



# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA**

**DOCTORADO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y  
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

**“ASPECTOS MORFOMÉTRICOS Y FISIOLÓGICOS EN CHILES  
(*Capsicum annuum* L.) NATIVOS DE OAXACA”**

**Tesis**

**Que para obtener el grado de:**

**Doctor en Ciencias**

**PRESENTA:**

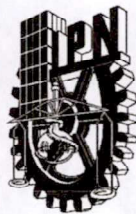
**JAIR SAN JUAN MARTÍNEZ**

**DIRECTORES DE TESIS**

**DRA. YOLANDA DONAJI ORTIZ HERNANDEZ**

**DR. TEODULFO AQUINO BOLAÑOS**

**Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, 2022**



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ciudad de México, 13 de Mayo del 2022

El Colegio de Profesores de Posgrado de **CIIDIR UNIDAD OAXACA** en su Sesión  
(Unidad Académica)

ordinaria No. 05 celebrada el día 18 del mes mayo de 2020 conoció la solicitud presentada por el alumno:

Apellido Paterno:	San Juan	Apellido Materno:	Martínez	Nombre (s):	Jair
-------------------	----------	-------------------	----------	-------------	------

Número de registro: B 1 8 0 1 0 7

del Programa Académico de Posgrado: Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

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

Aspectos morfométricos y fisiológicos en chiles (*Capsicum annuum* L.) nativos de Oaxaca.

Objetivo general del trabajo de tesis:

Evaluar parámetros morfológicos y fisiológicos de chiles nativos de Oaxaca cultivados bajo estructuras de protección en sistema hidropónico y suelo, ambos con nutrición y disponibilidad hídrica controlada.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Directora: Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández 2° Director: Dr. Teodulfo Aquino Bolaños

No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

El invernadero de la Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández y el laboratorio de Fisiotecnia Vegetal ambos ubicados dentro de las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional- Unidad Oaxaca.

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

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

Directora de Tesis

Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández

Aspirante

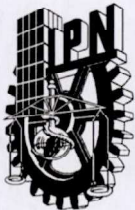
San Juan Martínez Jair

2° Director de Tesis

Dr. Teodulfo Aquino Bolaños

Presidente del Colegio

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Santa Cruz Xoxocotlán, Oax., siendo las 11:00 horas del día 11 del mes de mayo del 2022 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de profesores de posgrado del: Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR UNIDAD OAXACA) para examinar la tesis titulada:

**Aspectos morfométricos y fisiológicos en chiles (*Capsicum annum* L.) nativos de Oaxaca.**  
del alumno:

Apellido Paterno:	San Juan	Apellido Materno:	Martínez	Nombre (s):	Jair
-------------------	----------	-------------------	----------	-------------	------

Número de registro: B 1 8 0 1 0 7

Aspirante del Programa Académico de Posgrado: Doctorado en Ciencias en Conservación y

Aprovechamiento de Recursos Naturales.

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 6 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI**  **NO SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:** (Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)


El reporte de similitud de la tesis es bajo. Ese porcentaje se localiza en palabras comunes en la revisión de literatura y en la metodología adecuadamente citadas.

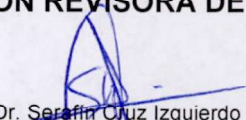
**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

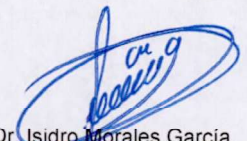
Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:


La escritura de la tesis está completa, cuenta con 5 artículos presentados como capítulos, de los cuales 3 como artículos científicos: 2 publicados, 1 aceptado para publicarse, 1 de divulgación aceptado para su publicación y 1 en proceso de revisión en divulgación. El documento presenta la información necesaria y cumple para presentarse como tesis de Doctorado.

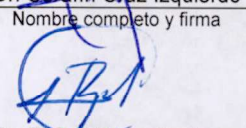
### COMISIÓN REVISORA DE TESIS

  
Dra. Yolanda Donaji Ortiz Hernández  
Directora de Tesis  
Nombre completo y firma

  
Dr. Serafín Cruz Izquierdo  
Nombre completo y firma

  
Dr. Isidro Morales García  
Nombre completo y firma

  
Dr. Teodulfo Aquino Bolaños  
2º Director de Tesis  
Nombre completo y firma

  
Dr. Rafael Pérez Pacheco  
Nombre completo y firma

  
Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez  
Nombre completo y firma  
**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
COLEGIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
UNIDAD OAXACA



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax., el día 09 del mes de Mayo del año 2022, el que suscribe **San Juan Martínez Jair** alumno del Programa de **Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales**, con número de registro **B180107**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesto que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la **Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández** y **Dr. Teodulfo Aquino Bolaños** y cede los derechos del trabajo intitulado **Aspectos morfométricos y fisiológicos en chiles (*Capsicum annum* L.) nativos de Oaxaca**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones [jsanjuanm1600@alumno.ipn.mx](mailto:jsanjuanm1600@alumno.ipn.mx) ó [yortiz@ipn.mx](mailto:yortiz@ipn.mx). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
UNIDAD OAXACA

**San Juan Martínez Jair**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitir terminar un nivel académico más en mi formación como profesionalista.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN).

A la M en C. Verónica Martínez Gallegos, por todo su apoyo en cada uno de los experimentos realizados, sus revisiones en los escritos, la facilidad de equipos y reactivos, las asesorías en las determinaciones realizadas y motivación personal, siendo fundamental para mejorar sustancialmente mis investigaciones.

A todas aquellas personas que de algún modo contribuyeron para lograr este éxito.

¡¡¡A todos y cada uno de ustedes MUCHAS GRACIAS!!!

## **DEDICATORIA:**

A mi Hijo Edison Tadeo, por llegar a mi vida y ser mi mayor motivación para superarme, por entender y apoyarme en cada uno de los momentos de estrés y trabajo.

A mi Esposa Verónica Martínez Gallegos, por ser mi amiga, esposa, apoyo e inspiración, a ti te dedico este logro que también es tuyo.

A mi madre Trinidad Martínez, por siempre brindarme su apoyo.

A mis hermanos Marlo y Erwin San Juan, por apoyarme cuando lo he requerido.

A mis sobrinos Mariana y Alejandro.

A todos ustedes les dedico este logro por ser parte fundamental de mi vida.

## CONTENIDO

Índice de cuadros o tablas.....	VIII
Índice de figuras.....	IX
Resumen general.....	X
General abstract.....	XI
Introducción general.....	1
Bibliografía.....	6
Capítulo I. Características de frutos y semilla de chile huacle ( <i>Capsicum annuum</i> L.) producido en hidroponía.....	12
Resumen.....	13
Abstract.....	13
Introducción.....	14
Materiales y métodos.....	14
Resultados y discusión.....	15
Características físicas de fruto.....	15
Características físicas de semillas.....	16
Contenido de humedad.....	16
Viabilidad.....	17
Germinación y envejecimiento acelerado.....	17
Conclusiones.....	18
Agradecimientos.....	18
Literatura citada.....	18
Capítulo II. Seed and seedling quality of three chilis ( <i>Capsicum annuum</i> L.) native to Oaxaca, Mexico.....	20
Abstract.....	21
Resumo.....	21
Introduction.....	21
Materials and methods.....	22
Source and distinctive characteristics of plant material.....	22
Seed bed.....	23
Seeds.....	23
Germination.....	24
Seedlings.....	24
Results and discussion.....	24
Seeds.....	24
Germination and seedlings.....	24
Conclusion.....	28
Acknowledgements.....	28
Declaration of conflict of interests.....	28
Authors' contributions.....	28
References.....	28
Capítulo III. Respuesta del chile huacle ( <i>Capsicum annuum</i> L.) al estrés hídrico bajo invernadero...	31
Carta de aceptación.....	32
Resumen.....	33
Abstract.....	33
Introducción.....	34

Metodología.....	35
Resultados y discusión.....	36
Conclusiones.....	43
Bibliografía.....	44
Capitulo IV. Características vegetativas y de frutos de tres tipos de chiles de Oaxaca producidos en invernadero.....	49
Resumen.....	50
Abstract.....	50
Introducción.....	51
Materiales y métodos.....	52
Resultados y discusión.....	54
Altura de planta y grosor de tallo.....	54
Número de botones, flores y frutos.....	55
Frutos.....	55
Conclusión.....	56
Bibliografía.....	56
Capitulo V. Evaluación <i>ex situ</i> de seis chiles nativos de Oaxaca en invernadero.....	60
Carta de aceptación.....	61
Resumen.....	62
Abstract.....	62
Introducción.....	62
Materiales y métodos.....	63
Ubicación.....	64
Almacigo.....	64
Trasplante y desarrollo.....	64
Toma y análisis de datos.....	64
Diseño experimental y análisis estadístico.....	64
Resultados y discusión.....	65
Conclusión.....	66
Agradecimientos.....	67
Bibliografía.....	67
Conclusiones generales.....	69



## ÍNICE DE CUADROS O TABLAS

### **Capítulo I. Características de frutos y semilla de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) producido en hidroponía**

Tabla 1. Tratamientos aplicados a chile huacle bajo macrotunel.....	14
Tabla 2. Características físicas de frutos de chile huacle.....	16
Tabla 3. Correlaciones en características físicas de fruto del chile huacle.....	16
Tabla 4. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables de chile huacle.....	16
Tabla 5. Tamaño y peso de semillas de chile huacle.....	16
Tabla 6. Porcentaje de germinación y características de plántulas de chile huacle.....	17

### **Capítulo II. Seed and seedling quality of three chilis (*Capsicum annuum* L.) native to Oaxaca, Mexico.**

Table 1. Physical characteristics of chili seeds ( <i>Capsicum annuum</i> L.). Oaxaca, México. 2018.....	25
Table 2. Correlations between seed variables of chili seeds ( <i>Capsicum annuum</i> L.). Oaxaca, México. 2018.....	25
Table 3. Characteristics of germinated seeds, seedlings and germination indexes of <i>Capsicum annuum</i> L. Oaxaca, México. 2018.....	26
Table 4. Morphological characteristics and growth index of <i>Capsicum annuum</i> L. Oaxaca, México. 2018.....	28

### **Capítulo III. Respuesta del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) al estrés hídrico bajo invernadero.**

Cuadro 1. Tratamientos aplicados a plantas de chile Huacle.....	35
Cuadro 2. Número de botones, flores y frutos durante el desarrollo del chile Huacle.....	38
Cuadro 3. Características morfológicas de plantas de chile Huacle a los 120 ddt.....	39
Cuadro 4. Características químicas de frutos de chile Huacle.....	42
Cuadro 5. Rendimiento comercial, IDC y características físicas de frutos comerciales secos de chile Huacle a los 120 ddt.....	43

### **Capítulo IV. Características vegetativas y de frutos de tres tipos de chiles de Oaxaca producidos en invernadero.**

Tabla 1. Características de frutos verdes y maduros de tres chiles nativos de Oaxaca.....	56
---	----

### **Capítulo V. Evaluación *ex situ* de seis chiles nativos de Oaxaca en invernadero**

Cuadro 1. Sitios de colecta de chiles nativos de Oaxaca.....	63
Cuadro 2. Características agronómicas de seis chiles nativos de Oaxaca cultivado en invernadero y sistema hidropónico.....	65
Cuadro 3. Características de semillas de seis chiles nativos de Oaxaca cultivados en invernadero y sistema hidropónico.....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo I. Características de frutos y semilla de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) producido en hidroponía.

Figura 1. Fruto fresco de chile huacle: A) antes y B) después de madurez fisiológica. C) fruto seco: a) ancho, b) largo y c) pericarpio..... 15

Figura 2. Viabilidad y vigor de las semillas de chile huacle tratadas con cloruro de tetrazolio: (A) no viable, (B) viable con vigor medio y (C) viable con alto vigor..... 17

### Capítulo II. Seed and seedling quality of three chilis (*Capsicum annuum* L.) native to Oaxaca, Mexico.

Figure 1. Native chilis to Oaxaca and Green pepper. Physiological maturity (PM) and in horticultural maturity (HM, the fruit has the desirable characteristics for the consumer and for its commercialization)..... 22

Figure 2. Native chilis of Oaxaca in markets for commercialization. A) Pasilla, B) De agua, C) Huacle and D) Green pepper (control)..... 23

Figure 3. Chili seeds: A) Pasilla, B) Huacle, C) De agua and D) Green pepper. Scanning Electron Microscopy Images by Frank M. León-Martínez..... 23

Figure 4. Growth curves of native chili and control seedlings in a growth chamber. Each value represents mean (n=4)  $\pm$  standard error. Oaxaca, México. 2018..... 26

Figure 5. Linear growth for native chili and control seedlings. Each value represents mean (n=4). Oaxaca, México..... 27

### Capítulo III. Respuesta del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) al estrés hídrico bajo invernadero

Figura 1. Valores promedios de a) temperatura y humedad relativa, b) radiación fotosintéticamente activa registrados dentro del invernadero..... 37

Figura 2. Tasa de Asimilación Neta (TAN) de plantas de chile Huacle. \*días después del trasplante..... 40

Figura 3. Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA) de plantas de chile Huacle. \*días después del trasplante..... 41

Figura 4. Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) de plantas de chile Huacle \*días después del trasplante..... 41

### Capítulo IV. Características vegetativas y de frutos de tres tipos de chiles de Oaxaca producidos en invernadero.

Figura 1. Valores promedio mensual de temperatura y humedad relativa registrados en el invernadero del CIIDIR-Oaxaca (2017-2018)..... 53

Figura 2. Frutos de chile de agua a) verde b) maduro, huacle c) verde d) maduro y pasilla e) verde f) maduro..... 54

Figura 3. Crecimiento de chiles nativos de Oaxaca cultivados bajo invernadero y sistema hidropónico..... 54

### Capítulo V. Evaluación *ex situ* de seis chiles nativos de Oaxaca en invernadero

Figura 1. Chiles nativos de Oaxaca con diferentes estados de madurez a) chile de agua, b) coxle, c) pasilla mixe, d) tabiche, e) huacle amarillo y f) huacle negro..... 64

## RESUMEN GENERAL

### ASPECTOS MORFOMETRICOS Y FISIOLÓGICOS EN CHILES (*Capsicum annuum* L.) ENDÉMICOS DE OAXACA

Oaxaca, México cuenta con alta riqueza en germoplasma del género *Capsicum*, los cuales forman parte de la dieta diaria, cultura e identidad, como el chile de Agua en los Valles Centrales, el Huacle en la región de la Cañada y el Pasilla mixe en la Sierra Norte entre otros. Los diversos ecotipos de chiles de Oaxaca, son cultivados y comercializados en regiones específicas en superficies pequeñas en época de temporal con bajos rendimientos y gran variación en la calidad de los frutos. Es escasa la información que permite conocer su comportamiento bajo cubierta, hidroponía y nutrición controlada, así como la calidad de las semillas utilizadas en su propagación. En esta tesis se evaluaron diferentes factores que afectan la producción de chiles nativos de interés comercial y cultural de Oaxaca: a) Efecto de la nutrición en la producción del chile Huacle negro; b) Evaluación de la calidad de semillas y plántulas de chile de Agua, Huacle negro y Pasilla "mixe" bajo condiciones de laboratorio, c) Efecto del estrés hídrico y acolchado plástico en chile Huacle negro, d) Evaluación de parámetros de plantas y frutos de tres chiles nativos producidos en invernadero y e) Evaluación *ex situ* de características agronómicas y de semillas de seis chiles nativos. Se obtuvo que la concentración de la solución nutritiva Steiner al 100 % aumentó significativamente las dimensiones de los frutos y calidad de su semilla. Las semillas de chile Huacle presentaron mejor calidad física y fisiológica con respecto al chile de Agua y Pasilla, con un tamaño y porcentaje de germinación similar a semillas comerciales de pimiento. Por otra parte, el mayor estrés hídrico redujo el número de botones, flores y frutos, el área foliar, la altura de planta, grosor de tallo, tamaño de fruto y rendimiento, pero con el acolchado se incrementó el contenido de sólidos solubles totales. Asimismo, el uso de sistemas protegidos permite la obtención de frutos con el tamaño comercial requerido. Por último, las variaciones morfológicas presentes entre los morfotipos son principalmente en frutos. Se concluye que esta investigación aporta conocimiento valioso sobre la calidad y potencial de los chiles nativos para su manejo, producción comercial y conservación de estos recursos fitogenéticos.

**Palabras clave:** *Capsicum*, estrés hídrico, fisiología, nutrición, recurso filogenético.

## GENERAL ABSTRACT

### MORPHOMETRIC AND PHYSIOLOGICAL ASPECTS IN ENDEMIC CHILI PEPPERS (*Capsicum annuum* L.) FROM OAXACA

Oaxaca, Mexico has a great wealth of germplasm of the *Capsicum* genus, which are part of the daily diet, culture and identity, such as the Agua chile in the Central Valleys, the Huacle in the Cañada region and the Pasilla mixe in the Sierra Norte, among others. The diverse ecotypes of chili peppers from Oaxaca are cultivated and marketed in specific regions in small areas during the rainy season with low yields and great variation in fruit quality. Little information is available on their performance under cover, hydroponics and controlled nutrition, as well as on the quality of the seeds used in their propagation. In this thesis, different factors affecting the production of native chili peppers of commercial and cultural interest in Oaxaca were evaluated: a) Effect of nutrition on the production of Huacle negro chili; b) Evaluation of seed and seedling quality of Agua, Huacle negro and Pasilla "mixe" chili under laboratory conditions, c) Effect of water stress and plastic mulch on Huacle negro chili, d) Evaluation of plant and fruit parameters of three native chili peppers produced in greenhouses and e) Ex situ evaluation of agronomic and seed characteristics of six native chili peppers. It was found that the concentration of the Steiner nutrient solution at 100 % significantly increased fruit size and seed quality. Huacle chile seeds showed better physical and physiological quality compared to Agua and Pasilla chile, with a size and percentage of germination similar to commercial bell pepper seeds. On the other hand, the higher water stress reduced the number of buds, flowers and fruits, leaf area, plant height, stem thickness, fruit size and yield, but with mulching, the total soluble solids content increased. Likewise, the use of protected systems allows obtaining fruits with the required commercial size. Finally, the morphological variations between morphotypes are mainly in fruit. It is concluded that this research provides valuable knowledge on the quality and potential of native chili peppers for management, commercial production and conservation of these phytogetic resources.

**Key words:** *Capsicum*, water stress, physiology, nutrition, phylogenetic resource.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La morfología de una planta corresponde a las características y organización interna y externa de cada uno de los órganos que la integran (Chuncho *et al.*, 2019). Para el género *Capsicum*, se puede mencionar la presencia de raíces, tallos, hojas (Pérez-Vargas *et al.*, 2014), semilla (Moo-Muñoz *et al.*, 2016) flor y fruto (Cruz-Lázaro *et al.*, 2017); las cuales varían de acuerdo a las diferentes etapas del desarrollo del cultivo. Hasta el momento se han reportado siete etapas durante el ciclo de vida del cultivo: emergencia, presencia de la séptima hoja, etapa vegetativa, floración, amarre de fruto, desarrollo de fruto y madurez (Moreno *et al.*, 2011; Alejo-Santiago *et al.*, 2015; Pino *et al.*, 2018 y Morales-Fernández *et al.*, 2020).

Al respecto, se han realizado trabajos describiendo diferentes morfotipos pertenecientes al género *Capsicum*, lo que ha permitido identificar la similitud y variación presente entre los materiales, permitiendo su agrupamiento por especie (Moreno *et al.*, 2011; Villota-Cerón *et al.*, 2012; Narez-Jimenez *et al.*, 2014; Elizondo-Cabalqueta y Monge-Pérez *et al.*, 2016; Cruz-Lázaro *et al.*, 2017; Ramírez *et al.*, 2018; Escalera-Ordaz *et al.*, 2019; Quevedo y Laurentin, 2020). La caracterización con el uso de guías (Leyva *et al.*, 2018) permite comparar de manera práctica y económica la variación del genotipo, identificando características que pueden ser de interés agronómico para el uso en planes de mejoramiento genético. En este sentido, Govindaraj *et al.* (2015) mencionan que los cultivos locales presentan una mayor diversidad genética, y pueden ser estudiados para identificar características y genes de interés agronómico, para el caso de *Capsicum* spp. la guía de descriptores del IPGRI (1995), permite identificar las variaciones dentro del género.

Por otro lado, la fisiología vegetal se enfoca en el estudio del funcionamiento de las plantas explicándola mediante la física y química, así como las adaptaciones de los cultivos como respuesta de los factores genéticos a la interacción con el ambiente en el que se desarrollan tomando en cuenta principalmente: temperatura, viento, radiación, precipitación, humedad relativa, características físicas y propiedades químicas del suelo, además, la interacción con organismos tanto benéficos como patógenos (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Los aspectos que abarca la fisiología son muy amplios, dentro de los cuales se puede mencionar: la activación de genes y cambios metabólicos a nivel celular, cambios anatómicos y morfológicos, las adaptaciones de las plantas como resultado de la evolución, fotosíntesis, respiración, relación planta-agua, respuesta de las plantas a estrés bióticos y abióticos entre otros (Fernández y Gyenge, 2010; Sánchez-Moreiras y Reigosa, 2018). Sin embargo, en cultivos de interés agronómicos con fines alimenticios los trabajos son enfocados principalmente en las respuestas en cuanto al crecimiento,

desarrollo y la calidad de los productos cosechados (Melgarejo, 2012; Slafer *et al.*, 2018).

La aplicación de ambas áreas del conocimiento (morfología y fisiología) en la agricultura es de suma importancia, ya que comprender las reacciones y comportamientos de los cultivos a distintos factores de su entorno permite promover las condiciones más apropiadas para el desarrollo del cultivo, obteniendo mayor rendimiento y productos de mayor calidad de interés para los seres humanos. Al respecto, Rodríguez *et al.* (2020) mencionan que la calidad de los frutos de *Capsicum* está determinado principalmente por su tamaño, forma, firmeza, color, nivel de pungencia y contenido de sólidos solubles.

En este sentido se han realizado trabajos en el género *Capsicum* que abarcan aspectos en calidad de plántula (Moo-Muñoz *et al.*, 2016), deficiencias nutrimentales (Silva *et al.*, 2017), respuesta al estrés hídrico (Salazar y Hernández, 2018), almacenamiento de semillas (Andueza-Noh *et al.*, 2017), respuesta a reguladores de crecimiento (Espitia-Hernández *et al.*, 2019).

El 89% de la producción mundial de los chiles se localiza en el continente asiático en: India, China, Corea, Tailandia, Vietnam, Sri Lanka e Indonesia, mientras que en México y Estados Unidos de Norte América únicamente se produce el 7% (Ramalho do Rêgo *et al.*, 2016).

Así mismo, debido a la importancia y valor filogenético que representa la amplia variedad de chiles nativos de México y en especial de Oaxaca, para el *Capsicum* se han hecho investigaciones que abarcan desde la germinación (Moo-Muñoz *et al.*, 2016), fenología (Moreno *et al.*, 2011; Santiago-Luna *et al.*, 2016), nutrición (Salazar-Jara y Juárez-López, 2012), estrés hídrico (Quintal *et al.*, 2012) todos bajo diferentes condiciones con el objetivo de obtener información útil que pueda mejorar la producción del cultivo.

