de cobre con una dosis de 2 g por litro y de Cymoxanil y Clorotalonil a intervalos de 20 días.

5.3.4 Podas

Las podas se realizaron para eliminar los chupones y hojas viejas hasta la primera bifurcación esto para que el fruto tuviera un mayor tamaño.

Se realizaron 3 podas durante el ciclo del cultivo a los 30, 45 y 53 días después del trasplante (Cuadro 7).

Cuadro 7. Podas realizadas en el cultivo de chile 'Jalapeño'.

Podas realizadas	Días después de trasplante (DDT)
1	30
2	45
3	53

Fuente: Elaboración propia

5.3.5 Cosecha

Se realizaron 3 cortes, el primer corte se llevó a cabo el 25 de junio del 2021 y se cosecharon cuando los frutos presentaban una coloración verde brillante, un buen tamaño, y antes de que este se tornara a un color rojizo.

5.4 Tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar con 4 tratamientos y 6 repeticiones, la unidad experimental

fue una planta y se utilizaron 24 unidades experimentales distribuidas dentro del invernadero.

Se establecieron 24 plantas de chile 'Jalapeño' con una altura aproximada de 12 cm, se trasplantaron en macetas de polietileno negro de 40 x 45 cm, los tratamientos fueron: tratamiento 1 tierra y perlita en relación 1:1, tratamiento 2 tezontle rojo, tratamiento 3 peat moss y tratamiento 4 arena. El diseño de tratamientos se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Diseño de tratamientos.

Tratamientos	Descripción
1	Tierra y perlita 1:1
2	Tezontle rojo
3	Peat moss
4	Arena

Fuente: Elaboración propia

La distribución de los tratamientos y sus repeticiones se puede ver en la Figura 3.

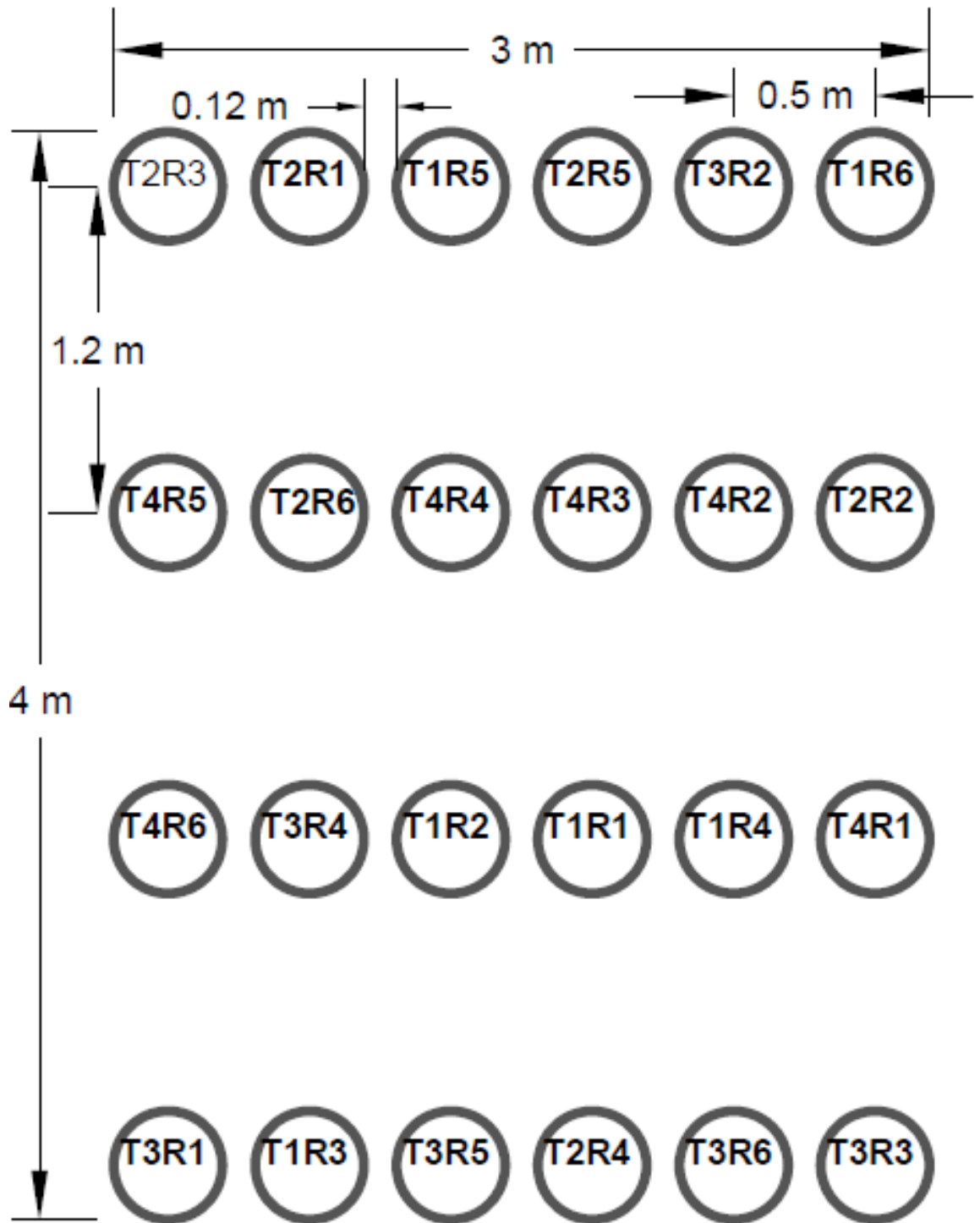


Figura 3. Distribución de los tratamientos dentro del invernadero.

5.5 Variables evaluadas

5.5.1 Características físicas y químicas de los sustratos

5.5.1.1 CE y pH

La conductividad eléctrica y el pH de los sustratos se determinó según la NOM-021-RECNAT-2000, utilizando el método de dilución 1:2 y con ayuda de un medidor de pH y conductividad para mesa modelo PC45 de la marca Conductronic. La metodología se describe en el **Anexo 4**.

5.5.1.2 Características físicas

Para hacer las determinaciones de las propiedades físicas de los sustratos se utilizó la metodología propuesta por Pier y Pereira (2003) que utiliza un porómetro diseñado por la universidad de florida (**Anexo 5**). Se calcularon las siguientes características físicas como: Densidad real (%), densidad aparente (%), porosidad de aireación (%), porosidad total (%) y capacidad de retención de agua (%).

5.5.1 Altura de la planta

Se comenzaron a medir 15 días después del trasplante y después cada 8 días, con cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice de la planta. Durante la fase de desarrollo vegetativo hasta cosecha.

5.5.2 Número de hojas

De manera manual se contabilizó el número de hojas por tratamiento, 2 semanas después de haber trasplantado y cada 8

días hasta que se cosecharon los primeros frutos en el mes de junio.

5.5.3 Diámetro del tallo

Se midió con un vernier digital marca Truper a una altura aproximada de 5 cm desde la base del tallo y se registró en milímetros (mm). Para esta variable se utilizaron 30 frutos por repetición.

5.5.4 Diámetro polar del fruto

Se midió con un vernier digital Truper y se consideró desde la parte basal hasta la parte apical. Por cada repetición se tomaron 30 frutos al azar y se midieron las variables.

5.5.5 Diámetro ecuatorial del fruto

Se consideró la parte media del fruto entre la parte basal y la parte apical. Se midió con un vernier digital Truper. Se tomaron al azar 30 frutos por repetición.