Por otro lado, la semilla es de suma importancia en la producción y valor económico de diversos cultivos (Agrawal y Rakwal, 2012), al igual que en su conservación, ya que semillas de alta calidad conservan por un periodo más prolongado su poder germinativo y pueden resistir condiciones adversas durante su resguardo (Ayala-Villegas *et al.*, 2014). En la actualidad, se puede determinar y evaluar la calidad de una semilla mediante la medición de sus propiedades físicas y fisiológicas (ISTA, 2015). Por lo cual, el tamaño y peso de semillas son factores muy importantes, ya que junto con otros factores del ambiente afectan la germinación de las semillas (Barchenger y Bosland, 2016). Por lo general, los productores de chiles en México utilizan semillas que proceden de frutos secos cosechados en el ciclo anterior, eligiendo frutos que sobresalgan en cuanto a: su forma, sus dimensiones y color, sin realizar alguna estrategia ni manejo previo que permita aumentar la calidad de

frutos y semillas. De manera manual, las semillas son retiradas de los frutos aproximadamente 10 días previos a ser sembradas en los almácigo sin ningún tratamiento previo (Kraf *et al.*, 2010; López *et al.*, 2016).

En cuanto al uso de estructuras de protección y sistemas hidropónicos en la producción de distintas hortalizas incluyendo al género *Capsicum* se ha reportado un aumento en rendimiento y calidad de los frutos (Quesada 2015; Tapia-Vargas *et al.*, 2016). No obstante, el nivel de nutrición puede afectar el número y tamaño de frutos como lo mencionan para chile de Agua (Valentín-Miguel *et al.*, 2013) y chile Habanero (Alejo-Santiago *et al.*, 2015). Asimismo, la baja disponibilidad de los macros y micronutrientes disminuye la presencia de flores, tamaño de flores y frutos. Además, de influir en el desarrollo de semillas de buena calidad (Izquierdo y Granados-Ortiz, 2011). En este mismo sentido, Valadez *et al.* (2016) mencionan que las fuentes de dichos elementos afectan las dimensiones de los frutos de chile. Resultado de la combinación de la disponibilidad de los nutrientes en el medio de producción y factores ambientales como; temperatura, salinidad, fotoperiodo e intensidad luminosa repercutiendo en la fenología y fisiología de los cultivos (Campos *et al.*, 2014; Metin *et al.*, 2019; López *et al.*, 2016; Srinivasa *et al.*, 2016).

Diversos estudios han reportado que el déficit hídrico en la producción del género *Capsicum* afecta fuertemente el desarrollo y la producción de las plantas con acción directa sobre procesos metabólicos y fisiológicos, principalmente la densidad y apertura estomática al igual que la división celular; lo que promueve el aborto de frutos, la precocidad en su floración, fructificación y formación de semillas (Borges-Gómez *et al.*, 2010; Quintal *et al.*, 2012; Quesada, 2015).

En la actualidad el conocimiento e información científica de chiles nativos del estado de Oaxaca son escasos debido principalmente a la limitada zona de producción ya que en algunos casos los ecotipos son cultivados local o regionalmente de manera tradicional, a campo abierto y en época de temporal, enfrentando las adversidades climáticas, además de ser susceptibles a ataques de plagas y enfermedades que repercuten en el rendimiento del cultivo. Dentro de los chiles nativos del estado, destacan los chiles del género *Capsicum annum*; de Agua, Huacle y Pasilla “Mixe” por su importancia económica y culinaria (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

El chile Huacle, procedente de la región de la Cañada, presenta tres variantes; amarillo, rojo y negro, anteriormente este ecotipo era cultivado a cielo abierto con riego rodado con una producción reportada de una tonelada de producto seco (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). No obstante, en la actualidad su producción se ha tecnificado mediante el uso de estructuras de protección con sistemas de riego localizado y nutrición controlada (García-Gaytán *et al.*, 2017) o en producción hidropónica con solución nutritiva adicionada con  $\text{NH}_4^+$  (Urbina-Sánchez *et al.*, 2020). En el 2017, García-Gaytán y colaboradores, publicaron una revisión del

cultivo abarcando toda la información generada hasta ese momento del chile Huacle negro. En la misma región de la cañada, se encuentra al chile Coxle, otro de los chiles nativos utilizado también como ingrediente también del mole negro Oaxaqueño (López *et al.*, 2016)

El chile de Agua es de gran importancia económica en los Valles Centrales de Oaxaca (Cruz-Andrés *et al.* 2018). Al respecto, Martínez-Sánchez *et al.* (2010), mencionan una amplia diversidad de ecotipos. Entre sus diferentes usos reportados están: el uso comestible en fresco como chiles rellenos o asados (Pablo *et al.*, 2009), medicinal y ornamental (Montaño-Lugo *et al.*, 2014). En la actualidad su producción se ha tecnificado mediante el uso de algún tipo de cubierta y soluciones nutritivas (Valentín-Miguel *et al.* 2013).

El chile Pasilla “Mixe”, conocido así porque proviene de la región mixe e Istmo (López y Castro 2006; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010; Aguilar-Meléndez *et al.*, 2018), el fruto se consume frecuentemente en seco. El fruto es deshidratado en hornos tradicionales, donde son ahumados mediante la quema de leña de encino para posteriormente elaborar el chintextle, la cual es una pasta que contiene sal, ajo y chiles pasilla (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

El chile Tabiche, es otro chile nativo del estado de Oaxaca el cual, se reporta que es producido en el municipio de Miahuatlán de Porfirio Díaz en la región de la sierra sur, su venta es en seco, utilizado en la elaboración de moles y salsas (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

Por todo lo anterior, en esta tesis se estudiaron varios aspectos morfológicos y fisiológicos en chiles nativos de Oaxaca, bajo condiciones de laboratorio e invernadero, para contribuir al conocimiento de la planta y mejorar su manejo agronómico, aprovechamiento y conservación.

En esta disertación se presentan los avances logrados en cinco capítulos, los cuales fueron publicados o han sido aceptados como artículos científicos en revistas arbitradas de circulación nacional e internacional.

- I. Características de frutos y semillas de chile Huacle negro (*Capsicum annuum* L.) producidos en sistema hidropónico bajo tres niveles nutrimentales (publicado en *Idesia* 37 (2):87-94 en 2019).
- II. Caracterización morfológica y fisiológica de semillas y plántulas de chiles Publicadnativos de Oaxaca (*Capsicum annuum* L.) (Publicado en *Ciencia Rural* v. 50, n. 9, en 2020).
- III. Producción de chile Huacle negro bajo tres niveles hídrico con y sin acolchado (Aceptado en 2022, en *Agricultura Sociedad y Desarrollo*).



- IV. Características vegetativas y de frutos de tres tipos de chiles de Oaxaca producidos en invernadero (Publicado en Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca 4: 50-59 en 2022).
- V. Evaluación *ex situ* de seis chiles nativos de Oaxaca en invernadero (aceptado en Revista Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología, Edición 2022. Revista de divulgación científica de la SOMUCAAB A.C.)

En el primer capítulo se determinaron las características físicas de frutos, físicas y fisiológicas de semillas de chile Huacle cultivados bajo cubierta en hidroponía con tres niveles de la solución nutritiva Steiner. En el segundo, se evaluó la calidad de semillas y plántulas de chile de Agua, Huacle Negro y Pasilla “mixe” mediante parámetros físicos y fisiológicos bajo condiciones de laboratorio. En el tercer capítulo se evaluó la disponibilidad de agua y acolchado plástico durante la producción del chile Huacle negro cultivado bajo condiciones de invernadero. En el cuarto se midió el crecimiento de plantas y algunas características físicas y químicas de frutos en estado verde y maduro de tres chiles nativos. En el último capítulo, se compararon variables agronómicas de seis chiles nativos de Oaxaca cultivados en invernadero, cuyas características pueden ser útiles para la selección de materiales, y para fines de conservación y mejoramiento genético. Los dos últimos capítulos fueron presentados en foros académicos y publicados en revistas de difusión científica, en cumplimiento al objetivo de retribución social y acceso universal al conocimiento establecido para los becarios CONACYT.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agrawal, G. K. y Rakwal, R. (Eds.) (2012) Seed Development: OMICS Technologies toward Improvement of Seed Quality and Crop Yield. Springer. USA. 576p.
- Aguilar-Meléndez, A., Morrell, P. L., Roose, M. L., & Seung-Chul, K. (2009) Genetic diversity and structure in semiwild and domesticated chiles (*Capsicum annuum*; Solanaceae) from Mexico. *American Journal of Botany*, 96(6):1190-1209. [doi:10.3732/ajb.0800155](https://doi.org/10.3732/ajb.0800155)
- Aguilar-Rincón, V. H., Corona, T., López P., Latournerie, L., Ramírez, M., Villalón, H. y Aguilar, J. A. (2010) Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Andueza-Noh, R. H., Latournerie-Moreno, L., Moran-Vázquez, N., Cervantes-Ortiz, F., Mendoza-Elos, M. y Rangel-Lucio, José (2017) Respuesta fisiológica de la semilla de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) al almacenamiento. *Acta Universitaria* 27(6): 22-29. doi: 10.15174/ au.2017.1395
- Alejo-Santiago G., Luna-Esquivel, G., Sánchez-Hernández, R., Salcedo-Pérez, E., García-Paredes, J. D. y Jiménez-Meza, V. M. (2015) Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 21(3): 215-227. doi:10.5154/r.rchsh.2014.04.015
- Ayala-Villegas, M. J., Ayala-Garay, Ó. J., Aguilar-Rincón, V. H. y Corona-Torres, T. (2014) Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:79–87.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2008) Fundamentos de fisiología vegetal. 2a Edición. McGraw-Hill Interamericana, España, 651p.
- Barcchenger W. D. & Bosland, P. W. (2016) Exogenous applications of capsaicin inhibits seed germination of *Capsicum annuum*. *Scientia Horticulturae* 203: 29-31. [doi:10.1016/j.scienta.2016.03.009](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.009)
- Borges-Gómez L., Cervantes, L., Ruiz, J., Soria, M., Reyes, V. & Villanueva, E. (2010) Capsaicinoids in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under various humidity and nutritional conditions. *Terra latinoamericana* 28: 35-41
- Campos, H., Trejo, C., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Conde-Martinez, F. V. & Cruz-Ortega, M. R. (2014) Stomatal and non-stomatal limitations of bell pepper (*Campsicum annuum* L.) plants under water stress and re-watering: Delayed restoration of photosynthesis during recovery. *Environmental and Experimental botany* 98:56-64. doi:10.1016/j.envexpbot.2013.10.015

- Chuncho G., Chuncho C., y Aguirre, Z. (2019) Anatomía y morfología vegetal. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 134p.
- Cruz-Andrés, O. R., Pérez-Herrera, A., Martínez-Gutiérrez, G. A. & Morales, I. (2018) Macro tunnels coverings and their effect on the nutraceutical properties of “chile de agua”. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(4), 555-558. doi:[10.35196/rfm.2018.4-A.555-558](https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4-A.555-558)
- Cruz-Lázaro, E. D. L., Márquez-Quiroz, C., Osorio-Osorio, R., Preciado-Rangel, P. y Márquez-Hernández, C. (2017). Caracterización morfológica *in situ* de chile silvestre Pico de paloma (*Capsicum frutescens*) en Tabasco, México. *Acta universitaria* 27(2), 10-16. doi: 10.15174/ au.2017.1083
- Elizondo-Cabalceña E. y Monge-Pérez J.E. (2016) Morphological characterization of 12 sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes grown under greenhouse conditions in Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 29(3): 60-72.
- Escalera-Ordaz, A. K., Guillén-Andrade, H., Lara-Chávez, M. B. N., Lemus-Flores, C., Rodríguez-Carpena, J. G. y Valdivia-Bernal, R. (2019). Caracterización de variedades cultivadas de *Capsicum pubescens* en Michoacán, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(SPE23), 239-251.
- Espitia-Hernández, P., Ruíz-Torres, N. A., Vázquez-Badillo, M. E. y Sánchez-Aspeytia, D. (2019) Respuesta fisiológica de semillas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) a reguladores de crecimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(4):829-837.
- Fernández, M. E. y Gyenge, J. E. (eds) (2010) Técnicas de medición en ecofisiología vegetal: conceptos y procedimientos. Buenos Aires: Ediciones INTA. 140p.
- García-Gaytán, V., Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Baca-Castillo, G. A. & García-Morales, S. (2017a) The chilhuacle chili (*Capsicum annuum* L.) in Mexico: Description of the variety, its cultivation, and uses. *Hindawi* 2017, 1-13. [dio:10.1155/2017/5641680](https://doi.org/10.1155/2017/5641680)
- Govindaraj, M., Vetriventhan, M., & Srinivasan, M. (2015) Importance of genetic assessment in crop plants and its recent advances; an overview of its analytical perspectives. *Hindawi*, 1-14.
- International Rules for Seed Testing (ISTA) (2015) Zurich, Switzerland International Seed Testing Association. 243p.
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute)(1995) Descriptores para *Capsicum* spp. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación Relativos a los Vegetales, Taipei, Taiwán y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 52 p.

- Izquierdo, J. y Granados-Ortiz, S. (Eds) (2011) Producción artesanal de semillas de hortalizas para la huerta familiar. Manual Técnico. Fao 98p.
- Kraft, K. H., Luna-Ruiz, J. J. y Gepts, P. (2010) Different seed selection and conservation practices for fresh market and dried chile farmers in Aguascalientes, Mexico. *Economic Botany* 64(4):318–328. doi: 10.1007/s12231-010-9136-x
- Leyva, O. R., Andrés, P., Del Valle, D., Meneses, I., Murguía, J., Galindo, M. E., López, H., Serna, R., Del Rosario, L., Lee, H.E., Sierra, M., y Espinoza, A. (2018) Caracterización morfológica de poblaciones de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) en la región centro del estado de Veracruz, México. *Revista Bio Ciencias*, 5, 1-11.
- López, P., Rodríguez, R. & Bravo, E. (2016) Economic impact of the huacle chile (*Capsicum annum* L) in the state of Oaxaca. *Revista Mexicana de Agronegocios* 20(38): 317-328.
- López, P. y Castro, F. H. (2006) La diversidad de los chiles (*Capsicum* spp., Solanaceae) de Oaxaca. En López, P. y Montes, S. (Eds), *Avances de investigación de la red de hortalizas del SINAREFI*, 135-178pp. Instituto Nacional de Investigaciones Forestal, Agrícola y Pecuarias, Campo experimental bajo. Celaya, Guanajuato, México.
- Martínez-Sánchez, D., Pérez-Grajales, M., Rodríguez-Pérez, J. E. & Moreno, E. del C. (2010) Collection and morphological characterization of 'water chilli' pepper (*Capsicum annum* L.) in Oaxaca, Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(3):169-176. doi:[10.5154/r.rchsh.2010.16.021](https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.16.021)
- Melgarejo, L.M. (ed.) (2012) Ecofisiología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia, 147p.
- Metin, S., Yazar, A. & Tekin, S. (2019) Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae* 245(2019): 280-288. doi:[10.1016/j.scienta.2018.10.037](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.037)
- Montaño-Lugo, M. L., Velasco, V. A., Ruíz, J., Campos, G. V., Rodríguez, G. & Martínez, L. (2014) Contribution to ethnobotanical knowledge of the chile water (*Capsicum annum* L.) in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(3): 503-511. doi:[10.29312/remexca.v5i3.953](https://doi.org/10.29312/remexca.v5i3.953)
- Moo-Muñoz A. J., Ayala-Garay, O. J., Latournerie-Moreno, L., Tzec-May, Y. A. & Pinzón-López, L. L. (2016) Effect of maturity and drying of *Capsicum chinense* Jacq. seeds on the germination and physiological quality of the seedling. *Agroproductividad* 9(1):63-67.
- Morales-Fernández, S. D., Moreno-Velázquez, D., Tinidad-De Jesús, S., Vázquez-Cruz, F., Ibáñez-Martínez, A. y Tobar-Reyes, J. R. (2020) Fenología y contenido de

capsaicinoides en chiles producidos en condiciones de invernadero. *Revistas Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(3):663-675.

- Moreno, E. del C., Mora, R., Sánchez, F. & García-Pérez, V. (2011) Phenology and yield of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) hybrids grown hydroponically. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(2):5-18.
- Narez-Jiménez C. A., Cruz-Lázaro, E., Gómez-Vázquez, A., Márquez-Quiroz, C. & García-Alamilla, P. (2014) Collection and *in situ* morphological characterization of peppers (*Capsicum* spp.) cultivated in Tabasco, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20(3): 269-281.
- Pablo, E., Mejía, J. A., Carballo, A., García, G., Aguilar, V. H. y Corona, T. (2009) Calidad de semillas en colectas de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) de los valles centrales de Oaxaca, México. *Agricultura Técnica en México* 35:257–266.
- Pérez, L. M., Castañón, G., Ramírez, M., & Mayek-Pérez, N. (2015) Advances and perspectives about the study of the origin and genetic diversity of *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4):117-128.
- Pérez-Vargas, H. M., Vidal-Durango, J. V. y Marrugo-Negrete, J. L. (2014) Evaluación de la capacidad acumuladora de mercurio en ají (*Capsicum annuum*). *Revista de Salud Pública* 16(6):897-909. [doi:10.15446/rsap.v16n6.31466](https://doi.org/10.15446/rsap.v16n6.31466)
- Pino, M. T., Campos, A., Saavedra, J., Álvarez, F., Salazar, C., Hernández, C., Soto, S., Estay, P., Vitta, N., Escaff, M., Pabón, C. y Zamora, O. (2018). Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 360, 110 p.
- Quevedo, M. y Laurentin, H. (2020). Caracterización fenotípica de tres cultivares de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.) venezolano. *Agronomía Mesoamericana* 31(3): 718-730.
- Quesada, G. (2015) Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Cosatarricense* 39(1): 25-36.
- Quintal, W. C., Pérez-Gutiérrez, A., Latournerie, L., May-Lara, C., Ruiz, E. & Martínez, A. J. (2012) Water use, water potential and yield of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(2):155-160.
- Ramalho do Rêgo, E., Monteiro do Rêgo, M. & Luiz Finger, F. (2016) Production and Breeding of Chilli Peppers. Springer international Publishing. 134p.
- Ramírez, U. I., Cervantes, F., Montes, S., Raya, J. C., Cibrián, A. y Andrio, E. (2018). Diversidad morfológica del chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) de

Querétaro y Guanajuato, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 9(6), 1159-1170.

- Rodríguez, I. M., Ramírez, M. O. y Ramírez, E. D. J. (2020) Metabolómica del chile habanero (*Capsicum annuum* Jacq.) de la península de Yucatán. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. CIATEJ. México. 347p.
- Salazar, C. y Hernández, C. (2018). Respuesta a estrés hídrico controlado del pimiento durante la maduración del fruto. *Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 59-68 pp.
- Sánchez-Moreiras A. M. & Reigosa, M. J. (Eds) (2018) *Advances in plant ecophysiology techniques*. Springer. 497 p.
- Santiago-Luna, E. G., Carrillo-Rodríguez, J. C., Chávez-Servia, J. L., Raymundo-Enríquez, V., y Villegas-Aparicio, Y. (2016) Variación fenotípica en poblaciones de chile tusta. *Agronomía Mesoamericana* 27(1):139-149. doi:[10.15517/am.v27i1.21893](https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21893).
- Silva, A. Z., Wamser, F., Hiyoshi, R., Cecilio, A. B. y Mendoza-Cortez, J. W. (2017) síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Agrociencias Uruguay* 21(2):31-43.
- Slafer, G.A., Hall, A. J. y Miralles, D. J. (2018) Aportes argentinos a la ecofisiología de cultivos. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA*, 38(2): 137-146.
- Srinivasa, N.K., Shivashankara, K. S. & Laxman, R. H. (Eds.) (2016) *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*. New York: Springer. 368p.
- Tapia-Vargas M., Larios-Guzmán, A., Días-Sánchez, D. D., Ramírez-Ojeda, G., Hernández-Pérez, A., Vidales-Fernández, I. y Guillén-Andrade, H. (2016) Producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum Chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 39(3): 241-245).
- Urbina-Sánchez, E., Cuevas-Jiménez, A., Reyes-Alemán, J. C., Alejo-Santiago, G., Valdez-Aguilar, L. A., & Vázquez-García, L. M. (2020) Nutrient solution added with NH<sub>4</sub><sup>+</sup> for hydroponic production of huacle chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 43(3):291-298. [doi:10.35196/rfm.2020.3.291](https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.291)
- Valadez, Y.M., Olivares, E., Vázquez, R.E., Esparza-Rivera, J.R., Preciado-Rangel, P., Valdez-Cepeda, R. D., y García-Hernández, J.L. (2016) Calidad y concentración de capsaicinoides en genotipos de chiles Serrano (*Capsicum annuum* L.) producidos bajo fertilización orgánica. *Revista internacional de botánica experimental* 85:21-26.

- Valentín-Miguel, M. C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J. E., & Pérez-Grajales, M. (2013) Macronutrient extraction in pepper “chile de agua” (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(4):71-78. doi: [10.5154/r.rchsh.2012.02.013](https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.013).
- Villota-Cerón, D., Bonilla-Betancourt, M. L., Carmen-Carrillo, H., Jaramillo-Vásquez, J., y García-Dávila, M. A. (2012). Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. existentes en el Banco de Germoplasma activo de Corpoica CI Palmira, Colombia. *Acta Agronómica* 61(1):16-26.

## **CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS DE FRUTO Y SEMILLA DE CHILE HUACLE (*Capsicum annuum* L.) PRODUCIDO EN HIDROPONÍA.**

Fruit and seed characteristics of chili huacle (*Capsicum annuum* L.) produced in Hydroponics

**Artículo publicado en IDESIA (2019)**

### **Citar:**

SANJUAN-MARTÍNEZ, J., AQUINO-BOLAÑOS, T., ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D., CRUZIZQUIERDO, S. Características de fruto y semilla de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) producido en hidroponia. *Idesia* [online]. 2019, vol.37, n.2, pp.87-94. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200087>. ISSN 0718-3429.

### **Disponible en:**

<[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292019000200087&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292019000200087&lng=es&nrm=iso)>.

<https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v37n2/0718-3429-idesia-37-02-00087.pdf>



## Características de fruto y semilla de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) producido en hidroponía

*Fruit and seed characteristics of chili huacle  
(Capsicum annuum L.) produced in hydroponics*

Jair San Juan Martínez<sup>1</sup>, Teodulfo Aquino-Bolaños<sup>1</sup>,  
Yolanda Donají Ortiz-Hernández<sup>1\*</sup>, Serafín Cruz-Izquierdo<sup>2</sup>

### RESUMEN

El chile huacle (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza endémica de Oaxaca, México con bajo rendimiento. El objetivo de este estudio fue evaluar tres concentraciones de solución Steiner: 10, 15 y 20 meq L<sup>-1</sup> en las características morfológicas de frutos y en la calidad de las semillas del chile huacle, parámetros importantes para la producción y conservación de las especies. El experimento se llevó a cabo en macrotúnel con cubierta de polietileno y malla sombra al 30%. Se utilizó un diseño completamente al azar con 50 repeticiones por tratamiento, la unidad experimental fue una planta por bolsa de polietileno de 20 L con sustrato de agrolita®. Las variables evaluadas en fruto fueron: peso seco, largo, ancho, grosor de pericarpio. En semillas: peso y número de semillas, área, largo, ancho, peso de 1000 semillas, contenido de humedad, viabilidad, porcentaje de germinación y envejecimiento acelerado. Las características en el fruto y semillas del chile huacle fueron estadísticamente mayores ( $P \leq 0,05$ ) con la aplicación a las plantas de la solución Steiner de 20 meq L<sup>-1</sup>. Se produjeron frutos con mayor peso seco (5,56 g), largo (7,1 cm) y ancho (4,21 cm). Asimismo, las semillas fueron de mayor calidad física y fisiológica, mostrando un área de 15,9 mm<sup>2</sup>, largo de 4,9 mm, 6,19 g en el peso de 1,000 semillas, plántulas con la radícula de mayor tamaño (5,02 cm), 96% de viabilidad y germinación. En los tres tratamientos, el envejecimiento acelerado de las semillas fue del 80% de germinación, característica deseable para la reproducción y conservación de la especie.