5.5.6 Relación diámetro polar diámetro ecuatorial del fruto

Se determinó del cociente entre el diámetro polar y el diámetro ecuatorial del fruto.

5.5.6 Peso de fruto

Se obtuvo de pesar los frutos de las tres primeras cosechas, se pesaron los frutos por repetición con una balanza digital Scout pro de ONAUS.

5.5.7 Numero de frutos

Se obtuvo de sumar el número de frutos cosechados por unidad experimental en los primeros 3 cortes de cada unidad.

5.5.8 Peso promedio de frutos

Se seleccionaron 30 frutos y se pesaron con una balanza digital Scout pro de ONAUS, de cada repetición, se determinó el peso promedio por unidad experimental.

5.5.7 Porcentaje de materia seca (% MS)

Una vez que se realizó la cosecha se procedió a obtener el peso fresco y el peso seco de cada tratamiento. Se obtuvo el porcentaje de materia seca (MS) de hojas, tallo y raíz. La materia seca se determinó con la fórmula siguiente (Díaz-Inocencio, 2017):

$$\begin{aligned} \text{gr} \cdot \text{m} &= (T+MF) - T \\ \% H &= \frac{(T+MF) - (T+MD)}{T+MF} \cdot 100 \\ \% MS &= 100 - \% H \end{aligned}$$

Donde:

T = Tara

MF = Materia Fresca

MD = Materia Desecada

gr · m = Gramos de muestra

% H = Porcentaje de Humedad

% MS = Porcentaje de Materia Seca

5.6 Análisis estadístico

El diseño experimental fue un completamente al azar con 4 tratamientos y 6 repeticiones, utilizando una planta de chile jalapeño como unidad experimental. Se utilizó el programa computacional SAS para realizar un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Propiedades físicas y químicas de los sustratos

En el Cuadro 9 se observan las características químicas de los sustratos. Los valores de pH se mantuvieron entre 4.2 y 5.75 en los tratamientos 3 y 2 respectivamente. El tratamiento 3 fue el que presento una mayor conductividad eléctrica con 1.136 dS m⁻¹ y el menor fue el tratamiento 4 con 0.204 dS m⁻¹. De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, estos valores de ph se consideran moderadamente ácidos para el tratamiento 2 y 4, muy ácidos para los tratamientos 1 y 3. Así mismo el valor de conductividad eléctrica (CE) en la mayoría de los tratamientos, no tiene efectos negativos de salinidad ya que se son menores a 1 dS m⁻¹, salvo por el tratamiento 3, que se considera muy ligeramente salino.

Cuadro 9. Características químicas de los sustratos.

Tratamiento	pH	CE (dS m ⁻¹)
1	4.4	.339
2	5.75	.148
3	4.23	1.136
4	5.67	.204

Donde: el tratamiento 1 es tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena. CE conductividad eléctrica; pH Potencial de hidrogeno.

La mayor porosidad total (PT%) se alcanzó con el tratamiento 3 con 85.3 %, seguido del tratamiento 1 con 70.5 %, los tratamientos 2 y 4 presentaron valores similares con 41.2 y 41.6 respectivamente. El tratamiento 2 presento el mayor porcentaje de porosidad del aire con 13.2 % y el tratamiento 4 fue el menor

con 1.1%. La capacidad de retención de agua oscilo de 81.6 % en el tratamiento 3 a 27.9 % en el tratamiento 2 (Cuadro 10).

La densidad aparente fue mayor en el tratamiento 4 con 1.2 g cm⁻³ y el menor valor de DA lo presento el tratamiento 3 con 0.1 g cm⁻³ (Cuadro 10). Pastor (1999) menciona que un sustrato ideal debe tener una porosidad total mayor a 85 % y la aireación en un rango de 10 a 30 %.

Cuadro 10. Características físicas de los sustratos.

Tratamiento	PT (%)	PDA (%)	CRA (%)	DA (g cm ⁻³)	DP (g cm ⁻³)
1	70.5	6.3	64.2	0.3	0.5
2	41.2	13.2	27.9	1.1	5.6
3	85.3	3.6	81.6	0.1	0.2
4	41.6	1.1	40.4	1.2	1.3

Donde: el tratamiento 1 es tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena. PT porosidad total; PDA porosidad de aireación; CRA capacidad de retención de agua; DA densidad aparente; DP densidad de partículas.

6.2 Porcentaje de materia seca de hoja, tallo, raíz y total

El contenido de materia seca (Cuadro 11) en las plantas de chile jalapeño dependió del tratamiento y la parte evaluada de la planta. La materia seca del tallo (MSTA) osciló de 31.43 % en el tratamiento 2 (tezontle rojo) a 36.28 % en el tratamiento 4 (arena) sin diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). El porcentaje de materia seca de hoja (Cuadro 11) fue de 15.58 en el tratamiento

1 (tierra de monte y perlita 1:1) a 19.89 en el tratamiento 4 (arena) sin diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). Estos Resultados son similares a los obtenidos por Sánchez (2014), en variedades de chile mirasol (*Capsicum annum L.*), ya que en dicho trabajo el porcentaje de materia seca de tallo oscilo de 32 a 34 % y de 26 a 37 % para hojas; con respecto al porcentaje de materia seca de raíz fue superior con 63 %.

El porcentaje de materia seca de raíz fue menor en el tratamiento 2 (tezontle rojo) con 21.95 y mayor con 28.21 en el tratamiento 1 (tierra de monte y perlita 1:1) sin diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 11). El porcentaje de materia seca de raíz pudo estar influenciado por el tamaño de los poros en el sustrato arena como sugieren Pire y Pereira (2018) al evaluar el tamaño de los poros del suelo y crecimiento de raíz y vástago del chile 'Jalapeño' (*Capsicum annum L.*) encontraron que las raíces no penetran diámetros inferiores a 0.42 mm y para poder hacerlo las raíces disminuyen grosor.

La materia seca total máxima fue de 27.03 % en el tratamiento 3 y no presentó diferencias estadísticas con los demás tratamientos ($P \leq 0.05$) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Porcentaje de materia seca de tallo (MSTA), materia seca de hoja (MSH), Materia seca de raíz (MSR) y materia seca total (MSTO) en chile 'Jalapeño'.

Tratamiento	MSTA (%)	MSH (%)	MSR (%)	MSTO (%)
1	36.27a	15.58a	28.21a	26.48a
2	31.43a	19.89a	21.95a	23.68a
3	36.12a	16.15a	26.62a	27.03a
4	36.28a	17.32a	23.63a	24.99a
C.V	13.18	21.97	37.38	14.33
DMSH	7.69	6.12	15.16	5.91

Donde: 1, tierra de monte y perlita relación 1:1; 2, tezontle rojo; 3, peat moss; 4, arena. Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; C.V; coeficiente de variación.

6.3 Altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas

En la última fecha de evaluación el tratamiento 3 (peat moss) mostró la máxima altura de planta con 81.83 cm y menor el tratamiento 2 (tezontle rojo) 43.66 cm con diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 12). El diámetro de tallo fue de 9.52 mm en el tratamiento 2 (tezontle rojo) a 15.53 mm en el tratamiento 3 (peat moss) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 12). El mayor número de hojas (Cuadro 12) fue de 162.33 en el tratamiento 3 (peat moss) a 55.33 en el tratamiento 2 (tezontle rojo) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). Estos

resultados concuerdan con los obtenidos por Sardy *et al.* (2016) que al evaluar diferentes sustratos y soluciones nutritivas determinaron que la mezcla utilizando peat moss como sustrato demostró ser el mejor tratamiento al evaluar la producción de chile pimiento.