**Palabras clave:** envejecimiento acelerado, germinación, viabilidad de la semilla, soluciones nutritivas, recurso fitogenético.

### ABSTRACT

The Huacle chili (*Capsicum annuum* L.) is an endemic vegetable from Oaxaca, Mexico with low yield. The objective of this study was to evaluate three concentrations of Steiner solution: 10, 15 and 20 meq L<sup>-1</sup> in the morphometric characteristics of fruits and in the quality of Huacle chili seeds, important parameters for the production and conservation of the species. The experiment was carried out in macro tunnel with polyethylene cover and 30% shade mesh. A completely random design with 50 repetitions per treatment was used, the experimental unit was one plant per 20 L polyethylene bag with agrolita® substrate. The variables evaluated in fruit: dry weight, length, width, thickness of pericarp. In seeds: weight and number of seeds, area, length, width, weight of 1,000 seeds, moisture content, viability, percentage of germination and accelerated aging. The characteristics in the fruit and seeds of the Huacle chili were statistically higher ( $P \leq 0,05$ ) with the application to the plants of the Steiner solution of 20 meq L<sup>-1</sup>. Fruits with higher dry weight (5,56 g), length (7,1 cm) and width (4,21 cm). Likewise, the seeds were of greater physical and physiological quality, showing an area of 15,9 mm<sup>2</sup>, length of 4,9 mm, 6,19 g in the weight of 1,000 seeds, seedlings with the largest radicle (5,02 cm), 96% viability and germination. In all three treatments, the accelerated aging of the seeds was 80% germination, a desirable characteristic for the reproduction and conservation of the species.

**Key words:** accelerated aging, germination, seed viability, nutritive solutions, phylogenetic resource.

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIDIIR - Oaxaca). Hornos 1003. C.P. 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, Oaxaca, México.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Recursos Genéticos y Productividad - Fisiología Vegetal. Montecillo, Estado de México. México.

\* Autor para correspondencia/Corresponding author: yortiz@ipn.mx

## Introducción

El chile huacle o chilhuacle (*Capsicum annuum* L.), es endémico y cultivado en la región de la Cañada de Oaxaca, México, presenta variantes en el color de fruto: negro, amarillo y rojo (López-López *et al.*, 2016). En el año 2015 se registraron 10 ha cultivadas a cielo abierto bajo un sistema de riego rodado con un rendimiento promedio menor a una tonelada por hectárea de chile deshidratado (López-López *et al.*, 2016).

La semilla que emplean los productores para la producción de chile huacle, procede de frutos cosechados en el ciclo inmediato anterior y la selección de los mismos se realiza posterior al proceso del deshidratado, para ello eligen los mejores frutos en cuanto a forma, tamaño y color, pero en ningún caso se efectúa alguna estrategia para incrementar su calidad.

La producción del género *Capsicum* bajo condiciones de agricultura protegida y sistemas hidropónicos puede ser una alternativa viable (Tapia-Vargas *et al.*, 2016). La concentración de la solución nutritiva es un factor que influye en el número y tamaño de los frutos en chile de agua (Valentín-Miguel *et al.*, 2013) y chile habanero (Alejo-Santiago *et al.*, 2015).

Por otra parte, la deficiencia de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Boro (B), Hierro (Fe) y Zinc (Zn) en el género *Capsicum* puede reducir la floración, la fructificación y el tamaño de los frutos (Ramalho do Rêgo *et al.*, 2016). Las fuentes de nutrimentos para las plantas tienen efecto en el tamaño y peso de los frutos de chile (Valadez Sánchez *et al.*, 2016). La deficiencia de P y K en los cultivos de hortalizas ocasionan poco desarrollo de semillas y semillas vanas (Izquierdo y Granados Ortiz, 2011).

La semilla juega un papel fundamental en la reproducción y en la determinación del valor económico de las diferentes especies al igual que en su conservación, porque las semillas de alta calidad conservan su poder germinativo y resisten condiciones adversas de almacenamiento (Ayala-Villegas *et al.*, 2014). La calidad de una semilla está determinada por sus propiedades físicas y fisiológicas como lo son: peso, contenido de humedad, viabilidad, germinación y vigor (ISTA, 2012). La viabilidad es un indicador del potencial metabólico de la semilla; la cual se evalúa durante las primeras horas después de la hidratación estimando

indirectamente el potencial germinativo (Copeland y McDonald, 2001).

Basado en los antecedentes, en esta investigación se tuvo como objetivo comparar tres concentraciones de solución Steiner en las características morfológicas de frutos y en la calidad de semillas del chile huacle (*Capsicum annuum* L.).

## Materiales y métodos

La investigación se realizó de enero a junio de 2018 bajo macrotúnel de 240 m<sup>2</sup> con cubierta de polietileno y malla sombra al 30% en los Valles Centrales de Oaxaca (17° 01' 31,45" LN, 96° 43' 12,7" LO) a 1526 msnm. La siembra del almácigo se realizó el 1° de enero de 2018 en charolas de poliestireno de 200 cavidades utilizando como sustrato turba *Sphagnum*® y agrolita® en proporción 2:1. Cada 24 h se aplicó un riego con solución Steiner al 25%. Cuando las plántulas alcanzaron en promedio 15 cm de altura y de tres a cinco hojas verdaderas, se realizó el trasplante colocando una planta por bolsa de polietileno de 20 L de capacidad utilizando como sustrato Agrolita®.

Los tratamientos evaluados fueron tres concentraciones: 20, 15 y 10 en meq L<sup>-1</sup> de solución Steiner (Tabla 1). Las fuentes de fertilizantes fueron: nitrato de calcio Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, nitrato de potasio KNO<sub>3</sub>, sulfato de magnesio MgSO<sub>4</sub> y ácido fosfórico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

Se utilizó un diseño completamente al azar con 50 repeticiones por tratamiento, la unidad experimental fue una planta de chile huacle por bolsa, que se distribuyeron en filas de 1,2 m de ancho por 0,6 m de separación entre bolsas. Se tomaron al azar 10 plantas de cada tratamiento para obtener 50 frutos fisiológicamente maduros de cada tratamiento, donde se evaluaron las variables: peso seco, largo, ancho, grosor de pericarpio y número de semillas. Se consideró como parámetro de fruto

Tabla 1. Tratamientos aplicados a chile huacle bajo macrotúnel.

Tratamiento (meq L <sup>-1</sup> )	Cationes (meq L <sup>-1</sup> )			Aniones (meq L <sup>-1</sup> )		
	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
20	7	9	4	12	1	7
15	5,25	6,75	3	9	0,75	5,25
10	3,5	4,5	2	6	0,5	3,5

K<sup>+</sup> = potasio, Ca<sup>2+</sup> = calcio, Mg<sup>2+</sup> = magnesio, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = nitratos, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> = ácido fosfórico, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = sulfatos.

fisiológicamente maduro cuando se presentó de un 80 a 100% en el fruto el cambio de color de verde a café (Figura 1A y 1B).

El peso seco se obtuvo con una balanza analítica (Ohaus Plus mod. AP310, USA). Posterior a la cosecha los frutos fueron secados en una estufa (Cole-Parmer mod. 05015\_58, USA), a 70 °C durante 72 h. El largo, ancho y grosor de pericarpio (Figura 1C) se midió con un vernier digital  $\pm 0,01$  mm (MITUTOYO mod. 500-196-30, JPN).

Asimismo, se contaron ocho repeticiones de 100 semillas con morfología normal y testa entera de cada tratamiento y se pesaron en una balanza analítica (Ohaus Plus AP310, USA) con precisión de 0,0001 g. Para cada tratamiento se calculó: media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación, este último fue menor del 4%.

El contenido de humedad de las semillas se determinó en dos muestras aleatorias de 2 g de cada tratamiento, las cuales fueron expuestas en una estufa (Cole-Parmer mod. 05015\_58, USA) a 103 °C durante  $17 \pm 1$  h. Se registró el peso fresco y posterior al secado se obtuvo el peso seco, y se calculó el contenido de humedad (ISTA, 2012).

La viabilidad de las semillas se realizó mediante la prueba de cloruro de tetrazolio, se utilizaron 100 semillas de cada tratamiento, las cuales fueron embebidas en agua destilada durante 12 h, posteriormente se realizó un corte longitudinal y fueron sumergidas en solución de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (1%, p/v).

La prueba de germinación para cada tratamiento se hizo con cuatro repeticiones de 25 semillas, que se colocaron sobre toallas de papel húmedas (Sanitas®, Kimberly Clark) en cajas de plástico transparente bajo cámara de germinación SD8900

(Seedbuero, USA) a  $25 \pm 1$  °C con luz constante durante 14 días. Posteriormente, se realizó el conteo de semillas germinadas para obtener el porcentaje de germinación y aleatoriamente en 20 plántulas se midió la longitud de plúmula y radícula con un escalímetro Kaiser K-01.

El envejecimiento acelerado se realizó con 100 semillas de cada tratamiento sometidas a  $45 \pm 1$  °C y humedad relativa del 100%, por un periodo de 72 h (ISTA, 2012). Posteriormente fueron germinadas y se calculó el porcentaje de germinación y longitudes de plúmula y radícula como se describió anteriormente para las semillas no sometidas a envejecimiento.

Los análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0,5$ ) fueron analizados para cada variable mediante el programa SAS® versión 9,0 (SAS, 2002). Las asociaciones entre variables se realizaron mediante un análisis de correlación ( $P \leq 0,01$  y  $0,05$ ) con este mismo programa. Anterior a los análisis los porcentajes de germinación fueron transformados mediante la función arcoseno.

## Resultados y discusión

### Características físicas del fruto

Los datos obtenidos mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ), con 20 meq L<sup>-1</sup> respecto a las concentraciones de 15 y 10 meq L<sup>-1</sup> se tuvo mayor respuesta para las variables: peso seco, largo y ancho de fruto (Tabla 2), similar a lo encontrado en chile serrano (Cruz-Crespo *et al.*, 2014), quienes observaron que a mayor concentración de la solución nutritiva fue mayor la acumulación de materia seca y el tamaño de fruto, similar también a lo reportado por Bosland y Votava (2012) para otros tipos de chiles.



Figura 1. Fruto fresco de chile huacle: A) antes y B) después de madurez fisiológica. C) Fruto seco: a) ancho, b) largo y c) pericarpio.

Tabla 2. Características físicas de frutos de chile huacle.

Tratamiento (meq L <sup>-1</sup> )	Peso seco (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor de pericarpio (mm)	Número de semillas	Peso de semillas (g)
20	5,56 a	7,10 a	4,21 a	0,31 a	203 a	1,25 a
15	4,82 b	6,75 a	3,80 b	0,30 a	188 a	1,12 a
10	4,48 b	6,05 b	3,74 b	0,29 a	173 a	1,0 a

Promedios con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente (Tukey, 0,05).

Todas las correlaciones entre las variables físicas del fruto (Tabla 3) fueron altamente significativas ( $P \leq 0,01$ ). Con 20 meq L<sup>-1</sup> la correlación presentada en la interacción ancho con el número y peso de semillas fueron mayor a las otras dos concentraciones, debido probablemente a la mayor disponibilidad de nutrientes para la planta y a la mayor cantidad y peso de semillas. Al respecto, Copeland y McDonald (2001) mencionan que el aumento en el peso de las semillas es debido a la acumulación de nutrientes y agua, asociado con la rápida división y elongación celular, lo cual probablemente sucedió en este estudio. Asimismo, Thanopoulos *et al.* (2013) observaron que los frutos de chile pimiento con semillas fueron de mayor peso y tamaño en comparación a los frutos sin semillas.

### Características físicas de las semillas

En el análisis de varianza de las variables de semillas (Tabla 4), las diferencias fueron altamente significativas ( $P \leq 0,01$ ), lo cual implica que las características de la semilla variaron de acuerdo a la concentración de la solución Steiner.

Kraft *et al.* (2010) mencionan que el tamaño de la semilla es el principal criterio utilizado por agricultores de chiles en México para la selección de

Tabla 3. Correlaciones en características físicas de fruto del chile huacle.

Variable	20 (meq L <sup>-1</sup> )	15 (meq L <sup>-1</sup> )	10 (meq L <sup>-1</sup> )
PSF vs L	0,700**	0,693**	0,780**
PSF vs A	0,877**	0,625**	0,711**
PSF vs Ns	0,792**	0,707**	0,559**
PSF vs Ps	0,793**	0,707**	0,546**
L vs A	0,573**	0,564**	0,672**
A vs Ns	0,851**	0,627**	0,738**
A vs Ps	0,853**	0,624**	0,726**

\*\* = Altamente significativo ( $P \leq 0,01$ ). PSF= peso seco de fruto, L= largo, A = ancho, Ns = número de semillas, Ps = peso de semillas.

la semilla que utilizarán en los nuevos ciclos. En la Tabla 5, se muestra que con 20 meq L<sup>-1</sup>, los valores de las variables: área, largo y peso de 1,000 semillas fueron mayores con respecto a los otros tratamientos. En cuanto al tamaño de las semillas estas fueron de menor tamaño respecto a lo reportado por Bosland y Votava (2012), quienes mencionan que una semilla típica de *Capsicum annuum* tiene aproximadamente 1 mm de espesor, 5,3 mm de largo, 4,3 mm de ancho y una superficie de 33 mm<sup>2</sup>. Con respecto al peso de las 1,000 semillas, en todos los tratamientos fueron similares a los encontrados por Pablo *et al.* (2009) en diferentes colectas de chile de agua con fluctuación de 4,84 a 6,24 g por 1,000 semillas.

### Contenido de humedad

Las semillas de los tres tratamientos presentaron en promedio 7% de humedad, valor similar a

Tabla 4. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables de la semilla de chile huacle.

Variable	Cuadrados Medios	Significancia	CV
Área	155,616	**	10,22
Largo	3,328	**	5,75
Ancho	3,211	**	3,92
Peso	0,003	**	3,3

CV= Coeficiente de variación, \*\*altamente significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Tabla 5. Tamaño y peso de semillas de chile huacle.

Tratamiento (meq L <sup>-1</sup> )	Área (mm <sup>2</sup> )	Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso de 1,000 semillas (g)
20	15,9 a	4,9 a	4,0 a	6,19 a
15	15,5 b	4,8 b	4,0 a	5,99 b
10	14,7 c	4,7 c	3,9 b	5,79 c

Promedios con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente (Tukey, 0,05).

lo reportado en otros tipos de chiles (*Capsicum annuum* L.; Ayala-Villegas *et al.*, 2014) y en jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.; Da Silva Almeida *et al.*, 2014), porcentajes cercanos al rango óptimo (8 a 10%) indicado por Reveles Hernández *et al.* (2013) para el almacenamiento de semillas de chiles.

### Viabilidad

En los tres tratamientos, la prueba de cloruro de tetrazolio mostró un porcentaje promedio del 78 al 96% de viabilidad. La solución nutritiva de 20 meq L<sup>-1</sup>, mostró mayor tonalidad en la tinción de cotiledones y embrión, factores considerados para semillas viables con alto vigor (Figura 2). Lo cual sucede al incrementarse la actividad de las deshidrogenasas durante la fase inicial de la germinación, al iniciar la liberación de iones hidrógeno que reducen la solución de tetrazolio y se sintetiza el formazán, éste compuesto es rojo y demuestra la presencia de células vivas en los tejidos seminales (Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2011).

### Germinación y envejecimiento acelerado

En la comparación de medias Tukey se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en las variables germinación, plúmula y radícula

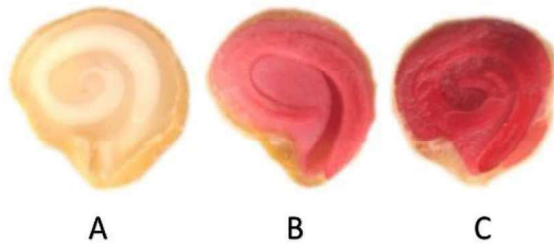


Figura 2. Viabilidad y vigor de las semillas de chile huacle tratadas con cloruro de tetrazolio: (A) no viable, (B) viable con vigor medio y (C) viable con alto vigor.

(Tabla 6), características que variaron debido a la concentración solución Steiner. El mayor porcentaje de germinación fue con la solución Steiner (20 meq L<sup>-1</sup>), debido también al mayor peso de las semillas (Tabla 5), es una correlación consistente con lo encontrado por Da Trindade-Lessa *et al.* (2015) en semillas de *Enterolobium contortisiliquum*. Asimismo, el porcentaje de germinación en todos los tratamientos fue mayor al 43% reportado en semillas de chile amashito (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*; González-Cortés *et al.*, 2015) y similares al 81% de chile habanero (Garruña-Hernández *et al.*, 2014) y con el 95% en chile pimienta (Kim *et al.*, 2014) y la mayor longitud de radícula (Tabla 6) por efecto de la solución Steiner (20 meq L<sup>-1</sup>) fue similar a los 5,29 cm encontrado en semillas de chile de agua por Pablo *et al.* (2009).

Asimismo, al incrementar la concentración de solución Steiner, se redujo el porcentaje de germinación de 6 a 12% después de ser sometidas a envejecimiento acelerado (Tabla 6), debido probablemente a que el envejecimiento conduce a la disminución de la síntesis de ADN y al aumento en la degradación del mismo (Hussein *et al.*, 2011). Sin embargo, aún con la reducción en el porcentaje de germinación después del envejecimiento acelerado y de acuerdo a González Rodríguez *et al.* (2014), las semillas de los tres tratamientos pueden considerarse con alto vigor porque la germinación fue del 80%. Por otra parte, no hubo diferencias significativas en la longitud de la radícula ni en la germinación con el envejecimiento acelerado; en cambio, si lo hubo en las semillas no sometidas a envejecimiento (Tabla 6). Los resultados obtenidos son consistentes en cuanto a la reducción en el porcentaje de germinación del chile huacle después de haber sido sometidas al envejecimiento acelerado como en jitomate (*Lycopersicon esculentum*; da Silva Almeida *et al.*, 2014).

Tabla 6. Porcentaje de germinación y características de plántulas de chile huacle.

Tratamiento (meq L <sup>-1</sup> )	Sin envejecimiento			Con envejecimiento		
	Germinación %	Plúmula (cm)	Radícula (cm)	Germinación %	Plúmula (cm)	Radícula (cm)
20	96 a	2,54 a	5,02 a	84 a	2,64 a	1,52 a
15	87 b	2,65 a	4,05 b	81 a	2,48 ab	1,09 a
10	80 c	2,40 a	3,79 b	80 a	2,27 b	1,12 a

Promedios con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente (Tukey, 0,05).

## Conclusiones

Las plantas tratadas con la solución Steiner de 20 meq L<sup>-1</sup> aplicada a plantas de chile huacle produjeron frutos con mayor peso seco (5,56 g), largo (7,1 cm) y ancho (4,21 cm). Asimismo, semillas obtenidas con la misma concentración aumentaron su calidad física y fisiológica mostrando un área de 15,9 mm<sup>2</sup>, largo de 4,9 mm, 6,19 g en el peso de 1,000 semillas, 96% de germinación y plántulas con la radícula de mayor tamaño (5,02 cm) respecto a los obtenidos con los tratamientos de 15 y 10 meq L<sup>-1</sup> de la solución Steiner.

Las semillas de todos los tratamientos presentaron 80% de germinación posterior al envejecimiento

acelerado, considerando con ello a todas las semillas con alto vigor, característica deseable para su almacenamiento y preservación.

## Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional, por el financiamiento otorgado al proyecto de chile huacle SIP 20180619. Al CONACyT por la beca otorgada para estudios de posgrado del estudiante. Dr. Serafín Cruz Izquierdo, por todas las facilidades brindadas al estudiante de posgrado durante su estancia de Investigación en el Colegio de Postgraduados.

## Literatura Citada

- Alejo-Santiago G., Luna-Esquivel, G., Sánchez-Hernández, R., Salcedo-Pérez, E., García-Paredes, J.D., Jiménez-Meza, V.M. 2015. Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 21(3): 215-227.
- Ayala-Villegas, M.J., Ayala-Garay, O.J., Aguilar-Rincón, V.H., Corona-Torres, T. 2014. Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annum* L. durante su desarrollo en el fruto. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 79-87.
- Bosland, P.W., Votava, E.J. 2012. Peppers: Vegetable and Spice Capsicums (2nd ed). CABI, USA. 230 p.
- Copeland, L.O., McDonald, M.B. 2001. Principles of Seed Science and Technology (4th ed.). Springer, USA. 467 p.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P., Alejo-Santiago, G. 2014. Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 289-295.
- Da Silva Almeida, A., Deuner, C., Terra Borges, C., Meneghelo, G.E., Madruga de Tunes, L., Amaral Villela, F. 2014. Accelerated aging in tomato seeds. *American Journal of Plant Sciences* 05: 1651-1656.
- Da Trindade-Lessa, B.F., Nobre-de Almeida, J.P., Lobo-Pinheiro, C., Melo-Gomes, F., Medeiros-Filho, S. 2015. Germinación y crecimiento de plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* en función del peso de la semilla y las condiciones de temperatura y luz. *Agrociencia* 49: 315-327
- Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L., Ayala-Garay, O., Santamaría, J.M., Pinzón-López, L. 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia* 48: 413-423.
- González-Cortés, N., Jiménez Vera, R., Guerra Baños, E.C., Silos Espino, H., Payro de la Cruz, E. 2015. Germinación del chile amashito (*Capsicum annum* L. var. *Glabriusculum*) en el sureste mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11: 2211-2218.
- González Rodríguez, F., León Gómez, D., Borges Gómez, L., Pinzón López, L., Magaña Magaña, M., Sangines García R., Urrestarazu Gavilán, M. 2014. Envejecimiento acelerado sobre la calidad de semillas de maíz para producir germinados para forraje alternativo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1487-1493.
- Gutiérrez-Hernández, G.F., Vázquez-Ramos, J.M., García-Ramírez, E., Franco-Hernández, M.O., Arellano-Vázquez, J.L., Durán-Hernández, D. 2011. Efecto del envejecimiento artificial de semillas de maíces criollos azules en su germinación y huella genómica. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 77-84.
- Hussein, H.J., A.I. Shaheed y O.M. Yasser. 2011. Effect of accelerated aging conditions on viability of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. *Euphrates Journal of Agriculture Science* 3: 1-9.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2012. International Rules for Seed Testing Zurich, Switzerland ISBN-13978-3-906549-68-2.
- Izquierdo J., Granados-Ortiz, S. 2011. Producción artesanal de semillas de hortalizas para la huerta familiar. Manual Técnico. FAO. 98p.
- Kim, G., Kim, G.H., Lohumi, S., Kang, J.S., Cho, B.K. 2014. Viability *Physics and Technology* 67: 214-221.
- Kraft, K. H., Luna Ruiz, J.J., Gepts P. 2010. Different seed selection and conservation practices for fresh market and dried chile farmers in Aguascalientes, Mexico. *Economic Botany* 64: 318-328.
- López-López, P., Rodríguez-Hernández, R., Bravo-Mosqueda, E. 2016. Impacto económico del chile huacle (*Capsicum annum* L.) en el estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agronegocios* 38: 317-328.
- Pablo Carrillo, E., Mejía Contreras, J. A., Carballo Carballo, A., García de los Santos, G., Aguilar Rincón, V.H., Corona Torres T. 2009. Calidad de semillas en colectas de chile de agua (*Capsicum annum* L.) de los valles centrales de Oaxaca, México. *Agricultura Técnica en México* 35: 257-266.
- Ramalho do Rêgo E., Monteiro do Rêgo, M., Luiz Finger, F. 2016. Production and Breeding of Chilli Peppers. Springer international Publishing. 134 p.