Por otra parte, la menor altura de planta y menor diámetro de tallo se registró en el tratamiento tezontle rojo lo que difiere con Lazcano *et al.* (2021) ya que, al evaluar diferentes sustratos, soluciones nutritivas y enraizador en plántulas de jitomate los mejores resultados se registraron en tezontle y peat moss, por lo que se esperaba que el tratamiento tezontle rojo y el tratamiento peat moss, en cuanto a las variables DT y AP, sean similares.

Cuadro 12. Altura de planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de hojas (NH) en chile 'Jalapeño' (28/07/2021).

Tratamiento	AP (cm)	DT (mm)	NH
1	78.66a	12.58ab	120.00ab
2	43.66b	9.52b	55.33c
3	81.83a	15.53a	162.33a
4	66.50a	11.72ab	85.33bc
C.V	18.23	19.7	35.88
DMSH	19.93	3.93	61.31

Donde: 1 es tierra de monte y perlita relación 1:1; 2, tezontle rojo; 3, peat moss; 4, arena. Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; C.V; coeficiente de variación.

En este trabajo, la altura de planta promedio fue de 21.3 % mayor en el tratamiento 3 (peat moss) que en los demás tratamientos (Figura 4), esto posiblemente atribuido a una mejor capacidad de retención de agua que presentó el sustrato.

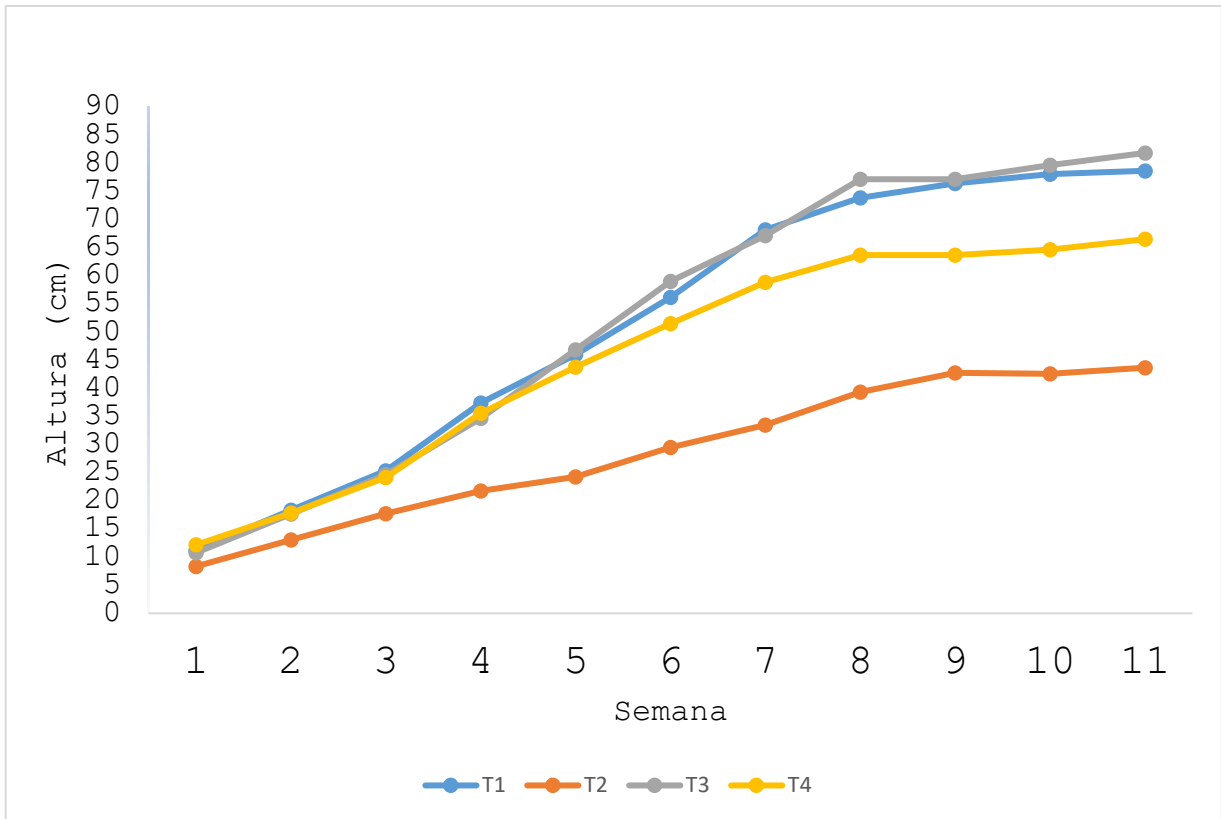


Figura 4. Altura de planta de chile 'Jalapeño' en las diferentes fechas de toma de datos. Donde: 1 tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena.

El diámetro de tallo de chile 'Jalapeño', al igual que la altura de planta, en el tratamiento 3 (peat moss) fue superior a los demás tratamientos siendo en promedio un 25 % mayor (Figura 5).

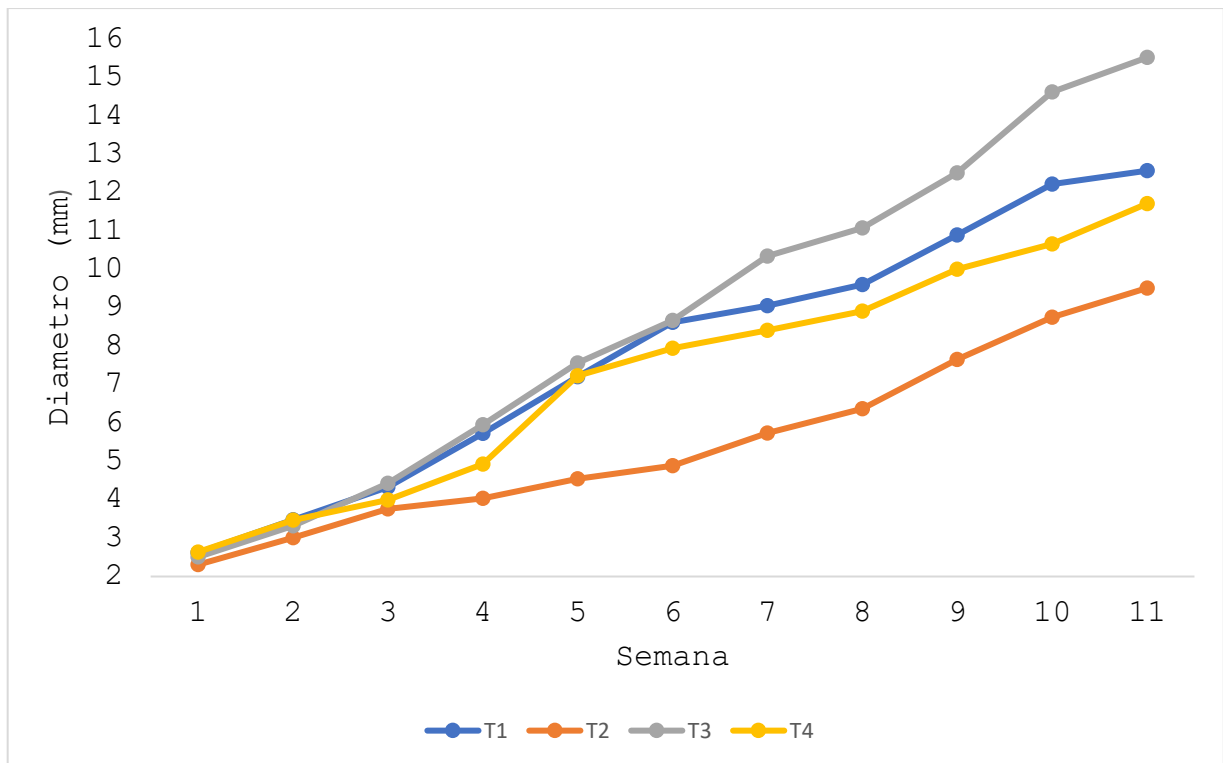


Figura 5. Diámetro de tallo de chile 'Jalapeño' en las diferentes fechas de toma de datos. Donde: 1 tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena.