- Reveles Hernández, M., Velásquez Valle, R., Reveles Torres L.R., Mena Covarrubias, J.  
2013. Selección y conservación de semilla de chile: primer paso para una buena cosecha. *Folleto Técnico. Número 51. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP.* 43 p.
- SAS (Statistical Analysis System).  
2002. User's Guide, Volumes 1 and 2 SAS/ETS 9. Institute Inc. Cary, NC, EUA. 2143 p.
- Tapia-Vargas M., Larios-Guzmán, A., Días-Sánchez, D.D., Ramírez-Ojeda, G., Hernández-Pérez, A., Vidales-Fernández, I., Guillén-Andrade, H.  
2016. Producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum Chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 39(3): 241-245.
- Thanopoulos, C., Bouranis, D., Passam H.C.  
2013. Comparative development, maturation and ripening of seedless and seed-containing bell pepper fruits. *Scientia Horticulturae* 164: 573-577.
- Valdez Sánchez Y.M., Olivares Sáenz, E., Vázquez Alvarado, R.E., Esparza-Rivera, J.R., Preciado-Rangel, P., Valdez-Cepeda, R.D., García Hernández, J.L.  
2016. Calidad y concentración de capsaicinoides en genotipos de chiles Serrano (*Capsicum annum L.*) producidos bajo fertilización orgánica. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 85: 21-26.
- Valentín-Miguel M. C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J.E., Pérez-Grajales, M.  
2013. Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annum L.*). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(4): 71-78.

## **CAPÍTULO II. SEED AND SEEDLING QUALITY OF THREE CHILIS (*Capsicum annuum* L.) NATIVE TO OAXACA, MEXICO**

Qualidade de sementes e plântulas de três pimentas (*Capsicum annuum* L.)  
endêmicas de Oaxaca, México

**Artículo publicado en *Ciência Rural* (2020)**

### **Citar;**

SANJUAN-MARTÍNEZ, J., ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D., AQUINO-BOLAÑOS, T., CRUZIZQUIERDO. Seed and seedling quality of three chilis (*Capsicum annuum* L.) native to Oaxaca, Mexico. *Ciência Rural* [online]. 2020, v. 50, n. 9, e20190921. Available from:  
<<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190921>>. Epub 07 Aug 2020. ISSN 1678-4596.

### **Disponível:**

<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190921>  
<https://www.scielo.br/j/cr/a/Z6JTgcd85nVSCX3jHS4ws5B/?format=pdf&lang=en>





## Seed and seedling quality of three chilis (*Capsicum annuum* L.) native to Oaxaca, Mexico

Jair Sanjuan-Martínez<sup>1</sup>  Yolanda Donají Ortiz-Hernández<sup>1\*</sup>  Teodulfo Aquino-Bolaños<sup>1</sup>   
Serafin Cruz-Izquierdo<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR-Oaxaca), Santa Cruz Xoxocotlán, 71230, Oaxaca, México. E-mail: yortiz@ipn.mx. \*Corresponding author.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Recursos Genéticos y Productividad, Fisiología Vegetal, Montecillo, Estado de México, México.

**ABSTRACT:** The diversity of chilis in Oaxaca is one of the most extensive in Mexico. Growers select seeds in the traditional manner; information on its quality is unknown. The aim of this research was to compare the physical and physiological quality of seeds and seedlings of three native types to chili (Huacle, De agua and Pasilla) and of the commercial Green pepper as control. Fifteen variables were evaluated in seed and twelve in seedlings. The laboratory experiments were established under a completely randomized design. Means of the variables were compared using the Tukey test ( $\alpha=0.05$ ). Results showed that Pasilla chili had the highest values in seed size and weight, which was 1.44 g heavier than the control and 2.09 to 3.73 g higher than native types. Huacle chili and green pepper had a 90% germination rate, while chili De agua and Pasilla chili had germination rates of 51 and 38%, respectively. Huacle chili had the highest germination rate index (29.89) and seedling vigor index (992.25). The top highest values of number of normal seedlings were obtained in the control and Huacle chili seedlings (72 and 88%); also, the latter had the longest plumule (3.36 cm) and radicle (7.67 cm) values. Both Huacle and Pasilla chili seedlings had larger values in height, stem thickness, number of leaves, leaf area and slenderness index than De agua and Green pepper. Huacle chili had good physical and physiological quality similar to the seeds of the commercial Green pepper.

**Key words:** germination, morphometry seed, vigor, genotype.

## Qualidade de sementes e plântulas de três pimentas (*Capsicum annuum* L.) endêmicas de Oaxaca, México

**RESUMO:** Oaxaca é umas das regiões de maior diversidade de espécies de pimentas do México. Os agricultores selecionam sementes da maneira tradicional; informações sobre sua qualidade são desconhecidas. O objetivo desta pesquisa foi comparar a qualidade física e fisiológica de sementes e mudas de três tipos nativos de pimenta (Huacle, De Agua e Pasilla) e pimenta verde comercial como controle. Quinze variáveis foram avaliadas em sementes e doze em mudas. As experiências de laboratório foram estabelecidas sob um delineamento inteiramente casualizado. As médias das variáveis foram comparadas pelo teste de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). Os resultados mostraram que o Pasilla apresentou os maiores valores em tamanho e peso de sementes, 1,44 g mais pesado que o controle e 2,09 a 3,73 g maior que os demais tipos de pimenta nativa. A pimenta Huacle e a pimenta verde tiveram 90% de germinação de 90%, enquanto que De Agua e Pasilla foi de 51 e 38%, respectivamente. A pimenta Huacle apresentou os maiores índices de taxa de germinação (29,89) e de vigor de plântulas (992,25). Os maiores valores máximos no número de mudas normais foram obtidos no controle e na pimenta Huacle (72 e 88%). Além disso, este último apresentou os maiores valores de plúmula (3,36 cm) e radícula (7,67 cm). As mudas do Huacle e Pasilla apresentaram maiores valores em altura, espessura do caule, número de folhas, área foliar e índice de esbelto em relação à pimenta, De agua e ao controle. O Huacle apresentou boa qualidade física e fisiológica, semelhante às sementes da pimentão comercial.

**Palavras-chave:** germinação, morfometria de sementes, vigor, genótipo.

## INTRODUCTION

The genus *Capsicum* spp. includes around 30 species, of which *C. annuum*, *C. chinense* and *C. frutescens* are the most widely cultivated (MOQUAMMEL et al., 2016). The species *C. annuum* L. is the most widely distributed and important in

the world due to its different uses and its excellent adaptation (TOLEDO-AGUILAR et al., 2016).

In Mexico there is a great diversity of chilis with different physical, chemical and organoleptic characteristics (GONZÁLEZ-CORTÉS et al., 2015). In 2018 production of green fresh chilies in Mexico was 3.1 million t, a third of which was exported

to the United States and Europe (SIAP, 2018). In Oaxaca, 2519.6 ha were cultivated with chili in 2017, outstanding of which were Jalapeño, Serrano and Green pepper (SIAP, 2017), as well as native chilis: De agua, Pasilla and Huacle, among others.

Mexican chili growers use seed size as the selection criterion. In this respect, AYALA-VILLEGAS et al. (2014) stated that the profitability of a crop is related to seed quality, which involves genetic, phytosanitary, physical and physiological characteristics (BARCHENGER & BOSLAND, 2016).

Germination is the most critical phase of the plant life cycle (BARCHENGER & BOSLAND, 2016). In cultivated species there is a direct positive correlation between seed weight and seedling growth from emergence and lengthening of the hypocotyl up to detachment of the cotyledons (MORENO-PÉREZ et al., 2011).

Moreover, seedling quality can be evaluated by means of physical (height, stem diameter and weight), physiological (net assimilation rate, absolute growth rate and relative growth rate) and morphological (slenderness index) parameters (GARCÍA-MORALES et al., 2011; GUZMÁN-ANTONIO et al., 2012; CORTÉS-FLORES et al., 2016).

Due to the above and the scarce or non-existent information on seed quality and seedling

growth of native chilis to Oaxaca, the objective of this study was to compare physical and physiological quality of the seeds and seedlings of Huacle, Pasilla and De agua chilis.

## MATERIALS AND METHODS

### *Source and distinctive characteristics of plant material*

Seed of the native chilis was provided by growers of the region of Oaxaca where each chili originated. Chilis differed in color, odor, flavor and stage of maturity for consumption (Figure 1). Huacle chili, from San Juan Bautista, Cuicatlán, located at 17°48' N and 96°57' W, 620 m above sea level, is consumed dry. Its pericarp is smooth, shiny, dark brown in color and aromatic. De agua chili from Ocotlán de Morelos, Central Valleys of Oaxaca, located at 16°48' N and 96°40' W, 1500 m altitude, with average annual temperature of 26.9 °C, is consumed fresh. It has bright green pericarp. Pasilla chili, from Santa María Alotepec, Sierra Norte (Mixe) located at 17°05' N and 95°51' W, at an altitude of 1460 m with an average annual temperature of 20 °C, is consumed smoke-dried. It is highly aromatic and has a wrinkled shiny dark red pericarp (Figures 1 and 2).

The capsaicin and dihydrocapsaicin contents (mg kg<sup>-1</sup>) and pungence in Scoville units

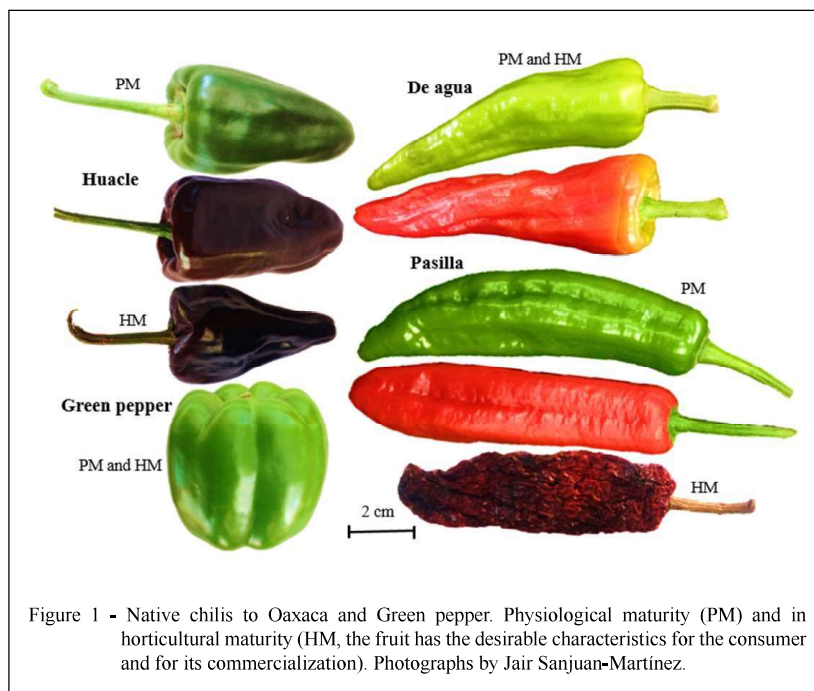


Figure 1 - Native chilis to Oaxaca and Green pepper. Physiological maturity (PM) and horticultural maturity (HM, the fruit has the desirable characteristics for the consumer and for its commercialization). Photographs by Jair Sanjuan-Martínez.



(SHU) for dry Huacle chili were 161, 47 and 6420 (GARCÍA-GAYTÁN et al., 2017). For fresh chile De agua, the values were 44, 42 and no SHU data (MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, et al., 2014). Fresh Pasilla chili had values of 49, 69 and 1899 (ORELLANA-ESCOBEDO et al., 2013) and in dry Pasilla (1000 to 4000 SHU). In Green pepper the values reported are 1.0, not detected and 15.83 (AL OTHMAN, et al., 2011).

#### Seed bed

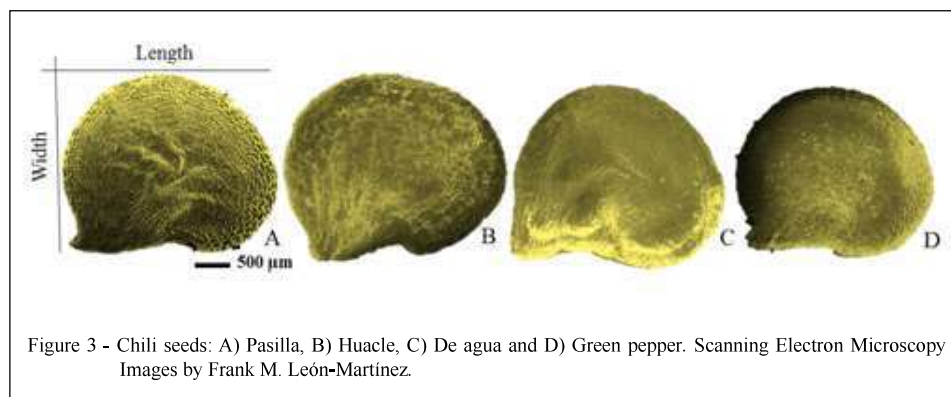
The seedbed was established in a growth chamber Biotronette Mark III Lab-Line® (Melrose Park, IL USA), which provided fluorescent light for 14 h with four Philips lamps (TL40W/54RS) and a temperature of  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 85-90% RH. The seedbed consisted of polystyrene trays with 200 cavities with *Sphagnum* peat and agrolite (2:1) substrate. One previously disinfected seed was placed in each cavity and covered with a layer of vermiculite

and watered every 24 h with a 25% Steiner solution using a manual sprinkler can.

#### Seeds

**Seed size (SS).** Four replications of 100 seeds (ISTA, 2012) of each chili genotype (Figure 3) were digitalized, and the resulting images were processed with the software Image J 1.5 (National Institutes of Health, USA). The obtained parameters were area, perimeter, length and width.

**Weight of 1000 seeds (WTS).** Each of eight 100-seed replications of each genotype was weighed on an analytical balance with 0.0001 g precision. With the values of each genotype, we calculated the mean, variance, standard deviation, and coefficient of variation, which had a value of less than 4.0. Finally, the mean was multiplied by 10 to obtain the equivalent weight of 1000 seeds (ISTA, 2012). For physiological determination of the seeds, four 25-seed replications were used as indicated by ISTA (2012).



### Germination

Seeds were disinfected by immersion for 2 min with 1% sodium hypochlorite (NaClO), washed with distilled water for 5 min and placed on filter paper (Whatman® No. 44) moistened with 10 mL water in Petri dishes (four replications, 25 seeds per replication), which were deposited in a germination chamber at 25±1 °C and constant light (ISTA, 2012). The number of germinated seeds were counted daily for 14 days after sowing (das).

A seed was considered germinated when the radicle was at least 2 mm long. At the end of the test, 16 seedlings were taken at random and measured for plumule length (PL) and radicle length (RL).

With the values obtained, the following indexes were calculated:

1) Germination percentage (GP):

$$GP = \frac{\text{Number of seeds that have germinated}}{\text{Total number of seeds}} * 100$$

2) Germination speed index (GSI), which consists of daily count of seedlings at the same time from the day normal seedlings emerged until the day of the last count, according to MAGUIRE (1962).

$$GSI = \frac{S1}{T1} + \frac{S2}{T2} + \frac{S3}{T3} + \dots + \frac{Sn}{Tn}$$

Where: S1, S2, S3..., Sn = Number of seedlings in the first, second, third and last counts; and, T1, T2, T3..., Tn = Time in days for each germination.

3) Mean daily germination (MDG), calculated as the ratio between the accumulated percentage of germinated seeds at the end of the assay and the number of days from sowing until the end of the trial.

4) Germination value (GV), considered as germination quality, according to DJAVANSHIR & POURBEIK (1976).

$$GV = \frac{\sum DGS}{N} * \frac{GP}{10}$$

Where: DGS = Daily germination speed. N = Number of DGS, number of days since beginning the test. GP = Germination percent.

5) Seedling vigor index (SVI), according VAN-STADEN et al. (2006),

where, SVI = (hypocotyl length + radicle length) \* GP

### Seedlings

At 33 das, 20 seedlings of each genotype were sampled randomly, and using the destructive method, the following parameters were obtained: plant height (PH, from the stem base to the apex), stem diameter (SD, measured 1 cm above the substrate), number of leaves (NL), fresh weight (FW), radicle length (RadL, from the stem base to the tip of the

longest radicle), radicle volume (RV, by complete submersion of the root zone in water in a 10 mL test tube), leaf area (LA, using digitalized images of the leaves of each seedling). Leaf area was analyzed with the software Image J 1.5 (National Institutes of Health, USA). Finally, the seedlings were dried at 75 °C for 72 h to obtain dry weight (DW). Also, the slenderness index (SI) was calculated with the ratio between PH (cm) and SD (mm), as indicated by GUZMÁN-ANTONIO et al. (2012).

Following the methodology of CORTÉS-FLORES et al. (2016), dry matter and leaf area of 20 seedlings of each genotype were quantified on days 19, 26 and 33 after sowing to obtain the following indexes: net assimilation rate (NAR), absolute growth rate (AGR) and relative growth rate (RGR).

The experimental design was completely randomized, and all the data were subjected to analysis of variance (ANOVA). Means of the variables were compared by the Tukey test ( $\alpha=0.05$ ), and correlation analysis also performed. The software program used to analyze the data was SAS® 9.1 (SAS, 2004). Prior to the analysis germination percentages (x) were transformed using the arcsine function  $\sqrt{x}/100$ . Graphs were made using Microsoft Excel®.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Seeds

Significant differences ( $P \leq 0.05$ ) were reported for the variables 1000 seed size and weight. The area of Pasilla seeds was 1.56 mm larger than that of Huacle seeds and 3.07 to 3.16 mm larger than De agua chili and Green pepper seeds. Moreover, 1000 Pasilla seeds weighed 1.44 g more than seeds of the control and 2.09 to 3.73 g more than seeds of the other chilis (Table 1), and correlations between these variables were highly significant (Table 2). HERNÁNDEZ-VERDUGO et al. (2010) also reported variation in seed weight among wild chili populations and plants in the state of Sinaloa, Mexico. Despite the differences between the native chilis and the control, seed size was similar to the dimensions (5.3 mm long and 4.3 mm wide) of a typical *Capsicum annuum* seed (BOSLAND & VOTAVA, 2012).

### Germination and seedlings

Huacle and the control had the highest germination percentages (90%), similar to the 95% for Habanero seeds (GARRUÑA-HERNÁNDEZ et al., 2014). For the other chilis, the lowest percentages were close to the 57, 43 and 27% reported for *Capsicum annuum* genotypes Habanero, Amashito

Table 1 - Physical characteristics of chili seeds (*Capsicum annuum* L.). Oaxaca, México. 2018.

Genotype	Length (mm)	Width (mm)	Perimeter (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Weight of 1000 seeds (g)
Huacle	4.93 b	4.10 b	15.44 c	15.92 b	6.12 b
Pasilla	5.13 a	4.33 a	17.13 a	17.48 a	8.21 a
De agua	4.57c	3.98 c	16.31 b	14.32 c	4.48 c
Green pepper	4.57c	4.00 c	14.96 d	14.41 c	6.77 b

Averages with different letters in columns present a significant difference (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

and Chiltepín, respectively (ARAIZA-LIZARDE et al., 2011; GONZÁLEZ-CORTÉS et al., 2015; MOO-MUÑOSES et al., 2016). The variation in germination percentage can be attributed to factors such as genotype, stage of maturation of the fruit during seed extraction, plant physical state, and latency, among other (AYALA-VILLEGAS et al., 2014; BARCHENGER & BOSLAND, 2016).

Seedling characteristics (Table 3) were significantly different ( $P \leq 0.05$ ). There were 16% more normal Huacle chili seedlings than the control and 60% more than De agua chili and Green pepper. Moreover, Huacle had longer plumule and radicle than the other chilis. The optimum percentage for commercial production of seedlings should be 80 to 90% (LÓPEZ-BALTAZAR et al., 2013). In this respect, Huacle chili seedlings are within the optimum index because 88% of the plantlets were normal. Values for plumule and radicle in the other chili genotypes are similar to those reported in Green pepper by GUZMÁN-

MURILLO et al. (2013) in a range of 1.96 to 2.39 (plumule) and 4.72 to 9.08 cm (radicle). The seed weight is correlated with seedling growth, except for Pasilla chili seeds, which were heavier weight but had a lower percentage of normal seedlings.

Germination indexes were significantly different ( $P \leq 0.05$ ) among the genotypes (Table 3). Huacle chili seeds had higher GSI (29.89) and SVI (992.25), and the ADG (6.42) and GV (2.57) were similar to those of the control. The difference between the obtained values was caused by the variation in germination rate (Figure 4). Huacle chili seeds reached their peak germination percentage at 7 das, while germination of De agua and Pasilla chilis was slower. Size of the plumule and radicle affected the germination indexes.

Seedling growth after appearance of true leaves was linear and ascendant (Figure 5). The final height of Huacle and Pasilla chilis was superior to the control and chili De agua by 41%. In this respect,

Table 2 - Correlations between seed variables of chili seeds (*Capsicum annuum* L.). Oaxaca, México. 2018.

Variables	-----Genotype-----			
	Huacle	Pasilla	De agua	Green pepper
Area vs Perimeter	0.981**	0.106ns	0.837**	0.941**
Area vs Length	0.908**	0.890**	0.867**	0.959**
Area vs Width	0.925**	0.860**	0.909**	0.928**
Perimeter vs Length	0.912**	0.28ns	0.853**	0.945**
Perimeter vs Width	0.890**	-0.143ns	0.653**	0.820**
Length vs Width	0.682**	0.533**	0.582**	0.786**
Germination vs Germination rate index	0.774**	0.905**	0.944**	0.774**
Plumule vs Radicle	0.676**	0.794**	0.241ns	0.232ns
Germination rate index vs Average daily germination	0.774**	0.905**	0.944**	0.774**
Germination rate index vs Germination value	0.774**	0.905**	0.944**	0.774**
Germination rate index vs Seedling vigor index	0.774**	0.905**	0.944**	0.774**

\*\* = Highly significant ( $P \leq 0.01$ ), ns = Not significant.