En cuanto al número de hojas con los datos obtenidos en este trabajo, el tratamiento 3 (peat moss) en promedio fue superior en un 49.7% a los demás tratamientos (Figura 6).

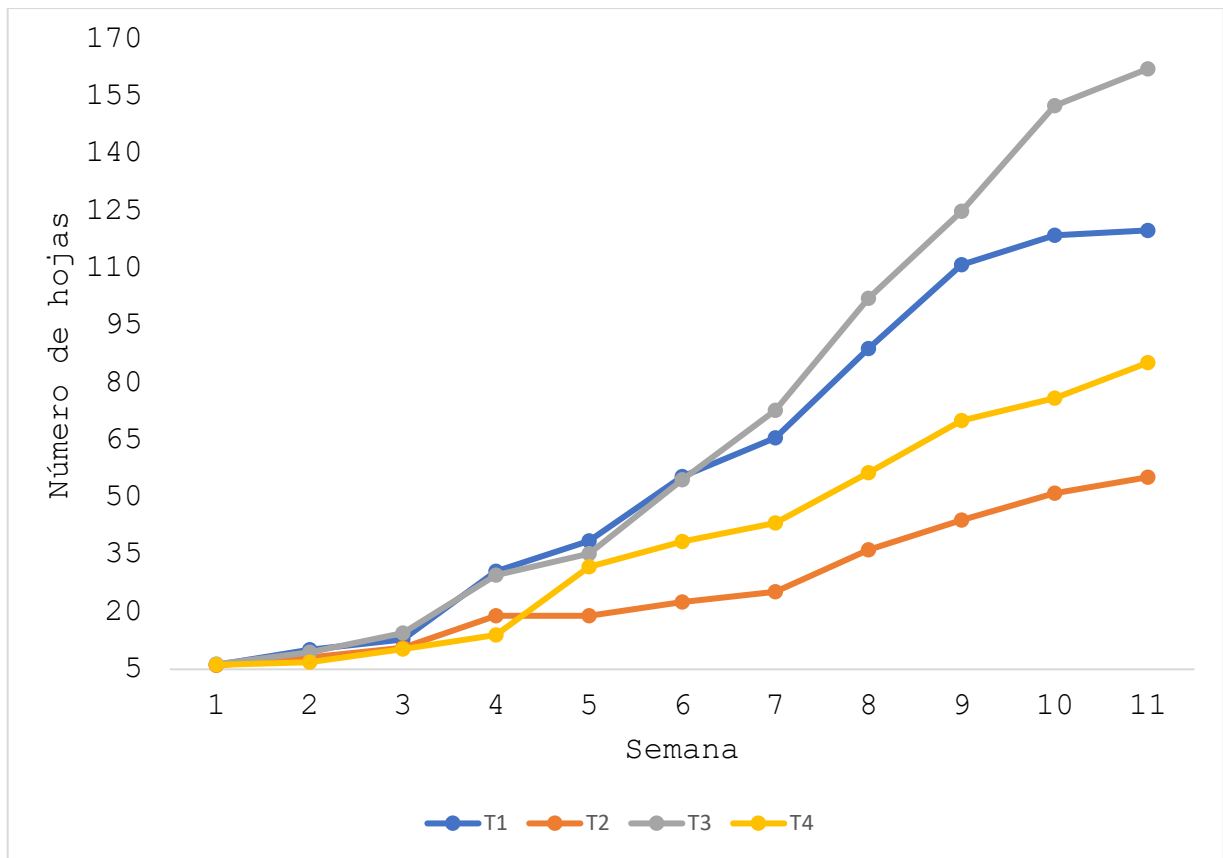


Figura 6. Número de hojas de chile 'Jalapeño' en las diferentes fechas de toma de datos. Donde: 1 tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena.

6.4 Rendimiento y sus componentes

El rendimiento estuvo directamente influenciado por el peso promedio de frutos y número de frutos por planta. El mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento 3 (peat moss) con 770 g y el menor lo presentó el tratamiento 2 (tezontle rojo) con 226 g con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). Este rango en cuanto a rendimiento es similar a lo reportado por Mendoza (2004), al evaluar 6 sustratos en chile habanero (*Capsicum chinense*) bajo condiciones de invernadero, señala que la producción osciló de 165 a 843 g planta⁻¹, cabe resaltar que en dicho trabajo la

utilización de tierra de monte y tierra normal mostro los mejores resultados.

El número de frutos (Cuadro 13) osciló de 25.17 en el tratamiento 2 (tezontle rojo) a 64.17 en el tratamiento 3 (peat moss) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). El mayor peso promedio de fruto (Cuadro 13) fue de 12.24 g en el tratamiento 3 (peat moss) y sólo superó estadísticamente ($P \leq 0.05$) al tratamiento 1 (tierra más perlita 1:1), 3 (tezontle rojo) y 4 (arena). El peso promedio de fruto se encuentra por debajo de los valores reportados por Gaspar (2019) de 15.3 g, esto pudo deberse a las condiciones climáticas y/o al manejo del cultivo.

El mayor diámetro polar de fruto fue de 44.41 mm en el tratamiento 3 (peat moss) y menor de 32.48 en el tratamiento 4 (arena) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 13). El diámetro ecuatorial de fruto (Cuadro 13) osciló de 20.52 mm en el tratamiento 2 (tezontle rojo) a 21.92 mm en el tratamiento 3 (peat moss) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). La relación diámetro polar /diámetro ecuatorial fue de 1.55 en el tratamiento 4 (arena) a 2.05 en el tratamiento 3 (peat moss) con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 13), los datos obtenidos están por debajo de los valores de longitud de fruto de (63.7 mm) y ancho de fruto (30.0 mm), reportados por Morón y Alayon (2014), esto pudo deberse al material genético utilizado en dicho trabajo.

Cuadro 13. Peso de frutos por planta (PFP), Número de frutos (NF), peso promedio de frutos (PPF), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), relación diámetro polar diámetro ecuatorial (DP/DE) de chile 'Jalapeño'.

Tratamiento	PFP (g)	NF	PPF (g)	DP (mm)	DE (mm)	DP/DE
1	625.2ab	56.83a	11.14b	43.20a	21.71a	2.04a
2	226.5c	25.17b	8.59c	36.46b	20.52b	1.81b
3	770.0a	64.17b	12.24a	44.41a	21.92a	2.05a
4	391.5bc	43.50ab	8.69b	32.48c	21.50a	1.55c
C.V	42.58	40.19	40.05	23.82	16.56	27.88
DMSH	346	30.8	1.1	2.53	0.96	0.14

Donde: 1 tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena. Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; C.V; coeficiente de variación.

6.5 Productividad del agua

La productividad del agua mostró diferencias significativas en los tratamientos ($P \leq 0.05$), sobresaliendo el tratamiento 3 (peat moss) como el mejor con 5.53 kg m^{-3} en segundo lugar el tratamiento 1 (tierra de monte y perlita en relación 1:1) con 4.49 kg m^{-3} , en tercer lugar el tratamiento 4 (arena) con 2.81 kg m^{-3} .

m⁻³, presentando el tratamiento 2 (tezontle rojo) la menor productividad del agua con 1.62 kg m⁻³ (Cuadro 14). La productividad está dentro de los rangos de referencia de 3.1 - 8.2 kg m⁻³ que mencionan Gonzales et al. (2011) como indicadores de productividad del agua a partir de la información disponible en estudios realizados sobre las necesidades hídricas en Cuba.

De igual manera es similar con los datos reportados por Quintal et al. (2012) quienes evaluaron 5 niveles de humedad aprovechable en *Capcicum chinense* bajo invernadero, en dicho experimento se utilizó como sustrato compuesto de bagazo viejo de henequén (30 %), tierra negra (40 %) y gallinaza (30 %).

La mayor productividad del agua en chile jalapeño utilizando como sustrato peat moss se atribuye a que presenta una mayor capacidad de retención de agua que los demás tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 14. Productividad del agua (PA) de chile 'Jalapeño'.

Tratamiento	PA (kg m ⁻³)
1	4.49ab
2	1.62c
3	5.53a
4	2.81bc
C.V	42.6
DMSH	2.49

Donde: 1 tierra de monte y perlita relación 1:1; 2 tezontle rojo; 3 peat moss; 4 arena. Medidas con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey (P≤0.05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; C.V; coeficiente de variación.

VII. CONCLUSIONES

El mayor rendimiento de chile Jalapeño se logró con el sustrato peat moss como resultado este sustrato fue el mejor para obtener una mayor productividad del agua en chile jalapeño en condiciones de invernadero.

En general el sustrato peat moss fue el que presento mejores resultados en la mayoría de las variables evaluadas y solo fue igualada por la mezcla de tierra de monte y perlita en relación 1:1 para el caso de altura de planta.

Una elevada capacidad de retención de agua y porosidad total como característica física de los sustratos ayuda a mejorar la producción en chile Jalapeño bajo invernadero.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta D. C.M., D. Acosta P., L.M. Nava G., M. Andrade R., I. Alia T. y O.G. Villegas T. 2007. Efecto del tipo de sustrato en el crecimiento inicial de plantas ornamentales en contenedor. *Investigación Agropecuaria* 1(4):1-8.
- Aguirre E. y Muñoz V. 2015. (2015). El chile como alimento. *Ciencia* 66(3): 16-23.
- Allen R., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, estudios FAO Riego y Drenaje, Vol. 56, FAO, Roma, 2006. 323p.
- Arellano R. L. J., J. C. García L., E. Rodríguez G. y J. M. Padilla G. 2018. Evaluación de cuatro sustratos sobre la producción de plántula de chile jalapeño (*Capsicum annum*). *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias* 5(16): 18-21.
- Avilés H. 2006. El valor del agua en la agricultura LA GRANJA. *Revista de Ciencias de la Vida* 1(5):28-31.
- Bastida-Tapia A. 2002. Sustratos hidropónicos. Materiales para cultivo sin suelo. Serie de publicaciones AGRIBOT. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 27p.
- Beltrán M. F. A., J. L. García H., F. H. Ruiz E., R. D. Valdez C., P. Preciado R., M. Fortis H. y A. González Z. 2016. Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 3(7): 143-149.
- Cea M. y S. Alonso. 2015. Sistema de Ayuda a la Decisión para la Programación del Riego Basado en Aspectos Agronómicos. INCLAM S.A. Madrid.10p.
- CONAGUA (Comisión nacional del agua). 2017. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego Año agrícola 2010-2017. [ENLINEA]. Disponible en:

- http://sina.conagua.gob.mx/sina/index_jquerymobile2.html?tema=distritosriego (revisado el 06 de octubre del 2021).
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2011. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2009-2010.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2011a. Estadísticas del agua en México, edición 2011. 181p.
- Díaz I. D. L. 2017. Manual del laboratorio de bromatología. Universidad Veracruzana. Facultad de ciencias agropecuarias. [en línea]. Disponible en: <https://www.uv.mx/pozarica/cba/files/2017/09/MANUAL-DE-BROMATOLOGIA-2017.pdf> (revisado el 20 de octubre del 2021).
- Favaro J.C., A. Buyatti M. y R. Acosta M. 2002. Evaluación de sustratos a base de serrín de Salicáceas (*Salix sp.*) compostados para la producción de plántones. Investigación Agrícola 1(17): 367-373.
- Favela C.E., P. Preciado R. y A. Benavides M. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 146p.
- FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma. 322 pp.
- FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2014. AQUASTAT Perfil de País - México. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia.
- Fernández D., M. Martínez, C. Tavarez, R. Castillo y R. Salas. 2012) Estimación de las demandas de consumo de agua. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 33p.

- FND (Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero). 2020. El chile, riqueza de la gastronomía mexicana. [EN LINEA]. Disponible en: <https://www.gob.mx/fnd/articulos/el-chile-riqueza-de-la-gastronomia-mexicana> (Revisado el primero de septiembre de 2020).
- Fintrac CDA (Centro de Análisis de Operaciones e Informes Financieros del Canadá Centro de Desarrollo de Agronegocios). 2002. Manual de producción de chile jalapeño. Honduras. 26p.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. UNAM. México. 217p.
- Gaspar M. F. T. 2019. Etnobotánica y caracterización morfológica del chile jalapeño criollo (*Capsicum annuum var. annuum L.*) en la región centro de Veracruz. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana Centro de Investigaciones Tropicales. Xalapa Veracruz. 179p.
- González R. F., J. Herrera P., T. López S. y G. Cid L. 2014. Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 23(4): 21-27.
- Gomes F. G., R. Ávila A., M. López R., P. Gavilán Z. y N. A. Oyonarte G. 2010. Manuel de riego para agricultores.modulo1. fundamentos del riego. Consejería de agricultura y pesca. Signatura ediciones de Andalucía, SL. 104p.
- Gurovich L. A. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. Costa Rica. IICA. 433p.
- Hargreaves G.H. 1983. Discussion of 'Application of Penman wind function' by Cuenca, R.H. y Nicholson, M.J. J. Irrig. and Drain. Engrg ASCE 109(2):277-278.
- Hanson J. B. 2003. Counting on coir. Greenhouse Product News 1(13): 48-54.

- Heiser C. B. y B. Pickersgill. 1969. Names for the cultivated *Capsicum* species (Solanaceae). *Taxon* 1(18): 277-283.
- Howard M. 2005. Cultivos hidropónicos nuevas técnicas de producción. Carlos. 5.a ed. Mundi-Prensa. España. 558p.
- Jacob W. K. 2003. Descubrir el potencial del agua para la agricultura. FAO. 70p.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). 2012. Principales Plagas del Chile Jalapeño y Sugerencias para su Control en el Sur de Tamaulipas. Ciclo primavera-verano. CEHUAS: 6-12.
- Inzunza I. M. A., S. F. Mendoza M., E. A. Catalán V., M. M. Villa C., I, Sánchez C. y A. Román L. 2007. Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(4): 429 - 436.
- ITA (Instituto Tecnológico y Agrario). 2015. Plan de monitorización de los cultivos de regadío en castilla y león. España. 163p.
- Lazcano B. M. I., E. Sandoval C., M. A. Tornero C., B.N. Hernández H., I. Ocampo F. y R. Díaz R. 2021. Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola* 12(1):61-76.
- Maraña S. J. Á., E. Castellanos P., C. Vázquez V., J.J. Martínez R., H.I. Trejo E. y M. Á. Gallegos R. 2018. Solarized manure and two irrigation methods on fruit yield of jalapeno chili (*Capsicum annuum* L. var. *annuum*). *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias* 50(2):105-117.
- Mendoza G. A. 2004. Evaluación de 6 sustratos diferentes en el cultivar de chile habanero (*Capsicum chinense*) var. Uxmal, bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 99p.