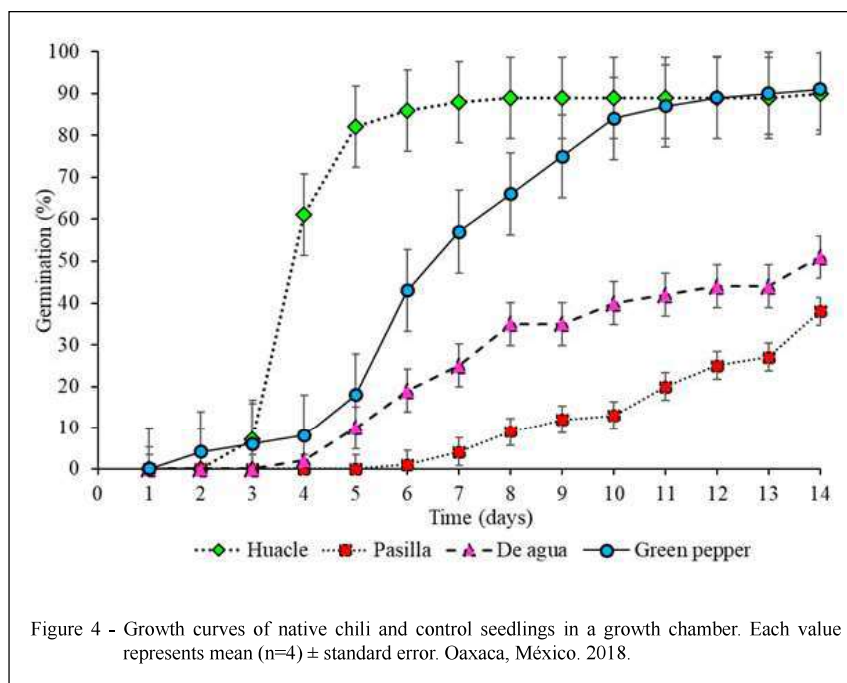
Table 3 - Characteristics of germinated seeds, seedlings and germination indexes of *Capsicum annuum* L. Oaxaca, México. 2018.

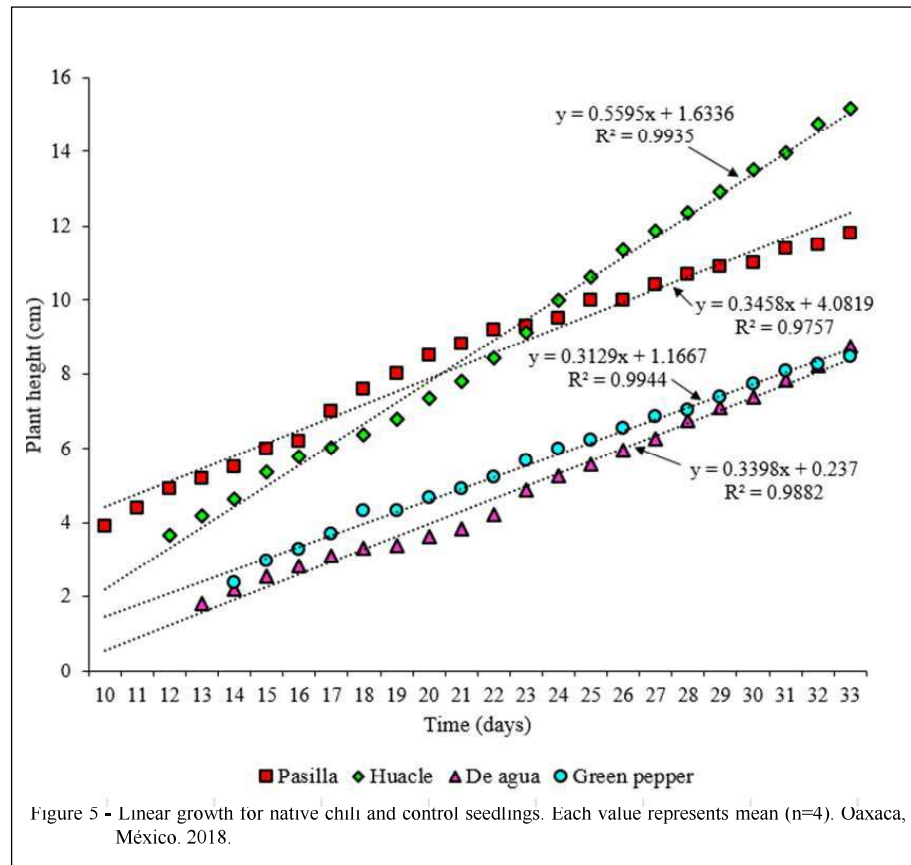
Variables	Genotype			
	Huacle	Pasilla	De agua	Green pepper
NS (%)	88 a	22 b	16 b	72 a
AS (%)	2 c	16 b	35 a	19 ab
DS (%)	10 a	62 b	49 b	9 a
PL (cm)	3.36 a	2.69 b	1.94 c	2.54 b
RadL (cm)	7.67 a	4.98 b	3.95 b	5.28 b
G (%)	90 a	38 b	51 b	91 a
GSI	29.89 a	3.29 d	9.00 c	19.16 b
ADG	6.42 a	2.71 b	3.64 b	6.50 a
GV	2.57 a	1.08 b	1.45 b	2.60 a
SVI	992.25 a	291.17 c	300.26 c	711.50 b

Averages with different letters in horizontal lines present a significant difference (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). NS = Normal seedlings, AS = Abnormal seedlings, DS = Dead seeds, PL = Plum length, RadL = Radicle length, G = Germination, GSI = Germination Speed Index; ADG = Average Daily Germination; GV = Germination Value; SVI = Seedling Vigor Index.

it has been reported that plants need to be 10 to 15 cm for transplanting (RAMALHO DO RÊGO et al., 2016; MORENO-PÉREZ et al., 2011). In a similar experiment, TOLEDO-AGUILAR et al. (2016) reported that Poblano chili reaches this height 68 to 77 das, while diverse studies of Green pepper report

a wider range (18 to 60 das) to reach the same height (RAMALHO DO RÊGO et al., 2016; MORENO-PÉREZ et al., 2011). Likewise, average heights of 6.5 cm for Chiltepin seedlings treated with gibberellic acid (ARAIZA-LIZARDE et al., 2011), 12 cm for Onza chili (LÓPEZ-BALTAZAR et al., 2013) and





a maximum height of 29.8 cm for Habanero chili treated with rhizobacteria (CASTILLO-AGUILAR et al., 2017). Besides height, several authors point out that a seedling should have four to eight true leaves before transplanting (RAMALHO DO RÊGO et al., 2016; MORENO-PÉREZ et al., 2011). Seedlings of our study were all within that range (Table 4). However, MOO-MUÑOS et al. (2016) stated that the seed drying method is a factor that affects seedling characteristics and growth.

Cultivars were significantly different ( $P \leq 0.05$ ) in seedling morphological parameters (Table 4). Except for root length and volume, Huacle and Pasilla chilis had higher parameter values. Although, the control was shorter and had fewer leaves, accumulation of dry matter and leaf area were similar to those of Huacle and Pasilla chilis. Stem diameter of the genotypes was similar to the 2.0 mm reported by LÓPEZ-BALTAZAR et al. (2013) in Onza chili seedlings and within the range of 1.37 to 2.55 mm reported by CASTILLO-AGUILAR et al. (2017) in Habanero chili seedlings 40 das. In terms

of root length, all the values were above the range of 2.89 to 4.43 cm reported for Green pepper seedlings (PUERTA et al., 2012). The same authors indicated the presence of four to eight leaves on seedlings and 0.20 to 1.02 g fresh matter. Table 4 shows that the seedlings of native chilis, including the control, had higher fresh weight and number of leaves than that reported by PUERTA et al. (2012).

In table 4 it can be observed that the values of dry matter were higher than the 0.12 g found in Poblano chili (GARCÍA-MORALES et al., 2011) and the 0.14 g in Onza chili (LÓPEZ-BALTAZAR et al., 2013). Also, leaf area values were higher than the 13 cm<sup>2</sup> reported by GONZÁLEZ-MANCILLA et al. (2017) in Poblano chili seedlings and less than the 90.12 cm<sup>2</sup> reported for Habanero chili seedlings (CASTILLO-AGUILAR et al., 2017). In terms of growth indexes, the seedlings had significant differences ( $P \leq 0.05$ ) due to the differences in height and stem diameter. Relative growth rate was higher in the control, indicating greater accumulation of biomass.

Table 4 - Morphological characteristics and growth index of *Capsicum annuum* L. Oaxaca, México. 2018.

Variables	-----Genotype-----			
	Huacle	Pasilla	De agua	Green pepper
PH (cm)	14.98 a	14.22 a	8.61 b	8.53 b
SD (mm)	2.30 a	2.26 a	1.76 b	1.87 b
RL (cm)	4.55 a	5.07 a	4.03 a	5.65 a
RV (cm <sup>3</sup> )	2.4 a	2.1 a	1.6 a	2.5 a
FW (g)	1.83 a	1.90 a	1.21 b	1.54 ab
DW (g)	0.18 ab	0.20 a	0.13 c	0.15 ab
NL	7 a	8 a	5 b	4 b
LA (cm <sup>2</sup> )	60.25 a	62.03 a	43.61 b	48.48 b
SI	6.55 a	6.31 a	5.01 b	4.60 b
NAR (g cm <sup>2</sup> d <sup>-1</sup> )	0.08 a	0.05 a	0.08 a	0.11 a
AGR (g d <sup>-1</sup> )	0.01 a	0.01 a	0.01 a	0.01 a
RGR (g <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	0.09 a	0.07 b	0.06 b	0.15 a

Averages with different letters in horizontal lines present a significant difference (Tukey,  $P \leq 0.05$ ); PH = Plant Height; SD = Stem Diameter; RL = Root Length; RV = Root Volume; FW = Fresh Weight; DW = Dry Weight; NL = Number of Leaves; LA = Leaf area, SI = Slenderness Index; NAR = Net Assimilation Rate; AGR = Absolute Growth Rate; RGR = Relative Growth Rate.

## CONCLUSION

There were differences in the physical and physiological quality of seed and seedlings among native chilis and also when they were compared to the commercial Green pepper. Huacle chili had as good physical-physiological quality of seeds and seedlings as the commercial Green pepper chili.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge to Instituto Politécnico Nacional (IPN) for the financial support (Project code: SIP20180619 and SIP20200340) and the facilities to carry out this research, and COFAA-IPN for financial support to this publication. To the growers of Oaxaca for supporting us with the material of native chilis (*Capsicum annuum*). MSc Frank León Martínez by Scanning Electron Microscopy Images. As well as the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) for the scholarship of the first author.

## DECLARATION OF CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interest. The founding sponsors had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, and in the decision to publish the results.

## AUTHORS' CONTRIBUTIONS

All authors contributed equally for the conception and writing of the manuscript. All authors critically revised the manuscript and approved of the final version.

## REFERENCES

- AL OTHMAN, Z. A. et al. Determination of capsaicin and dihydrocapsaicin in *Capsicum* fruit samples using high performance liquid chromatography. **Molecules**, v.16, p.8919-8929, 2011. Available from: <<https://doi.org/10.3390/molecules16108919>>. Accessed: Aug. 13, 2018. doi: 10.3390/molecules16108919.
- ARAIZA LIZARDE, N. et al. Evaluation of germination and seedling growth of chiltepin (*Capsicum annuum* L. variedad *glabriusculum*) greenhouse. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v.13, p.170-175, 2011. Available from: <<http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v13n2/v13n2a16.pdf>>. Accessed: Jun. 07, 2018.
- AYALA VILLEGAS, M. J. et al. Seed quality evolution of *Capsicum annuum* L. through different fruit development stages. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v.37, p.79-87, 2014. Available from: <<https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/37-1/8a.pdf>>. Accessed: Sep. 23, 2018.
- BARCHENGER, W. D. BOSLAND, P. W. Exogenous applications of capsaicin inhibits seed germination of *Capsicum annuum*. **Scientia Horticulturae**, v.203, p.29-31, 2016. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.009>>. Accessed: Aug. 12, 2018. doi: 10.1016/j.scienta.2016.03.009.
- BOSLAND, P. W.; VOTAVA, E. J. **Peppers: Vegetable and Spice Capsicums**. (2nd ed., p.230) CABI, USA. 2012.
- CASTILLO AGUILAR, C. C. et al. Evaluation of rhizobacteria strains in the production of habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.) seedlings. **Agroproductividad**, v.10, p.128-133, 2017. Available from: <<http://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/articulo/view/49/45>>. Accessed: Jul. 20, 2018.
- CORTÉS FLORES, C. et al. Iodine increases the growth and mineral concentration in sweet pepper seedlings. **Agrociencia**,



- v.50, p.747-758, 2016. Available from: <<https://www.colpos.mx/agrocienc/Bimestral/2016/ago-sep/art-7.pdf>>. Accessed: May, 15, 2019.
- DJAVANSHIR, K.; POURBEIK, H. Germination value-A new formula. **Silvae Genetica**, v.25, p.79-83, 1976. Available from: <[https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae\\_Genetica/1976/Vol\\_25\\_Heft\\_2/25\\_2\\_79.pdf](https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/1976/Vol_25_Heft_2/25_2_79.pdf)>. Accessed: Jun. 05, 2018.
- GARCÍA MORALES, C. et al. Seedling quality of "Poblano" pepper in the Sierra Nevada de Puebla, México. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v.34, p.115-121, 2011. Available from: <<https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/34-2/6a.pdf>>. Accessed: Sep. 16, 2018.
- GARCÍA GAYTÁN, V. et al. The chilhuacle chili (*Capsicum annuum* L.) in Mexico: Description of the variety, its cultivation, and uses. **International Journal of agronomy**, v.5, p.1-13, 2017. Available from: <<https://doi.org/10.1155/2017/5641680>>. Accessed: Aug. 18, 2018. doi: 10.1155/2017/5641680.
- GARRUÑA HERNÁNDEZ, R. et al. Pre-sowing treatments: an option to increase germination of habanero pepper seeds (*Capsicum chinense* Jacq.). **Agrociencia**, v.48, p.413-423, 2014. Available from: <<https://www.colpos.mx/agrocienc/Bimestral/2014/may-jun/art-6.pdf>>. Accessed: Jul. 22, 2018.
- GONZÁLEZ CORTÉS, N. et al. Germination of amashito chili (*Capsicum annuum* L. Var. *Glabriusculum*) in southeastern México. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.11, p.2211-2218, 2015. Available from: <<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.800>>. Accessed: Jun. 26, 2018. doi: 10.29312/remexca.v0i11.800.
- GONZÁLEZ MANCILLA, A. et al. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, v.33, p.463-474, 2017. Available from: <<http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.09>>. Accessed: Sep. 18, 2018. doi: 10.20937/RICA.2017.33.03.09.
- GUZMÁN ANTONIO, A. et al. Effect of the salicylic acid and nutrition on quality of habanero pepper seedlings. **Agronomia Mesoamericana**, v.23, p.247-257, 2012. Available from: <<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/6485>>. Accessed: Sep. 10, 2018. doi: 10.15517/AM.V23I2.6485.
- GUZMÁN MURILLO, M. A. et al. Germination and ROS detoxification in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under NaCl stress and treatment with microalgae extracts. **Protoplasma**, v.250, p.33-42, 2013. Available from: <<https://doi.org/10.1007/s00709-011-0369-z>>. Accessed: Aug. 12, 2018. doi: 10.1007/s00709-011-0369-z.
- HERNÁNDEZ VERDUGO, S. et al. Variation in germination among populations and plants of wild chili pepper. **Agrociencia**, v.44, p.667-677, 2010. Available from: <<https://www.colpos.mx/agrocienc/Bimestral/2010/ago-sep/art-6.pdf>>. Accessed: Jul. 10, 2018.
- ISTA. **International Rules for Seed Testing**. Zurich, Switzerland International Seed Testing Association, 2012. p.243.
- LÓPEZ BALTAZAR, J. et al. Agronomic evaluation of substrates in pepper seedlings "onza" (*Capsicum annuum*) in greenhouse. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.6, p.1139-1150, 2013. Available from: <<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1278>>. Accessed: Sep. 04, 2018. doi: 10.29312/remexca.v0i6.1278.
- MARTÍNEZ MARTÍNEZ, R. et al. Interpopulation heterosis for agromorphology and capsaicinoids in native peppers from Oaxaca. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v.37, p.199-207, 2014. Available from: <<https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/37-3/2a.pdf>>. Accessed: Jun. 09, 2018.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962. Available from: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/2/2/CS0020020176>>. Accessed: Aug. 30, 2018. doi: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x.
- MOO MUÑOS, A. J. et al. Effect of maturity and drying of *Capsicum chinense* Jacq. seeds on the germination and physiological quality of the seedling. **Agroproductividad**, v.9, p.63-67, 2016. Available from: <<http://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/709/578>>. Accessed: Sep. 28, 2018.
- MORENO PÉREZ, E. del C. et al. Phenology and yield of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) hybrids grown hydroponically. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, v.17, p.5-18, 2011. Available from: <[https://chapingo.mx/revistas/horticultura/contenido.php?id\\_articulo=1229&id\\_revistas=1&id\\_revista\\_numero=114](https://chapingo.mx/revistas/horticultura/contenido.php?id_articulo=1229&id_revistas=1&id_revista_numero=114)>. Accessed: Jul. 20, 2018.
- MOQUAMMEL, S. K. H. et al. Karyological studies of two hot chili pepper cultivars from two different geographical regions of India: Bhut jolokia, *Capsicum chinense* Jacq. and Bullet Lanka, *Capsicum annuum* L. **The Nucleus**, v.59, p.227-233, 2016. Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13237-016-0180-5>>. Accessed: Sep. 25, 2018. doi: 10.1007/s13237-016-0180-5.
- ORELLANA ESCOBEDO, L. et al. Capsaicinoids content and proximate composition of Mexican Chili peppers (*Capsicum* spp.) cultivated in the State of Chihuahua. **CyTA Journal of Food**, v.11, p.1-6, 2013. Available from: <<https://doi.org/10.1080/19476337.2012.716082>>. Accessed: Aug. 15, 2018. doi: 10.1080/19476337.2012.716082.
- PUERTA, A. C. E. et al. Seedling production of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) in organic substrates based in coconut fiber mixtures. **Revista Científica UDO Agrícola**, v.12, p.298-306, 2012. Available from: <<http://udoagricola.org/free.com/V12N2UDOAG/V12N2Russian298.pdf>>. Accessed: Jul. 04, 2018.
- RAMALHO DO RÉGO, E. et al. **Production and breeding of chilli peppers (*Capsicum* spp.)**. Springer, New York, 2016. p.134. ISBN 978-3-319-06531-1, ISBN 978-3-319-06532-8 (eBook). Available from: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-06532-8.pdf>>. Accessed: Aug. 15, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-06532-8.
- SAS. **User's guide**, SAS/ETS 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 2004. 2426p. Available from: <[https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc\\_91/ets\\_ug\\_7314.pdf](https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/ets_ug_7314.pdf)>. Accessed: Jan. 27, 2019.

SIAP. **Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera**. Anuario estadístico de la producción agrícola de Chile en Oaxaca. 2017. Available from: <<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>>. Accessed: Apr. 06, 2019.

SIAP. **Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera**. Planeación agrícola Nacional 2017-2030. 2018. Chiles y Pimientos. Available from: <[https://www.gob.mx/cms/uploads/.../file/.../Potencial-Chiles\\_y\\_Pimientos-parte\\_uno.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/.../file/.../Potencial-Chiles_y_Pimientos-parte_uno.pdf)>. Accessed: Apr. 07, 2019.

TOLEDO AGUILAR, R. et al. Morphological diversity of native population's poblano pepper. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.7, p.1005-1015, 2016. Available from: <<https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.227>>. Accessed: Jun. 23, 2018. doi: 10.29312/remexca.v7i5.227.

VAN-STADEN, J. et al. Post-germination effects of the smoke-derived compound 3-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-one, and its potential as a preconditioning agent. **Field Crops Research**, v.98, p.98-105, 2006. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.007>>. Accessed: Sep. 05, 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2005.12.007.

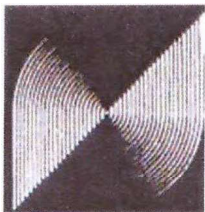
### **CAPITULO III. RESPUESTA DEL CHILE HUACLE (*Capsicum annuum* L.) AL ESTRÉS HÍDRICO BAJO INVERNADERO**

Response of huacle chili (*Capsicum annuum* L.) to water stress under greenhouse

**Artículo en prensa en la Revista Agricultura Sociedad y Desarrollo (2022)**

SANJUAN-MARTÍNEZ, J., ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D., AQUINO-BOLAÑOS, T., CRUZIZQUIERDO, S., PEREZ-PACHECO, R. (2022) Respuesta del chile huacle (*Capsicum annuum* L.) al estrés hídrico, bajo invernadero. Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo, ISSN 1870-5472).19 (3) (en prensa).

([http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=1870-5472](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_serial&pid=1870-5472),



30 de noviembre de 2021

## A QUIEN CORRESPONDA:

Hago constar que la contribución "**RESPUESTA DEL CHILE HUACLE (*Capsicum annum L.*) AL ESTRÉS HÍDRICO BAJO INVERNADERO**" de los autores(as): **Jair San Juan Martínez, Yolanda Donaji Ortiz Hernández, Teodulfo Aquino Bolaños, Serafín Cruz Izquierdo y Rafael Pérez Pacheco**, está aceptada para ser publicada en la Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo. La publicación de este artículo será en el Volumen 19 Número 3 (2022) de nuestra revista.

Sirva la presente para los fines que al interesado requiera.

**El Director de ASyD.**

**Dr. Benito Ramírez Valverde**

1 **RESPUESTA DEL CHILE HUACLE (*Capsicum annuum* L.) AL ESTRÉS HÍDRICO**  
 2 **BAJO INVERNADERO**

3 **RESPONSE OF HUACLE CHILI TO (*Capsicum annuum* L.) WATER STRESS**  
 4 **UNDER GREENHOUSE**

5 Jair **Sanjuan-Martínez**<sup>1</sup>, Yolanda Donají **Ortiz-Hernández**<sup>1</sup>, Teodulfo **Aquino-**  
 6 **Bolaños**<sup>1</sup>, Serafín **Cruz-Izquierdo**<sup>2</sup>, Rafael **Pérez-Pacheco**<sup>1</sup>

7 <sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación Para el  
 8 Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR-Oaxaca), Santa Cruz Xoxocotlán,  
 9 71230, Oaxaca, México. (jsanjuanm1600@alumno.ipn.mx; yortiz@ipn.mx;  
 10 taquino@ipn.mx; rperezp@ipn.mx). <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos,  
 11 Recursos Genéticos y Productividad, Fisiología Vegetal, Montecillo, Estado de México,  
 12 México. (sercruz@colpos.mx)

13 **Resumen**

14 La restricción del agua y altas temperaturas son factores limitantes que afectan el  
 15 desarrollo de las plantas. En este estudio se evaluó el efecto del estrés hídrico en chile  
 16 Huacle negro con tres intervalos de tensión de humedad en el suelo (10 a 20, 21 a 30 y  
 17 31 a 40 kPa) en camas de siembra con y sin acolchado de 0.9 m de ancho y 6.0 m de  
 18 largo. Se utilizó un diseño bifactorial con cuatro repeticiones conformadas con 18  
 19 plantas cada una. Se evaluaron 27 variables en planta y fruto. La mayor disponibilidad  
 20 de humedad en el suelo con acolchado aumento 85% los botones florales, 89% las  
 21 flores y 61% los frutos respecto al tratamiento con mayor estrés hídrico sin acolchado;  
 22 además, presentó el mayor rendimiento de fruto seco (122.9 g), frutos más dulces  
 23 (20.4%), tasa de asimilación neta (0.11 g cm<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>), tasa de crecimiento absoluto (2.72 g  
 24 d<sup>-1</sup>) y tasa de crecimiento relativo (0.13 g g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). La menor tensión de humedad en el  
 25 suelo produjo mayor altura de planta (65.3 cm) y diámetro del tallo (11 mm). Por último,  
 26 la mayor tensión de humedad en el suelo con acolchado ocasionó el 30% de  
 27 senescencia.