- Medrano H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas C. y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 1(43): 63-84.
- Mojarro V. C. y C.J. Moreno D. 1995. Chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en cultivo hidropónico y diferentes sustratos autoctonos, bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara. Las agujas, Zapopan, Jalisco. México. 64p.
- Morón R. A., y J. A. Alayon G. 2014. Productividad del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con manejo orgánico o convencional en Calakmul, Campeche, México. *Avances en Investigación Agropecuaria* 18(3): 35-40.
- Montes-Hernández, S., P. López- López, S. Hernández-Verduzco y M. Ramírez-Meraz. 2010. Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Capsicum* que crecen y se cultivan en México (informe final). CONABIO. México D.F.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Nación. [EN LINEA]. Disponible en : https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002 . (Revisado el 10 de noviembre del 2021).
- Ocampo M. J., R. Caballero M. y M.A. Tornero C. 2005. Los sustratos en cultivos hortícolas y ornamentales. *Agricultura, Ganadería, Ambiente y Desarrollo Sustentable*. 55-73pp.
- Pastor S. J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana* 17(3): 231-235.

- Pire R. y A. Pereira. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. propuesta metodológica. *Bioagro* 15(1):55-64.
- Pire R., y A. Pereira. 2018. Tamaño de los poros del suelo y crecimiento de raíz y vástago del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Agro-Ciencia* 52(5):685-693.
- Pratt L. y J.M. Ortega. 2019. Agricultura protegida en México: elaboración de la metodología para el primer bono de verde agrícola certificado. Banco Interamericano de Desarrollo. 73p.
- Salazar M. R., A. ROJANO A. y I.L. LÓPEZ C. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua* 5(2):177-183.
- SADER (Secretaría de agricultura y desarrollo rural).2015. Breve pero picante historia del chile. Gobierno de México. [en línea]. Recuperado de:
<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/breve-pero-picante-historia-del-chile> (Revisado el 22 de noviembre del 2021).
- Sánchez M.A. 2014. Distribución de materia seca de planta de diferentes poblaciones avanzadas de chile (*Capsicum annuum* L.) tipo mirasol en la región lagunera. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 39p.
- Salazar F. y P. Juárez. 2012. Requerimiento macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). *Revista Bio Ciencias* 2(2): 27-34.
- Sarduy D. M., I. Aguilar D., L. Castellanos G., R. Soto O. y Y. Pérez R. 2016. Sustratos y soluciones nutritivas para la obtención de plántulas de pimiento y su influencia en la

- producción en cultivos protegidos. Revista Centro Agrícola 43(4):42-48.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Base de datos producción agrícola. [EN LINEA]. Disponible en : <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (revisado el 10 de noviembre del 2021).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. En la agricultura, los sistemas de riego son utilizados para un aprovechamiento óptimo del agua. [EN LINEA]. Disponible en : <https://www.gob.mx/siap/articulos/en-la-agricultura-los-sistemas-de-riego-son-utilizados-para-un-aprovechamiento-optimo-del-agua?idiom=es> (revisado el 10 de noviembre del 2021).
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria). Producción Agrícola 2019. [en línea]. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (revisado el 22 de febrero de 2021).
- Ríos F. J. L., M. Torres M., J. Ruiz T. y M. A. Torres M. (2016). Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México. Acta Universitaria 26(1):20-29.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 2012. Guía para la asistencia técnica agrícola: Área de influencia del Campo Experimental Pabellón. 2da edición. Pabellón, Ags., Méx.149p.
- Soto V. F. 2015. Hidroponía familiar en sustrato: hágalo fácil sembrando hortalizas, cosechando salud. Manual práctico / San José.60p.
- Vargas T. P., J.Z. Castellanos R., J.J. Muñoz R., P. Sánchez G., L. Tijerina C., R.M. López R. 2008. Efecto del tamaño de partículas sobre algunas propiedades físicas del tezontle

de Guanajuato. Agricultura Técnica en México. 1(34): 323-331.

Ventura H. M. B. 2015. Análisis económico en la producción de chile jalapeño orgánico (*Capsicum annum* L.), bajo el sistema de riego por jarrones porosos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 62p.

Youping S., N. Genhua, y P. Osuna A. 2019. Effects of substrate moisture content on growth and physiological response of chili pepper (*Capsicum annum* L.). *Agrociencias* 53(1):59-72.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Radiación solar extraterrestre

Cuadro 15. Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998)

(Original en MJ·m⁻²·dia⁻¹ ; 1 mm/dia = 2,45 MJ·m⁻²·dia⁻¹).

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	15.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6

22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Anexo 2. Aforo realizado en el sistema de riego

El Cuadro 16 muestra los volúmenes de agua en ml obtenidas en cada aforo realizado y el aforo promedio, dicho aforo se realizó en un lapso de tiempo de 30 segundos, después de realizar los cálculos necesarios se convirtieron los valores a Litros por minuto teniendo como resultado un aforo promedio de 0.12 L min⁻¹.

Cuadro 16. Volumen del aforo y repeticiones.

Repetición	Aforo (ml)
1	57
2	73
3	71
4	68
5	60
6	60
Promedio	64.83

**Anexo 3. Lamina de riego diaria aplicada al cultivo de chile
'Jalapeño'**

**Cuadro 17. Días después del trasplante (DDT) y lamina de
riego aplicada.**

DDT	Lamina de riego
1	4.1
2	6.4
3	6.4
4	4.1
5	3.2
6	0.8
7	3
8	4.5
9	5.2
10	5.8
11	6.3
12	6.8
13	6
14	5.1
15	5.6
16	6.6
17	6.1
18	6.1
19	2.1
20	1.7
21	6
22	4.8
23	3.7
24	6

25	6.5
26	5.8
27	9.2
28	8.6
29	10.2
30	5.9
31	9.4
32	10.2
33	10.1
34	8.5
35	5.9
36	8.4
37	7.3
38	10.4
39	9.3
40	8.6
41	8.5
42	8.3
43	8.3
44	8.3
45	7.2
46	6.6
47	10.6
48	10.6
49	8.8
50	7.8
51	6.8
52	7.3
53	6.4
54	9.8
55	7.3

56	6.9
57	6.9
58	6.9
59	8.1
60	8.1
61	8.1
62	8.1
63	8.1
64	8.1
65	8.1
66	8.1
67	8.1
68	8.1
69	8.1
70	8.1
71	8.1
72	8.1
73	8.1
74	8.1
75	8.1
76	8.1
77	8.1
78	8.1
LAMINA DE RIEGO TOTAL	556

Anexo 4. Metodología para determinar pH y conductividad eléctrica (norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000).

Para realizar las determinaciones de pH se tomó en cuenta la norma oficial mexicana (NOM-021-RECNAT-2000), en la cual señala los procedimientos para realizar un análisis de fertilidad en suelos.

7.1.2. La determinación del pH del suelo medido en agua se realizará a través del método AS-02

Principio y aplicación

Método electrométrico para la determinación del pH en muestras de suelo en una solución de agua pura. La evaluación electrométrica del pH se basa en la determinación de la actividad del ion H mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H. En el caso de los suelos el pH se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2.

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo. La determinación del pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo: solución, la presión parcial de bióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión, etc.

Reactivos

Los reactivos utilizados en esta determinación deben ser grado analítico y el agua utilizada en la preparación de las soluciones debe ser destilada o desionizada.

1. Agua destilada o desionizada.
2. Soluciones reguladoras de referencia, pH 4.00, 7.00 y 10.00, las cuales se adquieren preparadas o concentradas para diluirse de acuerdo a la instrucción. Estas soluciones deben estar a temperatura ambiente al momento de calibrar el medidor de pH.

Material y equipo

1. Potenciómetro o medidor de pH equipado con electrodo de vidrio en combinación con electrodo de referencia.
2. Balanza con 0.1 g de sensibilidad.
3. Frascos de vidrio o plástico transparente de boca ancha con capacidad de 50 a 100 ml.
4. Pipeta volumétrica de 20 ml.
5. Varilla de vidrio que sirva como agitador manual.
6. Piceta.
7. Cinta métrica.

Procedimiento

1. Pesar 10 g de suelo en un frasco de vidrio o plástico de boca ancha.
2. Adicionar 20 ml. de agua destilada al frasco conteniendo el suelo.
3. Con una varilla de vidrio, agitar manualmente la mezcla de suelo: agua a intervalos de 5 minutos, durante 30 minutos.
4. Dejar reposar durante 15 minutos.
5. Calibrar el medidor de pH con las soluciones reguladores pH 4.00 y 7.00 o 7.00 y 10.00 según el suelo, enjuagando con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras.
6. Agite nuevamente la suspensión e introduzca el electrodo en la suspensión.
8. Registre el pH al momento en que la lectura se haya estabilizado.

Informe de la prueba

Debe incluir la información que a continuación se indica:

1. Datos completos de identificación de la muestra.
3. Reportar el valor con número entero y una cifra decimal.

4. Fecha de realización de la prueba.

Comentarios

1. Previo a la lectura calibrar el potenciómetro de pH con solución amortiguadora de referencia para los intervalos dentro de los cuales se va a medir.
5. Las soluciones amortiguadoras de referencia deben conservarse en refrigeración y colocarlas a temperatura ambiente al momento de la calibración del equipo.
6. No se deberá almacenar las soluciones amortiguadoras por mucho tiempo.
7. Muestras de suelo conteniendo una alta concentración de materia orgánica tiende a formar gruesos grumos cuando la relación suelo: solución es similar a la de un suelo mineral, en este caso se deberán de utilizar relaciones más amplias.

Interpretación de resultados

Para la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH se presenta el Cuadro 18.

Cuadro 18. Clasificación dl suelo de acuerdo al valor de pH.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

7.2.5. La medición de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación se realizará a través del método AS-18, con un conductímetro.

Principio y aplicación

Método para la determinación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo por medición electrolítica y una celda de conductividad como sensor.

- 1.** El término extracto de saturación se usa en este método para designar al extracto acuoso que se obtiene por filtración al vacío de una pasta de suelo saturado hecha con agua destilada.
- 2.** El término sales solubles del suelo se usa en este método para referirnos a los constituyentes inorgánicos del suelo que son apreciablemente solubles en el agua.
- 3.** La conductividad eléctrica o conductancia específica de una solución es el recíproco de la resistencia específica de una corriente alterna medida entre las caras opuestas de un

centímetro cúbico de una solución acuosa a una temperatura específica.

4. La conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe) es uno de los índices más difundidos para evaluar la concentración salina del suelo a nivel de laboratorio.
5. El método es aplicable a suelos con un amplio rango de valores de conductividad eléctrica del extracto de saturación.
6. El extracto se puede diluir si el valor de la conductividad está fuera del rango de medición del conductímetro usado.
7. La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de un material para transportar la corriente eléctrica. Una solución acuosa que contiene iones tiene esa habilidad. La conductividad de una solución electrolítica depende de la concentración total de iones presentes en agua, de la movilidad de cada uno de los iones disueltos, su valencia y de la temperatura a la que se hace la determinación.
8. El principio por el cual los instrumentos miden conductividad es simple: dos placas de conductividad o electrodos se sumergen en la muestra, se aplica un potencial o voltaje a través de las placas y se mide la corriente que fluye entre las placas.

La conductancia eléctrica (C) se determina a partir de los valores del voltaje (V) y la corriente (I).

La conductividad eléctrica (CE) se calcula multiplicando la conductancia medida por la constante de celda (L/A)

$$CE = C \times (L/A)$$

Donde:

L = Longitud de la columna de líquido entre los electrodos (cm).

A = Área de los electrodos (cm²).

La celda de conductividad es la parte del circuito que entra en contacto con la muestra.

La conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) se reporta en decisiemens por metro (dS m⁻¹).

Reactivos

1. Agua destilada.
2. Solución estándar de KCl 0.010 N. disolver 0.7455 g de KCl en agua destilada y aforar a un litro. La conductividad eléctrica de esta solución a 25°C es 1.412 dS m⁻¹.
3. Solución estándar de KCl 0.100 N. Disolver 7.4555 g de KCl en agua destilada y aforar a 1 L. La conductividad eléctrica de esta solución a 25°C es 12,900 dS m⁻¹. Antes de usar los medidores de conductividad éstos se deben calibrar a una conductividad estándar con una de las soluciones patrones indicadas más arriba. Escoja la solución que se aproxima a

la conductividad para calibrar el medidor escoja la solución de K que más se aproxime a la conductividad de la muestra.

4. Solución para el mantenimiento de la celda de conductividad. Un electrodo sucio polarizado se debe limpiar o replatinizar para renovar la superficie activa de la celda. Consulte el manual instructivo para el mantenimiento de la celda específica.

Material y equipo

1. Actualmente existe en el mercado una diversidad de instrumentos para medir conductividad eléctrica de soluciones. Estos medidores difieren en su rango de operación, exactitud, forma de corregir las lecturas de conductividad a una temperatura específica y precisión, por lo que se recomienda seguir las instrucciones del fabricante para la manipulación del instrumento.
2. Medidor de conductividad de lectura directa.
3. Celda de conductividad del tipo flujo con compensación automática de temperatura.

Interferencias

1. La conductividad eléctrica del extracto de saturación aumenta cuando incrementa la temperatura razón por la cual los valores de la conductividad eléctrica deben ser corregidos a 25°C cuando son reportados.

2. Si el contenido de agua de la pasta saturada es mayor o menor que el correspondiente al punto de saturación las conductividades serán afectadas.
3. Para obtener resultados reproducibles los electrodos de la celda deben estar limpios y bien platinados.

Precisión y exactitud

Los valores de conductividad menores de uno son reportados con dos cifras decimales y los valores mayores de uno con tres cifras significativas en dS m⁻¹ a 25°C.

Constante de celda

1. Si la conductividad eléctrica de la solución de referencia de KCl está incorporada dentro del medidor para lecturas directas de conductividad, siga las recomendaciones del fabricante para la calibración.
2. Si el medidor seleccionado requiere que la constante de celda sea calculada, siga las instrucciones del instructivo del instrumento.