28 **Palabras claves:** calidad de fruto, fenología, índices fisiológicos

29 **Abstract**

30 Water restriction and high temperatures are limiting factors that affect plant  
 31 development. In this study, the effect of water stress on black Huacle chile was  
 32 evaluated with three soil moisture tension intervals (10 to 20, 21 to 30 and 31 to 40 kPa)  
 33 in planting beds with and without mulch 0.9 m wide and 6.0 m long. A bifactorial design  
 34 was used with four replications of 18 plants each. A total of 27 plant and fruit variables  
 35 were evaluated. The higher soil moisture availability with mulch increased 85% of flower  
 36 buds, 89% of flowers and 61% of fruits with respect to the treatment with higher water  
 37 stress without mulch; in addition, it presented the highest yield of nuts (122.9 g), sweeter  
 38 fruits (20.4%), net assimilation rate (0.11 g cm<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>), absolute growth rate (2.72 g d<sup>-1</sup>), net  
 39 assimilation rate (0.13 g g<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). Lower soil moisture tension produced greater plant  
 40 height (65.3 cm) and stem diameter (11 mm). Finally, the higher moisture tension in the  
 41 mulched soil caused 30% senescence.

42 **Key words:** fruit quality, phenology, physiological indexes

### 43 **Introducción**

44  
45 El género *Capsicum* incluye más de 30 especies de las cuales *C. annuum*, *C.*  
46 *frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens* son domesticados y cultivados  
47 para su consumo en fresco, seco o procesados; sus principales usos son: en la  
48 preparación de alimentos, elaboración de cosméticos, productos farmacéuticos y el  
49 control de plagas (Ramchiary y Kole, 2019).

50  
51 Debido a los diferentes climas, microclimas y edafología de México, podemos  
52 encontrar una gran variedad de chiles nativos distribuidos a lo largo y ancho del país  
53 (Aguilar *et al.*, 2018). Oaxaca es uno de los estados con mayor diversidad de chiles  
54 nativos, dentro de los cuales se encuentra el chile Huacle negro (*Capsicum annuum* L.)  
55 (Sanjuan *et al.*, 2020), cultivado en la región de la Cañada Oaxaqueña, de gran valor e  
56 importancia por ser el ingrediente principal del internacional mole negro de Oaxaca  
57 (García *et al.*, 2017). Este chile generalmente es cultivado a cielo abierto con riego  
58 rodado y rendimiento promedio de 1.0 t ha<sup>-1</sup> de fruto deshidratado (Aguilar *et al.*, 2010);  
59 en la actualidad, se han realizado estudios para evaluar el efecto de estructuras de  
60 protección, sistemas de riego localizado y nutrición controlada en el cultivo de chile  
61 Huacle negro con el objetivo de mejorar la producción y calidad del cultivo (San Juan *et*  
62 *al.*, 2019; Urbina *et al.*, 2020).

63  
64 En *Capsicum* spp. se ha identificado que el déficit hídrico afecta principalmente: la  
65 altura de planta, área foliar, rendimiento (Quintal *et al.*, 2012), número de flores y la  
66 calidad de los frutos (Quesada, 2015). Sezen *et al.* (2019) reportan que la fenología y  
67 fisiología de las plantas es afectada por la disponibilidad de agua y factores  
68 ambientales. Por otra parte, se ha demostrado que el uso de acolchados plásticos,  
69 cintillas de riego entre otras técnicas, mejoran el manejo y aprovechamiento del agua  
70 (Cosgrove y Rijisberman, 2014), reduciendo hasta un 50% el consumo de agua,  
71 influyendo en la altura de planta, índice de área foliar, peso y calidad de fruto de un 10  
72 a 15% (Dong *et al.*, 2014), ya que propicia una mejor condición de humedad en el suelo  
73 al evitar la pérdida de agua por evaporación y reduce la presencia de malezas (Bahena  
74 *et al.*, 2012; Inzunza *et al.*, 2017). Lo anterior es de gran importancia debido a que la  
75 agricultura consume el 70% del agua dulce que se extrae anualmente en el mundo  
76 (Villalobos *et al.*, 2017); además que el agua constituye del 80 a 95% de los tejidos en  
77 crecimiento de las plantas (Quintal *et al.*, 2012).

78 En Oaxaca se han realizado trabajos con cultivos nativos como el frijol (*Phaseolus*  
79 *vulgaris* L.) (Pliego *et al.*, 2013; Aguilar *et al.*, 2019), con el fin de identificar la respuesta  
80 de estos materiales genéticos a la disponibilidad hídrica; asimismo, en tomate verde o  
81 tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) se ha determinado el consumo de agua y el  
82 rendimiento bajo cubierta (Ramos *et al.*, 2017) por su parte, Cruz *et al.* (2018) reportan  
83 el uso de acolchado plástico y macrotúneles en la producción de chile de agua  
84 (*Capsicum annuum* L.). Estas investigaciones han permitido mejorar su producción y la  
85 calidad de los cultivos, así como aumentar la eficiencia en el uso del agua.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo de esta investigación fue mejorar la disponibilidad hídrica de chile Huacle negro, cultivado bajo cubierta plástica con tres niveles de humedad en camas con y sin acolchado plástico; además de evaluar su efecto en aspectos fenológicos, morfológicos, fisiológicos y calidad de frutos.

## Metodología

La investigación se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel de 200 m<sup>2</sup> de enero a agosto de 2019 en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Ubicado a 1550 msnm, a 17°01'31" LN y 96°43'11" LO. Se utilizaron semillas de chile Huacle negro. El almácigo se estableció en charolas de poliestireno de 200 cavidades; el sustrato consistió en una mezcla de peat-moss y agrolita en una proporción 2:1. Las plántulas se regaron diariamente con la solución Steiner al 25% (Steiner,1984) y cuando alcanzaron en promedio 16 cm de altura y ocho hojas verdaderas, se trasplantaron a doble hilera en camas de siembra de 0.9 m de ancho y 6.0 m de largo; distancia entre plantas de 0.6 m, 0.4 m entre hileras y 1.0 m de pasillo. El diseño experimental fue completamente al azar en un arreglo bifactorial 3x2, correspondientes a tres intervalos de tensión de humedad (H, en kPa) y camas con (CA) y sin acolchado (SA) plástico color negro/plata (Cuadro 1). Por cada tratamiento se establecieron cuatro repeticiones, cada repetición se integró con 18 plantas, cada planta se consideró como la unidad experimental.

Las características del suelo fueron: textura franco arenoso (20% limo, 10% arcilla y 70% arena), 8.55 de pH y 626.6 mg kg<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La demanda nutricional fue cubierta mediante la dosis 250N-200P-300K kg ha<sup>-1</sup> utilizada en chile habanero por Quintal *et al.* (2012). La aplicación de los fertilizantes junto con la distribución del agua fue por medio de cintilla tipo T-Tape con goteros a 20 cm de separación y gasto unitario de 1.0 Lh<sup>-1</sup> con presión de operación de 0.8 Kgcm<sup>-3</sup>. El inicio y monitoreo de la humedad en el suelo inició a los 30 días después del trasplante (ddt), para ello se colocó un tensiómetro marca IRROMETER® de 12" en la parte central de cada tratamiento a 15 cm de profundidad. Los datos fueron analizados mediante un análisis de variancia y comparación de medias Tukey (P≤0.05) utilizando el programa SAS® versión 9.1 (SAS, 2004).

**Cuadro 1.** Tratamientos aplicados a plantas de chile Huacle.

Tratamiento	Acolchado	Tensión de humedad en el suelo (kPa)
T1		10-20 (H1)
T2	Con	21-30 (H2)
T3	(CA)	31-40 (H3)
T4		10-20 (H1)
T5	Sin	21-30 (H2)
T6	(SA)	31-40 (H3)

CA=con acolchado, SA= sin acolchado.

Durante el desarrollo del cultivo, se registraron cada hora de las 07:00 a 18:00 h, las variables microclimáticas: temperatura (T), humedad relativa (HR) y radiación

125 fotosintéticamente activa (RFA) mediante un data logger mod. HOBO® U12 colocado a  
126 0.8 m de altura respecto al piso en la parte central del invernadero.

127  
128 Posterior al trasplante, cada 30 días se registraron en seis plantas tomadas al azar  
129 de cada tratamiento: el número de botones (BT), flores (FL) y frutos (FR); altura de  
130 planta (AP) desde la base del tallo a la parte más alta de la planta, se usó un  
131 flexómetro metálico marca Truper® (3 m con escala mínima de 1 mm); diámetro de tallo  
132 (DT) a cinco centímetros de altura sobre el suelo, con un vernier digital micrómetro  
133 Caliper (resolución 0,1 mm); área foliar (AF), con un escáner Epson L555 (Epson  
134 América), se digitalizaron las hojas de cada planta y se analizaron con el programa  
135 ImageJ 1.5 (National Institutes of Health, USA). Posteriormente, las plantas se separaron  
136 por hojas (H), tallo (T), raíz (R) y frutos (F); estas se depositaron en bolsas de papel y  
137 se secaron en una estufa de aire forzado a 65 °C hasta peso constante, registrando el  
138 peso seco (PS) con una balanza electrónica (Ohaus®, USA). Con los valores obtenidos  
139 se calculó: el índice de área foliar (IDAF) de acuerdo a Hunt (1978). La tasa de  
140 asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento absoluto (TCA) y tasa de crecimiento  
141 relativo (TCR) se calcularon como lo indican Cortés *et al.* (2016).

142  
143 A los 60 ddt, se contabilizó el número de plantas muertas por tratamiento y se  
144 transformó a porcentaje. A los 120 ddt se tomaron al azar seis frutos maduros frescos  
145 de distintas plantas de cada tratamiento y se les determinó: los sólidos solubles totales  
146 (SST en °Brix) con un refractómetro (ATAGO escala 0 a 30°), pH con un potenciómetro  
147 (Hanna Instruments, modelo Hi98130) y la acidez titulable (AT) de acuerdo con la  
148 AOAC (1990). Con los valores obtenidos se calculó el índice de madurez (IDM)  
149 resultado del cociente entre los SST y el % AT. También, se tomaron al azar 20 frutos  
150 comerciales secos de distintas plantas de cada tratamiento y se determinó: largo,  
151 ancho, peso seco, número y peso de semillas (NSF y PSF). El rendimiento comercial  
152 (RC) se obtuvo al promediar el peso seco de frutos de seis plantas tomadas al azar de  
153 cada tratamiento (sólo frutos como mínimo de 3.0 cm de ancho y 4.0 cm de largo). El  
154 número de frutos comerciales por planta (NFPC) se obtuvo al promediar el número de  
155 frutos comerciales de seis plantas tomadas al azar de cada tratamiento. Se obtuvo el  
156 índice de cosecha (IDC) como el cociente entre el rendimiento de frutos y la biomasa  
157 aérea de cada planta (Garrido *et al.*, 2013).

158

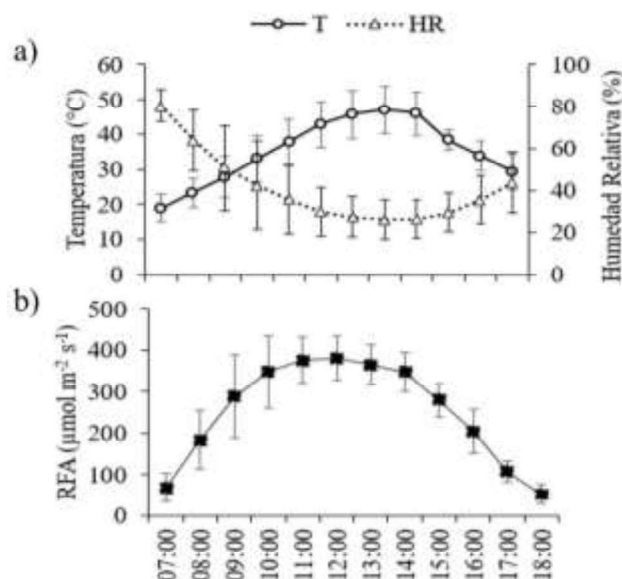
## 159 **Resultados y Discusión**

160

161 Los datos microclimáticos promedio por hora que prevalecieron durante el desarrollo  
162 del cultivo se muestran en la Figura 1. De acuerdo con Lorenzo (2012), es necesario  
163 conocer el comportamiento de la T y HR en el interior de los invernaderos debido a que  
164 en la agricultura protegida estas dos variables, intervienen en los procesos de  
165 transpiración y consecuentemente mayor o menor consumo de agua. La máxima RFA  
166 promedio fue mayor a los 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y la HR promedio fue menor a 30% en ese  
167 mismo lapso de tiempo (Figura 1). Estos resultados son similares a algunos valores  
168 obtenidos por Zermeño *et al.* (2019) quienes reportaron valores de RFA de 200 a 600  
169  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a las 12:00 h bajo tres diferentes cubiertas de policarbonato de color rojo,  
170 azul y traslúcido con cultivo de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) variedad Ébano;  
171 sin embargo, el tipo de estructura que ellos evaluaron pudo haber determinado los



172 valores superiores de RFA que no se registraron en este experimento realizado con  
 173 cubierta de plástico convencional y cultivo de chile Huacle negro (*Capsicum annuum*  
 174 L.), debido a que la transmisividad a la radiación solar de cada cubierta es diferente tal  
 175 como lo reportan Paredes *et al.* (2018). Por otra parte, entre las 10:00 a 18:00 h las  
 176 temperaturas promedio superaron los 30°C; al respecto, Baxevanou *et al.* (2008),  
 177 mencionan que el incremento de la temperatura bajo cubierta depende de la radiación  
 178 total, por su parte, Escalante *et al.* (2008) mencionan que la fotosíntesis y la  
 179 temperatura en la mayoría de los casos están estrechamente relacionadas, ya que al  
 180 aumentar la temperatura incrementa la tasa fotosintética. Por último, la mayor HR del  
 181 día fue 80% y se registró a las 7:00 h la cual, decreció paulatinamente hasta alcanzar  
 182 un 29 %, registrado de las 13:00 a las 15:00 h.



183 **Figura 1.** Valores promedio de a) temperatura y humedad relativa, b) radiación  
 184 fotosintéticamente activa registrados dentro del invernadero.  
 185

186 A excepción del T4, a los 60 ddt se presentó el mayor número de BT y FL mostrando  
 187 diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) sobresaliendo significativamente los valores del T1  
 188 (Cuadro 2). La reducción de BT y FL entre tratamientos se atribuye principalmente al  
 189 estrés hídrico, efecto reportado para el género *Capsicum* por Rao *et al.* (2016), ya que  
 190 el agua interviene en la integridad físico-química y expansión celular como lo señala  
 191 Quesada (2015). Asimismo, las temperaturas registradas dentro del invernadero (Figura  
 192 1), superaron los 30°C, al respecto, Chaves y Gutiérrez (2017) mencionan que la  
 193 exposición del género *Capsicum* a temperaturas superiores a los 33°C en el día y 20°C  
 194 durante la noche, afecta la viabilidad del polen y la fertilización, incrementa la aborción  
 195 floral y disminuye el amarre de frutos. Asimismo, la oscilación de la humedad relativa  
 196 (40-80%) puede ser causante de la reducción en el número de flores; al respecto,  
 197 Amador *et al.* (2014) reportaron que una estabilidad en la humedad relativa cercana al  
 198 70% aumentó la cantidad de flores y frutos en chile mirasol (*Capsicum annuum* L.). De  
 199 igual manera, la baja RFA (Figura 1) pudo inducir efectos negativos en el reparto de  
 200 fotoasimilados y crecimiento de frutos como lo reportan Paredes *et al.* (2018) en chile  
 201 piquín (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo mallas de colores donde se afectó el  
 202 tamaño y el número de frutos por efecto de la RFA.

203 A los 90 y 120 ddt el T1 presentó un aumento de 195% y 67% respectivamente en el  
 204 número de frutos, en comparación al T4 (Cuadro 2), lo que indica un efecto favorable  
 205 del acolchado plástico, ya que ambos tratamientos mantuvieron una tensión de  
 206 humedad en el suelo (de 10 a 20 kPa); Sin embargo, ese efecto no se vio reflejado en  
 207 el T2 y T3 al no mostrar diferencias significativas con el T5 y T6 respectivamente. Al  
 208 respecto, Bahena *et al.* (2012) mencionan que la colocación del acolchado plástico evita  
 209 la pérdida de humedad por medio de la evaporación y reduce la presencia de malezas,  
 210 evitando la competencia por luz y nutrientes; además, mantiene la humedad del suelo y  
 211 puesto que la mayor absorción de nutrimentos y agua es por el sistema radical en los  
 212 primeros 0.5 m de profundidad, esto posiblemente cubra la demanda de fotoasimilados  
 213 para la etapa de fructificación (Álvarez y Pino, 2018).

214  
 215 **Cuadro 2. Número de botones, flores y frutos durante el desarrollo del chile Huacle.**

	No. de botones (ddt)			No. de flores (ddt)			No. de frutos (ddt)		
	60	90	120	60	90	120	60	90	120
T1	75 a	0 c	0 c	29 a	2 ab	0 b	16 a	59 a	52 a
T2	37 b	11a	40 ab	10 bc	5 a	2 b	4 b	31 b	31 b
T3	41 b	6 b	0 c	16 b	1 b	0 b	3 b	27 b	31 b
T4	35 b	0 c	60 a	5 c	0 b	27 a	3 b	20 b	31 b
T5	34 b	0 c	17 bc	5 c	0 b	6 b	3 b	31 b	29 b
T6	14 c	1 c	1 c	3 c	2 ab	0 b	2 b	21 b	20 b

216 Medias con letras distintas en columna presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05);  
 217 ddt=días después del trasplante.

218  
 219 T1 y T4 obtuvieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la AP y el PST respecto al  
 220 resto de los tratamientos (Cuadro 3). Lo que indica que mantener un intervalo de  
 221 tensión de humedad del suelo de 10 a 20 kPa influye positivamente en la AP y el PST  
 222 sin importar el acolchado como lo reportan Quintal *et al.* (2012) al aumentar la  
 223 disponibilidad de agua aumentó la altura de chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)  
 224 cultivado bajo cubierta. Sin embargo, López *et al.* (2016) muestran valores 55%  
 225 superiores en la AP del chile Huacle producido a cielo abierto y riego rodado en  
 226 comparación a los obtenido en este estudio con T1 y T4.

227  
 228 Por otro lado, el T1 presentó mayor valor significativo para las variables, PSF, PSH,  
 229 IAF y AF (Cuadro 3). Al respecto, se ha reportado que la reducción del AF es una  
 230 respuesta al estrés hídrico mediante la cual la planta evita la pérdida de agua por medio  
 231 de la transpiración (Moreno y Liz, 2009); sin embargo, dicha respuesta también afecta  
 232 directamente la capacidad de las plantas para generar fotoasimilados, porque las hojas  
 233 son el órgano encargado de dicha función (Quesada, 2015), afectando directamente la  
 234 acumulación de materia seca y sus índices fisiológicos.

235  
 236 Por último, el valor más alto (2.5 g) para PSR se obtuvo con el T4. Al respecto,  
 237 Inzunza *et al.* (2010) reportan que la colocación de acolchado plástico puede ocasionar  
 238 un incremento de hasta 6°C en la temperatura del suelo lo cual, puede generar un  
 239 estrés en la raíz afectando su desarrollo. Además, se ha reportado que en situaciones

de estrés hídrico algunas plantas reducen el crecimiento de la parte aérea y aumentan el desarrollo de raíz con el objetivo de buscar humedad a mayor profundidad (Florido y Bao, 2014), situación que pudo ocurrir en este experimento, ya que se presentaron los valores más altos en camas sin acolchar (T4 y T5). Al respecto, Hernández *et al.* (2021) mencionan que la colocación de acolchados reduce la pérdida de agua por evaporación e incrementa la retención de humedad en el suelo.

**Cuadro 3.** Características morfológicas de plantas de chile Huacle a los 120 ddt.

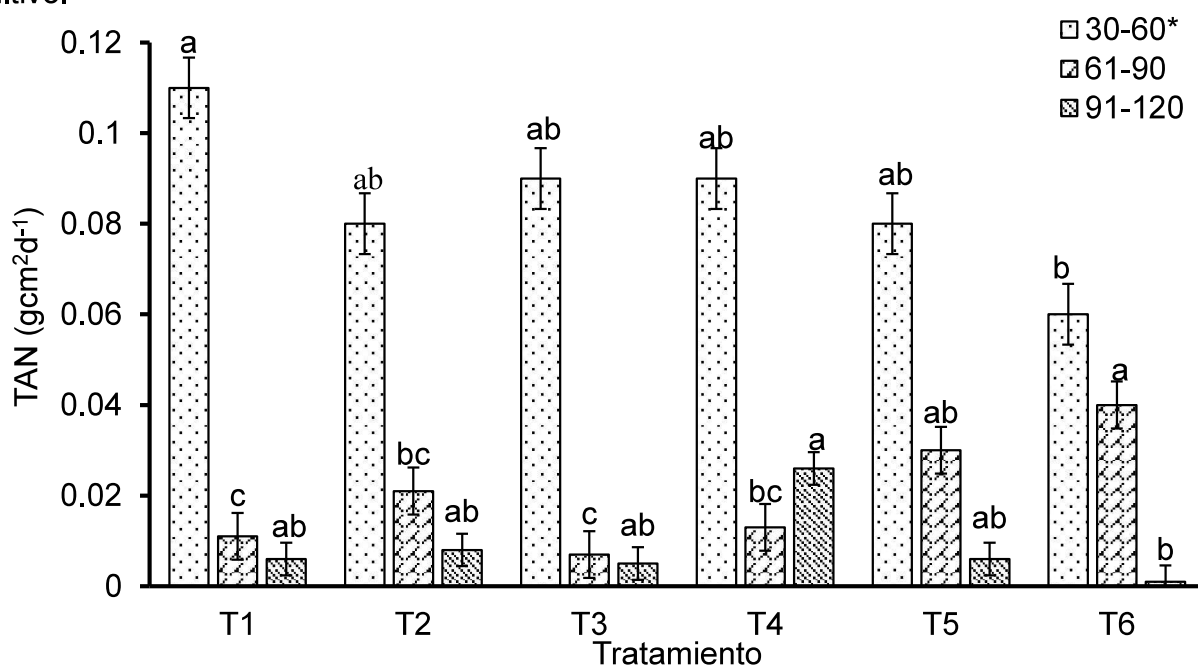
	AP (cm)	DT (mm)	Peso seco (g)				AF (m <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )	IDAF
			Frutos	Hojas	Tallos	Raíz		
T1	65.3 a	11.0 a	122.9 a	38.0 a	36.0 a	1.8 bc	6.06 a	2.24 a
T2	54.9 bc	9.6 b	94.1 ab	27.3 b	24.9 b	1.1 c	4.00 b	1.48b
T3	50.6 c	9.2 bc	67.2 bc	19.2 c	21.3 bc	1.6 bc	2.80 c	1.03 c
T4	63.5 ab	10.9 a	48.4 c	26.7 b	41.1 a	2.5 a	4.01 b	1.48 b
T5	50.7 c	10.1 ab	47.9 c	21.9 bc	25.5 b	2.1 ab	3.15 bc	1.16 bc
T6	47.6 c	8.3 c	45.8 c	15.2 c	15.0 c	1.5 bc	2.02 c	0.74 c

Medias con letras distintas en columnas presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05); AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; AF= área foliar; IDAF= índice de área foliar.

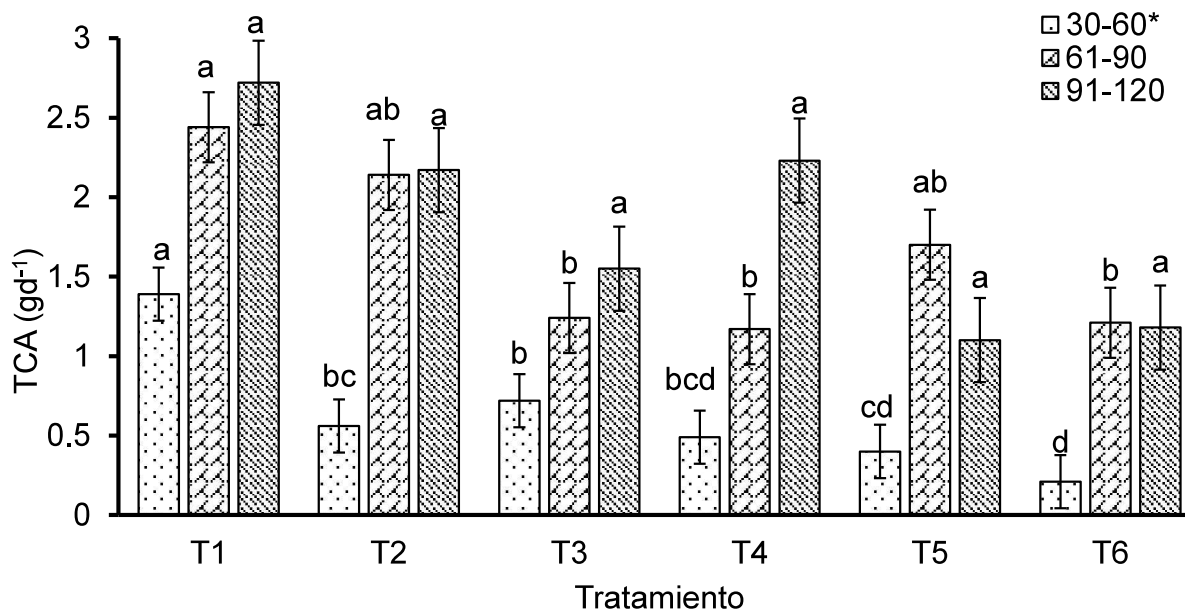
En cuanto a los índices fisiológicos, la mayor TAN se presentó de los 30 a 60 ddt con el T1 con diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en comparación al T6. (Figura 2), atribuido principalmente a la diferencia del 66.6% entre los valores del área foliar entre el T6 respecto al T1 (Cuadro 3) lo cual, se atribuye al estrés hídrico causado con la irrigación de 31 a 40 kPa del T6, ocasionando que la disponibilidad del agua y los nutrimentos se redujeran y no fueran aprovechados por la planta para la acumulación de materia seca (Rodríguez *et al.*, 2014), ya que al inicio del ciclo del cultivo se concentra principalmente en la formación de hojas. También, pudo ser por el cambio fenológico del cultivo pasando de una etapa vegetativa a reproductiva, dirigiendo los fotoasimilados a la formación de frutos, a partir de los 60 ddt (Cuadro 2). Asimismo, se ha reportado que las temperaturas mayores a los 33°C ocasionan la senescencia y abscisión de hojas (Chaves y Gutiérrez, 2017) lo cual, reduce el área foliar del cultivo afectando directamente la TAN. Al respecto, Alemán *et al.* (2018) encontraron un valor mayor de 2 g cm<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> para pimientos cultivado en invernadero; por su parte, Quezada *et al.* (2011) reportaron que la TAN del pimiento tiene un comportamiento decreciente disminuyendo su valor de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo, similar a lo encontrado en este estudio excepto para el T4 el cual, presentó un incremento en la TAN en el intervalo de 61 - 90 a 91 - 120 ddt (Figura 2). Este comportamiento puede ser el resultado de una etapa vegetativa más prologada, ya que el mayor número de botones y flores del T4 se presentaron a los 120 ddt, diferente del resto de los tratamientos los cuales, mostraron el mayor valor para las mismas variables a los 60 ddt (Cuadro 2). Al respecto, López *et al.* (2015), reportan que la colocación de acolchado plástico induce la precocidad del chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.); por su parte, Moreno y Liz (2009) mencionan que ante un déficit hídrico las plantas aumentan la producción del ácido abscísico (ABA), fitohormona que regula el tiempo de floración y otros procesos fisiológicos y fenológicos.

277 En este experimento, la TCA presentó un comportamiento inverso a la TAN (Figura  
 278 3), los valores se incrementaron conforme avanzó el desarrollo del cultivo,  
 279 principalmente por la presencia de frutos y la acumulación de materia seca en dichos  
 280 órganos. El T1 mostró el valor más alto ( $2.72 \text{ g d}^{-1}$ ) con diferencias significativas  
 281 ( $P \leq 0.05$ ) respecto al T3, T4 y T6 durante el periodo comprendido de 31 a 60 ddt,  
 282 atribuido a la mayor disponibilidad de agua y mayor número de frutos por planta  
 283 (Cuadro 2).

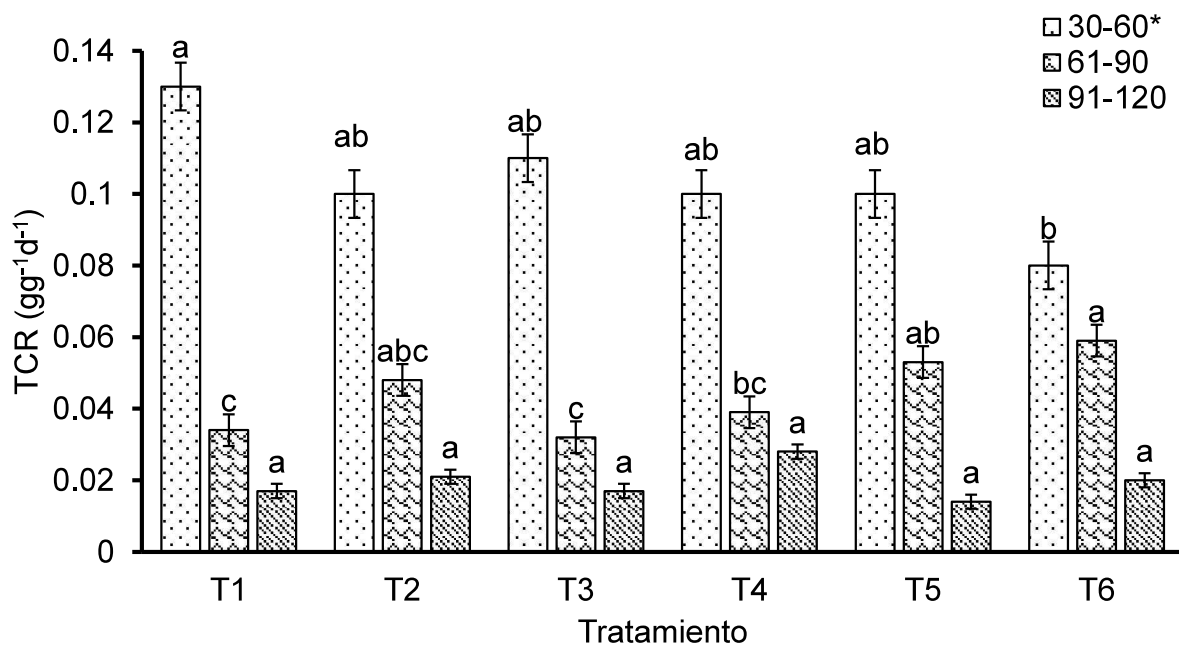
284  
 285 La TCR tuvo un comportamiento decreciente a partir de los 60 ddt; los valores más  
 286 altos se presentaron durante el periodo comprendido entre los 30 a 60 ddt (Figura 4),  
 287 con diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre el T1 y T6. A partir de los 60 ddt, el valor  
 288 de la TCR disminuyó 50%, lo cual indica que la acumulación de materia seca por las  
 289 plantas se disminuye atribuido principalmente a la maduración de los frutos y  
 290 senescencia de la planta. De manera general, los índices fisiológicos no fueron  
 291 influenciados por el tipo de encamando, pero si relacionados con la etapa y edad del  
 292 cultivo.



293  
 294  
 295 **Figura 2.** Tasa de Asimilación Neta (TAN) de plantas de chile Huacle. \*días después  
 296 del trasplante. Medias con letras distintas en mismo periodo presentan diferencia  
 297 significativa (Tukey, 0.05).  
 298



299 **Figura 3.** Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA) de plantas de chile Huacle. \*días  
 300 después del trasplante. Medias con letras distintas en mismo periodo presentan  
 301 diferencia significativa (Tukey, 0.05).  
 302  
 303



304 **Figura 4.** Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) de plantas de chile Huacle \*días  
 305 después del trasplante. Medias con letras distintas en mismo periodo presentan  
 306 diferencia significativa (Tukey, 0.05).  
 307  
 308

309 A los 60 ddt, los valores para la variable senescencia fueron: T3 (30%), T2 y T6  
 310 (15%), T1 y T5 (5%) y T4 (0%), esta variación puede ser la consecuencia de la baja  
 311 disponibilidad hídrica y el aumento de la temperatura del suelo ocasionado por el

312 acolchado plástico. Según Quezada *et al.* (2011) si sobrepasa los 30°C genera daños  
 313 negativos; además, las temperaturas dentro del invernadero (Figura 1) superaron el  
 314 rango óptimo (22-25 °C) citado por Kaur *et al.* (2017) para el desarrollo del cultivo  
 315 *Capsicum annuum* L.

316  
 317 En promedio el pH de los frutos fue de 5.2 (Cuadro 4), lo cual indica que dicho  
 318 parámetro no fue influenciado por la restricción hídrica, ni el acolchado, si no es  
 319 determinado por el genotipo del cultivo. Este valor fue similar al rango (4.8 a 5.5)  
 320 reportado por Yin *et al.* (2011) para *Capsicum annuum* producido bajo condiciones de  
 321 invernadero con diferentes tipos de acolchado; también, a los 6.4 y 5.5 obtenidos por  
 322 Mendoza *et al.* (2015) en chile jalapeño verde y rojo, pero inferior al rango de 6.43 a 7.0  
 323 reportado por Flores *et al.* (2018) en chile chiltepín silvestre de Nuevo León, México.  
 324 Los mismos autores y Figueroa *et al.* (2015), reportaron valores de 5.2 a 9.8 en sólidos  
 325 solubles totales para el género *Capsicum*, valores inferiores a los obtenidos en frutos de  
 326 este experimento (Cuadro 4).

327  
 328 Respecto al porcentaje de acidez titulable se presentó un intervalo de 1.47 a 2.49  
 329 (Cuadro 4), mostrando diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos sin  
 330 acolchados, contrario a los tratamientos con acolchado ya que estos no presentaron  
 331 diferencias entre ellos. A pesar de ello, todos los valores fueron mayores a los  
 332 encontrados por Medeiros *et al.* (2018) y Manikharda *et al.* (2018) en ocho genotipos de  
 333 *C. baccatum* var. *pendulum* y tres estados de madurez de un genotipo de *C. frutescens*.

334  
 335 El índice de madurez mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), sobresaliendo el T3  
 336 con un valor mayor en 50.7% respecto al T6 (Cuadro 4) ambos con el nivel más bajo de  
 337 disponibilidad hídrica.

338  
 339 **Cuadro 4.** Características químicas de frutos de chile Huacle.

	pH	Sólidos Solubles Totales (°Brix)	Acidez Titulable (%)	Índice de Madurez
T1	5.28 a	15.3 a	1.90 bc	8.18 b
T2	5.25 a	13.6 ab	1.83 bc	7.69 b
T3	5.18 a	15.3 a	1.47 c	10.41 a
T4	5.28 a	11.6 bc	1.62 cd	7.27 b
T5	5.30 a	12.3 bc	2.49 a	5.03 c
T6	5.23 a	11.3 c	2.15 b	5.28 c

340 Medias con letras distintas en columna presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05).

341  
 342 Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en RC de frutos secos e IDC  
 343 (Cuadro 5). Los valores del RC en los T4 y T5 se vieron reducidos en más del 50% en  
 344 comparación a los T1 y T2 respectivamente; del mismo modo, el NFCP disminuyó en  
 345 33.8% (T4) y 55.5% (T5) respecto al T1 y T2. Efecto atribuido al acolchado plástico ya  
 346 que los T1-T4 y T2-T5 fueron sometidos al mismo nivel de humedad en el suelo  
 347 (Cuadro 1). Los valores del RC afectaron directamente el IDC congruente con lo  
 348 reportado por Quintal *et al.* (2012) e Inzunza *et al.* (2017) quienes mencionan que el  
 349 estrés hídrico en plantas de chile disminuye el rendimiento de un 30 a 70 %, reportando

350 el mayor rendimiento a mayor disponibilidad hídrica y con el uso de acolchado en Chile  
 351 Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) y tomate (*Solanum lycopersicum*).

352  
 353 El T1 presentó el mayor largo y ancho de fruto. A pesar de ello, el tamaño de los  
 354 frutos disminuyó aproximadamente 50% respecto a las medidas descritas por García *et*  
 355 *al.* (2017), quienes reportan en promedio 10 cm de largo y 8 cm de ancho. Este efecto  
 356 en *Capsicum*, Rao *et al.* (2016) lo atribuyen a la disponibilidad hídrica, el cual afecta el  
 357 alargamiento y división celular.

358  
 359 El peso seco del fruto fue afectado por el uso de acolchado plástico, siendo mayor el  
 360 peso de los frutos obtenidos del T1 sobre el T4 ambos con el mismo nivel hídrico,  
 361 mostrando un valor similar a lo reportado por San Juan *et al.* (2019), al evaluar  
 362 concentración de soluciones nutritivas en el mismo cultivo. Sin embargo, el aumento del  
 363 estrés hídrico ocasionó una disminución del 28.6% en la acumulación de materia seca  
 364 de los frutos entre el T1 y T3 (Cuadro 5). Asimismo, los valores mostrados en el Cuadro  
 365 5 para NSF y PSF muestran que dichos parámetros se encuentran más influenciados  
 366 por el nivel de estrés hídrico que con el tipo de acolchado, presentando diferencias  
 367 significativas ( $P \leq 0.05$ ) del T1 y T2 sobre el resto de los tratamientos. Al respecto, Tran y  
 368 Murakami (2015) mencionan que la exposición del género *Capsicum* a altas  
 369 temperaturas se afecta el peso, tamaño y número de semillas por fruto.

370  
 371 **Cuadro 5.** Rendimiento comercial, IDC y características físicas de frutos comerciales  
 372 secos de Chile Huacle a los 120 ddt.

	RC (g planta <sup>-1</sup> )	NFCP	IDC	Fruto				
				Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)	NSF	PSF (g)
T1	67.8 a	13.0 a	3.22 a	6.62 a	4.0 a	5.20 a	171 a	1.23 a
T2	59.8 ab	12.6 a	3.53 a	6.03 ab	3.7 ab	4.74 a	152 ab	1.27 a
T3	42.6 abc	11.5 ab	3.40 a	5.37 bcd	3.4 b	3.71 b	116 b	0.76 b
T4	30.8 bc	8.6 c	1.78 c	5.80 abc	3.3 b	3.58 b	109 b	0.57 b
T5	13.0 c	5.6 d	2.20 bc	5.01 cd	3.4 b	2.19 bc	129 ab	0.70 b
T6	24.1 c	10.5 bc	2.97 ab	4.52 d	3.3 b	2.30 c	113 b	0.72 b

373 Medias con letras distintas en columna presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05);  
 374 RC= rendimiento comercial; NFCP= número de frutos comerciales por planta; IDC=  
 375 índice de cosecha; NSF=número de semillas por fruto; PSF= peso de semillas por fruto.

376

### 377 Conclusiones

378

379 La combinación del acolchado plástico y mayor humedad en el suelo generó un  
 380 efecto positivo al aumentar el número de botones en 57%, flores en 83%, frutos en 45  
 381 %, el peso seco de hojas en 41.9%, el peso seco de frutos en 50.6%, el área foliar y el  
 382 índice de área foliar en 47% respecto al resto de los tratamientos.

383

384 El estrés hídrico influyó en las variables altura de planta, diámetro de tallo, peso seco  
 385 de tallo y largo de fruto siendo el T1 y T4 quienes mostraron los valores más altos.

386

387 El peso seco de fruto comercial parece estar influenciado por el acolchado plástico  
 388 debido a que T1, T2 y T3 presentaron valores estadísticamente superiores con respecto  
 389 a los tratamientos sin acolchado. Asimismo, la presencia del acolchado en T1 y T2  
 390 promovió un aumento en el rendimiento comercial, número de frutos comerciales por  
 391 planta e índice de cosecha en comparación a T4 y T5 respectivamente. Sin embargo,  
 392 T3 y T6 no mostraron este comportamiento para las mismas variables.

393  
 394 De los 30 a 60 ddt todos los tratamientos presentaron valores más altos en tasa de  
 395 asimilación neta y tasa de crecimiento relativo ( $0.11 \text{ g cm}^2 \text{ d}^{-1}$  y  $0.13 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ),  
 396 posteriormente tuvieron un comportamiento decreciente conforme el desarrollo del  
 397 cultivo, mientras que la tasa de crecimiento absoluto tuvo un comportamiento contrario,  
 398 presentando el mayor valor ( $2.72 \text{ g d}^{-1}$ ) durante el periodo de los 90 a 120 ddt.

## 400 Bibliografía

401  
 402 Aguilar, A., Vásquez, M. A., Katz, E., y Hernández, M. R. 2018. Los chiles que le dan  
 403 sabor al mundo: contribuciones multidisciplinarias. Xalapa, Veracruz, México:  
 404 Universidad Veracruzana, Dirección Editorial; Marsella, Francia: IDR Éditions. 318 p.

405 Aguilar, G., Vázquez, E. G., Castro, R., Cruz, E., y Jarquín, R. 2019. Germinación de  
 406 cultivares de frijol con características físicas contrastantes bajo condiciones de estrés  
 407 osmótico. Revista de Ciencias Agrícolas, 10(2):239-251.  
 408 doi:10.29312/remexca.v10i2.720

409 Aguilar, V. H., Corona, T., López, P., Latournerie, L., Ramírez, M., Villalón, H., y Aguilar,  
 410 J. A. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de  
 411 Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de  
 412 México. 114 p.  
 413 [https://www.researchgate.net/publication/235657255\\_Los\\_chiles\\_de\\_Mexico\\_y\\_su\\_distribucion](https://www.researchgate.net/publication/235657255_Los_chiles_de_Mexico_y_su_distribucion)

415 Alemán, R. D., Domínguez, J., Rodríguez, Y., Soria, S., Torres, R., Vargas, J. C., Bravo,  
 416 C., and Alba, J. L. 2018. Morphophysiological and productive indicators of the pepper  
 417 planted in the greenhouse and in the open field in the conditions of the Ecuadorian  
 418 Amazon. Revista Centro Agrícola, 45 (1):14-23.  
 419 [https://www.researchgate.net/publication/323596153\\_Indicadores\\_morfofisiologicos\\_y\\_productivos\\_del\\_pimiento\\_sembrado\\_en\\_invernadero\\_y\\_a\\_campo\\_abierto\\_en\\_las\\_condiciones\\_de\\_la\\_Amazonia\\_ecuatoriana](https://www.researchgate.net/publication/323596153_Indicadores_morfofisiologicos_y_productivos_del_pimiento_sembrado_en_invernadero_y_a_campo_abierto_en_las_condiciones_de_la_Amazonia_ecuatoriana)

422 Álvarez, F., y Pino, M. 2018. Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento  
 423 en Chile. Boletín INIA-Instituto de investigaciones Agropecuarias Ministerio de  
 424 Agricultura, 360, 41–57. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6651>

425 Amador, M. D., Velásquez, R., Sánchez, B. I., y Acosta, E. 2014. Floración y  
 426 fructificación de chile mirasol (*Capsicum annuum* L.) con labranza reducida, labranza  
 427 convencional o incorporación de avena en al suelo. Revista Mexicana de Ciencias  
 428 Agrícolas, 5(6):1001-1013. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131532008>

429 AOAC. 1990. AOAC Official Methods of Analysis. 15th Edition, Association of Official  
 430 Analytical Chemists, Arlington. 1970p.



- 431 Bahena, G., Bustos, A. J., Broa, E., and Jaime, M. A. 2012. Agronomic behavior of  
432 creole chili (*Capsicum annuum* L.) in fertirrigation with plastic mulch and row cover in  
433 Xalostoc, Morelos. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 4(1):19-24. doi:  
434 10.5154/r.inagbi.2011.11.11014.
- 435 Baxevanou, C., Bartzanas, T., Constantinou, K., and Dimitrios, F. 2008. Solar radiation  
436 distribution in a tunnel greenhouse. *Acta Horticultura*, 801(801):855-862. doi: 10.17660 /  
437 ActaHortic.2008.801.100
- 438 Chaves, N. F. and Gutiérrez, M. V. 2017. Crop physiological responses to high  
439 temperature stress. II Tolerance and agronomic treatment. *Agronomia Mesoamericana*,  
440 28(1): 255-271. doi:10.15517/am.v28i1.21904.
- 441 Cortés, C., Rodríguez, M. N., Benavides, A., García, J. L., Tornero, M., and Sánchez, P.  
442 2016. Iodine increases the growth and mineral concentration in sweet pepper seedlings.  
443 *Agrociencia*, 50(6):747-758. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n6/1405-3195-agro-50-06-00747.pdf>
- 445 Cosgrove, W. and Rijisberman, F., 2014. *World water vision: making water everybody's*  
446 *business*. 2a ed. FAO, Roma. 108p.
- 447 Cruz, O. R., Pérez, A., Martínez, G. A., and Morales, I. 2018. Macro tunnels coverings  
448 and their effect on the nutraceutical properties of "chile de agua". *Revista Fitotecnia*  
449 *Mexicana*, 41(4), 555-558. doi:10.35196/rfm.2018.4-A.555-558.
- 450 Dong, R., Myong, R., Sun, C., Seung, H., Je, S., and Hak, K. 2014. Variability of soil  
451 water content, temperature, and electrical conductivity in strawberry and tomato  
452 greenhouses in winter. *Journal of Biosystems Engineering*, 39(1), 39-46. doi:  
453 10.5307/JBE.2014.39.1.039.
- 454 Escalante, L., Trejo, R., Esquivel, O., Arreola, J.G., y Flores, A. 2008. Comparación de  
455 tasas fotosintéticas en algunas plantas cultivadas y malezas. *Revista Chapingo Serie*  
456 *Zonas Áridas*, 2(2):165-172. [www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545067006](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545067006).
- 457 Figueroa, I. E., Martínez, M. T., Rodríguez, J. E., Cruz, O., Beryl, M. T., Valle, S., y  
458 Ramírez, S. P. 2015. Capacidad antioxidante en variedades de pimiento morrón  
459 (*Capsicum annuum* L.). *Interciencia*, 40(10): 696-703.  
460 [https://www.researchgate.net/publication/322198377\\_Capacidad\\_antioxidante\\_en\\_variedades\\_de\\_pimiento\\_morrón\\_Capsicum\\_annuum\\_L](https://www.researchgate.net/publication/322198377_Capacidad_antioxidante_en_variedades_de_pimiento_morrón_Capsicum_annuum_L)
- 462 Flores, P., Franco, A., Hernández, J., Moreno, S., Hernández, J. L., y Pinedo, J. M.  
463 2018. Evaluación fisicoquímica y capacidad antioxidante de chiltepín silvestre de Nuevo  
464 León, México. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3:529-  
465 534. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/9/88.pdf>
- 466 Florido, M., y Bao, L. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum*  
467 *lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(3): 70-88.  
468 [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362014000300008&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000300008&lng=es&tlng=es)
- 470 García, V., Gómez, F. C., Trejo, L. I., Baca, G. A. and García, S. 2017. The Chilhuacle  
471 chili (*Capicum annuum* L.) in Mexico: Description of the variety, its cultivation, and uses.  
472 *International Journal of Agronomy*, 2017, 1-13. doi: 10.1155/2017/5641680.