Procedimiento

1. Lavar y llenar la celda de conductividad con solución de KCl.
2. Ajustar el medidor de conductividad para leer la conductividad estándar de la solución de KCl.

3. Lavar y llenar la celda con el extracto de saturación del suelo y leer la conductividad eléctrica del extracto corregido a 25°C.

Control de calidad

Todo laboratorio que use este método deberá desarrollar protocolos de control de calidad que permitan monitorear continuamente el sesgo y la precisión de todas las determinaciones.

Informe de la prueba

Debe incluir lo siguiente:

- Identificación completa de la muestra.
- Conductividad eléctrica es decisiemens por metro (dS m^{-1}) a 25°C.
- Referencia a este método de prueba.
- Fecha de la prueba.

Interpretación de conductividad eléctrica

Cuadro 19. Interpretación de la conductividad eléctrica.

CE dS m⁻¹ a	Efectos
25°C	
< 1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.1 - 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 - 4.0	Moderadamente salino
4.1 - 8.0	Suelo salino
8.1 - 16.0	Fuertemente salino
> 16.0	Muy fuertemente salino

Anexo 5. Metodología para determinar características físicas de los sustratos propuesta por Piere y Pereira.

Esta metodología es propuesta por Piere y Pereira, se basa en la metodología del porómetro utilizada por la Universidad de Florida. Se realizan los pasos utilizados según lo describe en el trabajo llamado "Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica".

En primer lugar, se construyó un porómetro (Figura 7) con las siguientes características:

Un cilindros o secciones de tubo de plástico de 7,62 cm de diámetro (3 pulgadas) y 15 cm de longitud, de los utilizados para el agua de drenaje doméstico. En uno de los extremos se fijó con pegamento una tapa plástica en la cual se perforaron cuatro orificios de 5 mm de diámetro en forma equidistante a lo largo

de su borde perimetral. En el otro extremo del tubo se colocó un conector o anillo plástico, sin fijar.



Figura 7. Porómetro utilizado.

1. El porómetro se colocó en forma vertical con la tapa perforada hacia el fondo. Los sustratos fueron dejados expuestos al ambiente, pero protegidos de la radiación directa, durante varios días para permitir su secado al aire.
2. Las muestras se colocaron dentro del porómetro hasta su máxima capacidad y se permitió su asentamiento después de dejarlo caer en dos oportunidades desde 7,5 cm de altura sobre una mesa de madera. En cada oportunidad, se rellenaba el cilindro con muestra adicional hasta su borde superior.

3. Los cilindros con las muestras se colocaron en un recipiente con agua cuyo nivel alcanzaba justo debajo del borde superior de forma de forzar el humedecimiento de la muestra desde los orificios del fondo (Figura 8), permitiendo a su vez la salida libre del aire por la cara superior. las muestras fueron dejadas en el agua hasta el día siguiente.



Figura 8. Porómetro con muestras de sustrato, colocados en agua para humedecer.

4. Se extrajo los cilindros del agua se y procedió a remover cuidadosamente el anillo de la parte superior del porómetro y se eliminó el exceso de muestra enrasándola con el borde del tubo con la ayuda de una espátula.

5. Posteriormente, se sujetaba un pedazo de tela porosa (liencillo) con una banda de goma para cubrir el extremo expuesto de la muestra (Figura 9).

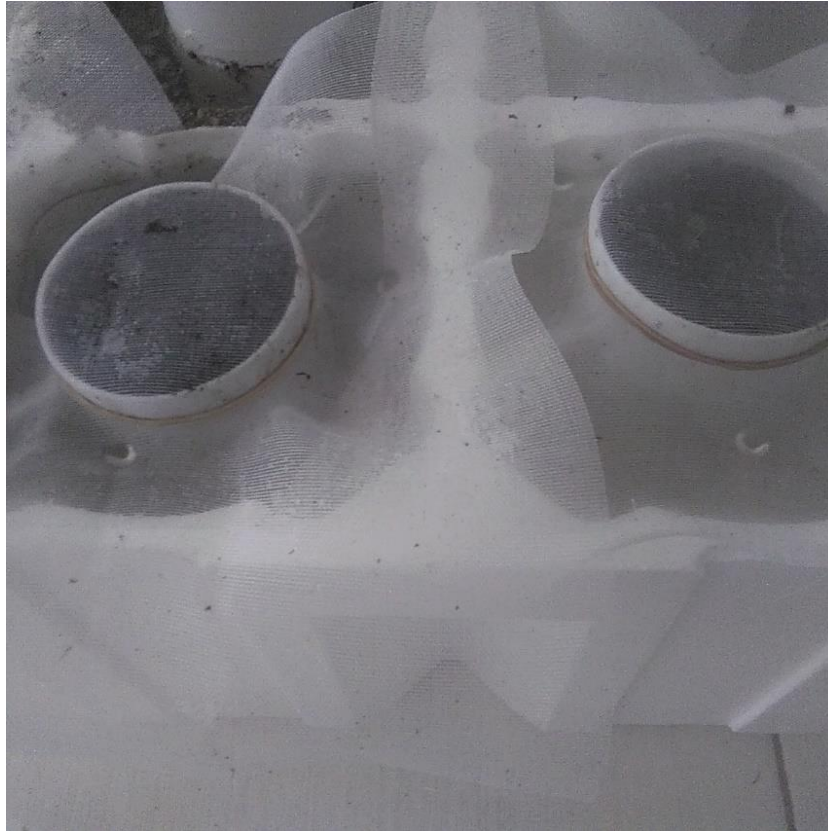


Figura 9. Colocación de membrana en los porómetro.

6. Cada cilindro fue colocado de nuevo en agua, esta vez sumergiéndolo por completo, y extraído luego de algunos minutos, repitiendo la operación un par de veces para permitir la saturación total de la muestra (Figura 10).



Figura 10. Porómetro con muestras de suelo sumergido por completo en agua.

7. Luego de 30 minutos se colocaron tapones en cada uno de los orificios del fondo y la muestra se extraía definitivamente del agua.
8. Posteriormente, fueron colocados verticalmente sobre un recipiente, se removieron los tapones y se midió el volumen de agua (V_a) que drenaba en un período de 10 minutos (Figura 11).



Figura 11. Muestras de suelo drenándose.

9. La muestra húmeda fue extraída de los tubos y se tomó el peso (PH) (Figura 12).



Figura 12. Medición del peso húmedo de la muestra.

10. luego era colocada en estufa a 105 °C para obtener el peso seco (PS) (Figura 13).



Figura 13. Medición del peso seco de la muestra.

Se realizaron los siguientes cálculos para las determinaciones de las propiedades físicas de la muestra:

$$\text{Porosidad total (\%)} = \frac{V_a + \frac{PH - PS}{P_a}}{V_c} \times 100$$

$$\text{Porosidad de aireación (\%)} = \frac{V_a}{V_c} \times 100$$

$$\text{Capacidad de retención de agua (\%)} = \frac{PH - PS}{V_c} \times 100$$

$$\text{Densidad aparente (Mg m}^3\text{)} = \frac{PS}{Vc}$$

$$\text{Densidad de partículas (Mg m}^3\text{)} = \frac{Da}{1 - \frac{PT}{100}}$$

Donde:

Va = volumen drenado (cm³)

PH = peso húmedo de la muestra (g)

PS = peso seco de la muestra (g)

Pa = peso específico del agua (1 g/cm³)

Vc = volumen del tubo o cilindro (cm³)