- 473 Garrido, M., Silva, P., Silva, H., Muñoz, R., Baginsky, C., and Acevedo, E. 2013. Grain  
474 yield nine quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd) grown in Mediterranean  
475 environments differing in water availability. IDESIA (Chile), 31(2): 69-76.  
476 [https://www.researchgate.net/publication/255969255\\_Grain\\_yield\\_of\\_nine\\_quinoa\\_genotypes\\_Chenopodium\\_quinoa\\_Willd\\_grown\\_in\\_Mediterranean\\_environments\\_differing\\_in](https://www.researchgate.net/publication/255969255_Grain_yield_of_nine_quinoa_genotypes_Chenopodium_quinoa_Willd_grown_in_Mediterranean_environments_differing_in_water_availability)  
477 [\\_water\\_availability](https://www.researchgate.net/publication/255969255_Grain_yield_of_nine_quinoa_genotypes_Chenopodium_quinoa_Willd_grown_in_Mediterranean_environments_differing_in_water_availability)  
478
- 479 Hernández, A., Torres, V., García, J. C., y Ibarra, L. 2021. Efectos del color del  
480 acolchado plástico en la producción del melón: dos ciclos. Ecosistemas y Recursos  
481 Agropecuarios, 8(1): e2758.doi: 10.19136/era.a8n1.2758
- 482 Hunt, R. 1978. Plant Grow Analysis. Estudios in Biology No.96 Edward Arnold, London,  
483 67 p.
- 484 Inzunza, M. A., Catalán, E. A., Villa, M., López, R., and Sifuentes, E. 2017. Tomato  
485 response to types of mulch and drip irrigation levels. Revista Fitotecnia Mexicana, 40(1):  
486 9-16.  
487 [https://www.researchgate.net/publication/316853100\\_Tomato\\_response\\_to\\_types\\_of\\_pl](https://www.researchgate.net/publication/316853100_Tomato_response_to_types_of_plastic_mulch_and_drip_irrigation_levels)  
488 [astic\\_mulch\\_and\\_drip\\_irrigation\\_levels](https://www.researchgate.net/publication/316853100_Tomato_response_to_types_of_plastic_mulch_and_drip_irrigation_levels)
- 489 Inzunza, M. A., Villa, M., Catalán, E. A., and Román, A. 2010. Nutrient extraction and  
490 yield of jalapeño pepper under mulch plastic and irrigation levels. Terra  
491 Latinoamericana, 28(3):211-218. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v28n3/v28n3a3.pdf>
- 492 Kaur, S., Ghai, N., and Jindal, S. K. 2017. Improvement of growth characteristics and  
493 fruit set in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) Through IAA application. Indian Journal of  
494 Plant Physiology, 22(2): 213-220. doi: 10.1007/s40502-017-0293-0
- 495 López, P., Rodríguez, R., y Bravo, E. 2016. Impacto económico del chile huacle  
496 (*Capsicum annuum* L.) en el estado de Oaxaca. Revista Mexicana de Agronegocios,  
497 38:317-328. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/141/14146082010/html/index.html>
- 498 López, R., Inzunza, M. A., Sánchez, I., Fierro, A., and Sifuentes, E. 2015. Water use  
499 efficiency and productivity of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) based on two  
500 transplanting dates. Water Science and Technology, 71(6):885-891.  
501 doi:10.2166/wst.2015.040.
- 502 Lorenzo, P. 2012. El cultivo en invernaderos y su relación con el clima. Cuadernos de  
503 estudios agroalimentarios, 3: 23-44. [chrome-  
504 extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.  
505 w.publicacionescajamar.es%2Fpublicacionescajamar%2Fpublic%2Fpdf%2Fpublicacion  
506 es-periodicas%2Fcuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea%2F3%2F3-  
507 536.pdf&cLen=1940832&chunk=true](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.publicacionescajamar.es%2Fpublicacionescajamar%2Fpublic%2Fpdf%2Fpublicaciones-periodicas%2Fcuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea%2F3%2F3-536.pdf&cLen=1940832&chunk=true).
- 508 Manikharda., Takahashi, M., Arakaki, M., Yonamine, K., Hashimoto, F., Takara, K., and  
509 Wada, K. 2018. Influence of fruit ripening on color, organic acid contents, capsaicinoids,  
510 aroma compounds, and antioxidant capacity of shimatogarashi (*Capsicum frutescens*).  
511 Journal of Oleo Science, 67(1):113-123. doi: 10.5650/jos.ess17156.
- 512 Medeiros, A. M., Rodrigues, R., Costa, D. V., Pimenta, S., and Olivera, J. G. 2018. Non-  
513 parametric indexes in selecting hybrids of chili pepper. Horticultura brasileira, 36:27-32.  
514 doi: 10.1590/S0102-053620180105.

- 515 Mendoza, L. G., Mendoza, M. R., García, O., Azuara, E., Pazcual, L. A., and Jiménez,  
516 M. 2015. Physicochemical and antioxidant properties of jalapeño pepper (*Capsicum*  
517 *annuum* var. *annuum*) during storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(3): 229-  
518 241. doi: 10.5154/r.rchsh.2015.06.010.
- 519 Moreno, L. y Liz, P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una  
520 revisión. *Agronomía colombiana*, 27(2):179-191.  
521 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316234006>.
- 522 Paredes, J. R., Mendoza, R., Pérez, M. A., Robledo, V., y Moreno, S. 2018.  
523 Comportamiento agronómico de ecotipos de chile piquín bajo cubiertas foselectivas.  
524 *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 11(1):53-67. doi: 10.5154/r.inagbi.2018.05.011
- 525 Pliego, L., López, J., y Aragón, E. 2013. Características físicas, nutricionales y  
526 capacidad germinativa de frijol criollo bajo estrés hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias*  
527 *Agrícolas*, 4(6): 1197-1209.  
528 [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013001000011&lng=es&tlng=es)  
529 [09342013001000011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013001000011&lng=es&tlng=es).
- 530 Quesada, G. 2015. Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de  
531 agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Costarricense*, 39(1): 25-36.  
532 <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v39n1/a02v39n1.pdf>
- 533 Quezada, M. R., Munguía, J., Ibarra, L., Arellano, M. A., Valdez, L. A., and Cedeño, B.  
534 2011. Physiology and yield of bell pepper grown in different colored plastic mulch. *Terra*  
535 *Latinoamericana*, 29(4):421-430.  
536 [https://www.researchgate.net/publication/320611236\\_Physiology\\_and\\_Yield\\_of\\_Bell\\_Pe-](https://www.researchgate.net/publication/320611236_Physiology_and_Yield_of_Bell_Pepper_Grown_in_Different_Colored_Plastic_Mulch)  
537 [pper\\_Grown\\_in\\_Different\\_Colored\\_Plastic\\_Mulch](https://www.researchgate.net/publication/320611236_Physiology_and_Yield_of_Bell_Pepper_Grown_in_Different_Colored_Plastic_Mulch)
- 538 Quintal, W. C., Pérez, A., Latournerie, L., May, C., Ruiz, E. and Martínez, A. J. 2012.  
539 Water use, water potential and yield of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.).  
540 *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2):155-160.  
541 [https://www.researchgate.net/publication/298422121\\_Water\\_use\\_water\\_potential\\_and\\_](https://www.researchgate.net/publication/298422121_Water_use_water_potential_and_yield_of_habanero_pepper_Capsicum_chinense_Jacq)  
542 [yield\\_of\\_habanero\\_pepper\\_Capsicum\\_chinense\\_Jacq](https://www.researchgate.net/publication/298422121_Water_use_water_potential_and_yield_of_habanero_pepper_Capsicum_chinense_Jacq)
- 543 Ramchiary, N. and Kole, C. (Eds.). 2019. *The Capsicum genome*. New York: Springer.  
544 232p. doi: 10.1007/978-3-319-97217-6.
- 545 Ramos, B. I., Martínez, G. A., Morales, I., Escamirosa, C., y Pérez, A. 2017. Consumo  
546 de agua y rendimiento de tomate de cáscara bajo diferentes cubiertas de invernaderos.  
547 *Horticultura brasileira*, 35:265-270. doi:10.1590/s0102-053620170218.
- 548 Rao, N.K., Srinivasa, N. K., Shivashankara, K. S., and Laxman, R. H. (Eds.). 2016.  
549 *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*. New York: Springer. 368p. doi:  
550 10.1007/978-81-322-2725-0.
- 551 Rodríguez, A., Posadas, A. and Quiroz, R. 2014. Yield and nutrient uptake in sweet  
552 potato plants grown with salt and water stress. *Revista Chapingo Serie Horticultura*,  
553 20(1): 19-28. doi: 10.5154/r.rchsh.2013.01.001.

- 554 Sanjuan, J., Ortiz, Y.D., Aquino, T. and Cruz, S. 2020. Seed and seedling quality of  
555 three chilis (*Capsicum annuum* L.) native to Oaxaca, Mexico. *Ciência Rural*, 50(9):  
556 e20190921. doi: 10.1590/0103-8478cr20190921.
- 557 San Juan, J., Aquino, T., Ortiz, Y. D. and Cruz, I. 2019. Características de fruto y semilla  
558 de chile huacle (*Capsicum annuum* L.) producido en hidroponía. *IDESIA*,37(2)87-94.  
559 doi: 10.4067/S0718-34292019000200087.
- 560 SAS. User's guide, SAS/ETS 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA, 2004. 2426p.
- 561 Sezen, S. M., Yazar, A., and Tekin, S. 2019. Physiological response of red pepper to  
562 different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey.  
563 *Scientia Horticulturae*, 245: 280-288. doi: 10.1016/j.scienta.2018.10.037.
- 564 Steiner A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In*: Proceeding of the 6th  
565 International Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture.  
566 Wageningen, The Netherlands. pp:633-649.
- 567 Tran, T., and Murakami, K. 2015. Effect of high temperature on fruit productivity and  
568 seed-set of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in the field condition. *Journal of*  
569 *Agricultural Science and Technology A and B & Hue University Journal of Science*, 5  
570 (2015): 515-520. doi: 10.17265/2161-6256/2015.12.010.
- 571 Urbina, E., Cuevas, A., Reyes, J. C., Alejo, G., Valdez, L. A., y Vázquez, L. M. 2020.  
572 Solución nutritiva adicionada con NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para producción hidropónica de chile huacle  
573 (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3):291-298.  
574 doi:10.35196/rfm.2020.3.291.
- 575 Villalobos, V. M., Ávila, F., y García, M. (Eds.) 2017. El agua para la agricultura de las  
576 Americas. IICA, Colegio de Postgraduados: Fundación COLPOS.152p.
- 577 Yin, L., Xing, W., Juan, Z., Mao, Z., and Qiang, P. 2011. Response of hot pepper  
578 (*Capsicum annuum* L.) to mulching practices under planted greenhouse condition.  
579 *Agricultural Water Management*, 99(1): 111-120. doi: 10.1016/j.agwat.2011.07.010.
- 580 Zermeño, A., Marroquín, J. A., Melendres, A. I., Ramírez, H., Cadena, M., y Campos, S.  
581 A. 2019. Propiedades espectrales de la cubierta de macro túneles y su relación y  
582 rendimiento del chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamérica*, 37(3):253-  
583 260. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.473>.
- 584

## **CAPITULO IV. CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS Y DE FRUTOS DE TRES TIPOS DE CHILES DE OAXACA PRODUCIDOS EN INVERNADERO**

**Artículo publicado en Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico  
en Oaxaca (2020)**

**Citar:**

Sanjuan, J. (2020) Características vegetativas y de frutos de tres tipos de chiles de Oaxaca producidos en invernadero. *Contribución al Conocimiento y Tecnológico en Oaxaca* 4: 50-59.

**Disponible en:**

<https://web.ciidiroaxaca.ipn.mx/cccto/?q=num/4>

## CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS Y DE FRUTOS DE TRES TIPOS DE CHILES DE OAXACA PRODUCIDOS EN INVERNADERO

Sanjuan Martínez, Jair<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR-Unidad Oaxaca.

Autor para correspondencia: [jsanjuanm1600@alumno.ipn.mx](mailto:jsanjuanm1600@alumno.ipn.mx)

### Resumen

En la actualidad la producción de diferentes chiles nativos de Oaxaca se realiza a campo abierto, de manera tradicional y con un manejo poco tecnificado. Para poder proporcionar alternativas para la producción de estas especies en este trabajo se analizó el desarrollo de las plantas y frutos de chile de agua, huacle negro y pasilla oaxaqueño producido bajo cubierta y sistema hidropónico. Para ello, se establecieron 20 plantas de cada cultivo en macetas de 20 L rellenas de vermiculita distribuidas completamente al azar dentro de un invernadero. Mediante un sistema de riego localizado se suministró la solución nutritiva Steiner al 100%. Durante su desarrollo, quincenalmente, se registraron: altura de planta, grosor de tallo, número de botones florales, flores y frutos. A frutos verdes y maduros se les determinaron su peso fresco, largo, ancho, grosor de pericarpio y sólidos solubles totales. El chile pasilla tuvo la mayor altura (99 cm), grosor de tallo (1.62 cm) y número de frutos (24) por planta en comparación con los otros dos tipos. El chile huacle presentó el mayor número de botones florales (226) y flores (46). Además, en frutos maduros mostró el mayor ancho de frutos (4.5 cm) y sólidos solubles totales (16). Por último, en frutos maduros el chile de agua sobresalió en peso fresco (28.3 g), largo de fruto (10.5 cm) y grosor de pericarpio (3.0 mm). La producción de los tres chiles bajo invernadero y sistema hidropónico es una alternativa viable.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, fenología, hidroponía, nativo.

### Abstract

Currently the production of different chili peppers native to Oaxaca is carried out in the open field using traditional methods and very little technical management. In this research, in order to provide alternatives for the production of these species, the development of plants and

fruits of chile de agua, black huacle and pasilla oaxaqueño produced under cover using a hydroponic system is described. In the study, 20 plants of each crop were established in 20 L pots filled with vermiculite and distributed completely randomly inside a greenhouse. A 100% Steiner nutrient solution was dosed through a localized irrigation system. During their development plant height, stem thickness, and the number of flower buds, flowers and fruits were recorded fortnightly. The fresh weight of green and ripe fruits, their length and diameter, the thickness of the pericarp and the total soluble solids were measured. The pasilla chili plant had the greatest height (99 cm), stem thickness (1.62 cm) and number of fruits (24) per plant, compared to the other two types. The huacle chili presented the largest number of flower buds (226) and flowers (46). In addition, the huacle showed the largest diameter of ripe fruits (4.5 cm) and the most total soluble solids (16). Finally, in ripe fruits the chile de agua stood out in fresh weight (28.3 g), fruit length (10.5 cm) and pericarp thickness (3.0 mm). The production of these three chili peppers in a greenhouse under a hydroponic system is a viable alternative.

**Key words:** *Capsicum annuum*, phenology, hydroponics, native.

## Introducción

En México, la mayoría de los chiles pertenecen a la especie *Capsicum annuum* L., su consumo es principalmente en fresco, como el jalapeño o serrano, o secos, como el pasilla o mirasol (Lira *et al.*, 2016). En Oaxaca se consumen (entre otras especies) el chile de agua, el chile huacle negro y el pasilla oaxaqueño o pasilla “mixe”, que son cultivados a campo abierto en las regiones de los Valles Centrales, la Cañada y la región mixe; y son utilizados en la preparación de diversos platillos como: chiles rellenos,

mole negro oaxaqueño y “Chintextle” (Aguilar *et al.*, 2010; García *et al.*, 2017; Cruz *et al.*, 2018).

A pesar de la demanda comercial de estas especies de chile, su cultivo se sigue dando, mayormente, de manera tradicional y con poco manejo tecnificado (Aguilar *et al.* 2010). Una manera de hacer más eficiente la producción es implementar estructuras de protección (como invernaderos, mallas sobra, etc.), sistemas hidropónicos y la aplicación de soluciones nutritivas (Cruz *et al.*, 2014; Ayala *et al.*, 2015; Tapia *et al.*, 2016). Estos nuevos

sistemas de producción permiten el establecimiento de ciclos de producción durante todo el año, el mejoramiento del manejo fitosanitario y la reducción en el tiempo de producción (Moreno *et al.*, 2011).

Aunado a todas las estrategias antes mencionadas, identificar el comportamiento de crecimiento de las plantas permite diseñar calendarios adecuados para la aplicación de fertilizantes de acuerdo con las necesidades específicas del cultivo (Valentín *et al.*, 2013); y la programación de actividades agronómicas como la polinización (Moreno *et al.*, 2011) y cosecha (Elizondo y Monge, 2017)

Una manera de evaluar si las condiciones para la producción de cierto cultivo son idóneas es monitoreando los cambios visibles que presentan las plantas durante su ciclo de vida (Moreno *et al.*, 2011), como la altura de planta (Narez *et al.*, 2014), número de flores, frutos (Amador *et al.*, 2014) y tiempo de maduración de los mismos (Bosland y Votava, 2012).

En la actualidad se cuenta con poca información sobre el comportamiento del chile de agua, huacle negro y pasilla

oaxaqueño cultivado bajo condiciones de invernadero y sistema hidropónico. Por ello, el objetivo de este trabajo fue describir el desarrollo de plantas y las características de frutos verdes y maduros, para generar información que permita tomar decisiones para mejorar su manejo agronómico.

### **Materiales y métodos**

El experimento se realizó en un invernadero, tipo túnel sin ventila cenital con cubierta de polietileno, dentro de las instalaciones del CIIDIR-Oaxaca, ubicado en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca a 1530 m.s.n.m. Durante noviembre de 2017 a abril de 2018.

Para la siembra del almacigo se seleccionaron 200 semillas de cada tipo de chile, las cuales fueron previamente desinfectadas sumergiéndolas durante 10 minutos en una solución al 5% de hipoclorito de sodio (NaClO), posteriormente se realizaron cinco lavados con agua destilada. Se colocó una semilla por celda en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas con peat-moss y agrolita (2:1). Estas se colocaron dentro de una bolsa de plástico negro hasta la germinación de las semillas.



Posteriormente, fueron retiradas de la bolsa y diariamente se les aplicó un riego ligero con una regadera manual de la solución nutritiva Steiner al 25%. Una vez que las plántulas presentaron de 3 a 5 hojas verdaderas, 20 plantas de cada chile fueron trasplantadas en contenedores de 20 L rellenos con agrolita® y colocadas a doble hilera con 0.4 m de separación entre bolsas dejando un 1.0 m de pasillo, asegurando una densidad de 3.5 plantas por m<sup>2</sup>. Durante todo el experimento mediante un sistema de riego localizado (manguera Hydrogol® con goteros autocompensados con capacidad de 8 L/h y salida a cuatro estacas) fue distribuida la solución nutritiva Steiner al 100% aportando los nutrientes necesarios para el desarrollo del cultivo (Steiner, 1984). Durante el desarrollo del cultivo mediante un data logger marca Elitech® modelo RC-51H colocado en la parte central del invernadero a un metro de altura se registró cada hora la temperatura y humedad relativa durante el día los cuales fluctuaron entre 7.7 a 44.2 °C y de 20 a 89 % (Figura 1).

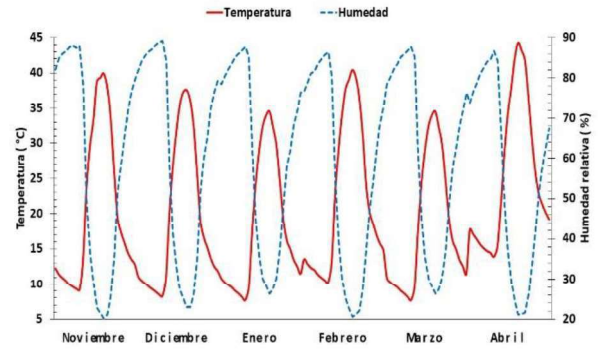


Figura 1. Valores promedio mensual de temperatura y humedad relativa registrados en el invernadero del CIIDIR-Oaxaca (2017-2018).

Cada 15 días después del trasplante (ddt), en 10 plantas sanas (por tipo de chile) se midió: altura de planta (cm) de la base del tallo hasta el punto más alto de la misma, grosor de tallo (cm) a los 5 cm de altura; así como, número de botones, flores y frutos.

Durante el desarrollo de las plantas se cosecharon 10 frutos verdes y maduros de cada especie de chile (Figura 2) a los cuales se les determinó: peso fresco (con una balanza con precisión 0.01g marca OHAUS® modelo Scout II), largo, ancho y grosor de pericarpio (con un vernier digital MITUTOYO modelo 500-196-30) y solidos solubles totales (con un refractómetro marca ATAGO escala 0 a 30

°Brix).

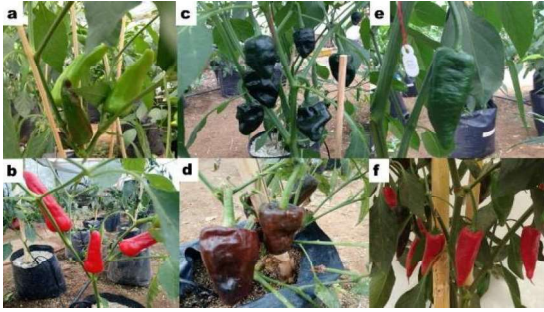


Figura 2. Frutos de chile de agua a) verde b) maduro, huacle c) verde d) maduro y pasilla e) verde f) maduro. (Fotografías del experimento)

Para la distribución de los tratamientos se utilizó un diseño completamente al azar considerando una planta por maceta como unidad experimental. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza y sometidos a comparación de medias Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) utilizando el programa SAS<sup>®</sup> versión 9.0. La regresión lineal se obtuvo con el programa *Microsoft Excel*.

## Resultados y discusión

### Altura de planta y grosor de tallo

La altura final de planta presentó diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ); sobresaliendo el chile pasilla con  $98 \pm 27$  cm y chile huacle  $95 \pm 12$  cm sobre los  $67 \pm 10$  cm del chile de agua. El chile

huacle ( $R^2 = 0.9581$ ) y pasilla ( $R^2 = 0.9499$ ) presentaron un comportamiento lineal alcanzando su altura máxima a los 120 ddt. Por su parte, el crecimiento del chile de agua se ajustó más a una ecuación polinomial de orden 2 ( $R^2 = 0.9253$ ; Figura 3). Esta variación puede ser el resultado de la expresión genética de los cultivos en respuesta a las condiciones climáticas (Vera *et al.*, 2016), ya que el chile huacle y pasilla se cultivan en dos regiones con características diferentes a la de los Valles Centrales de Oaxaca. Por su parte, los valores promedio para grosor de tallo fueron  $1.36 \pm 0.2$  cm para chile de agua,  $1.45 \pm 0.2$  cm para huacle y  $1.62 \pm 0.3$  cm para pasilla; esta característica es de suma importancia ya que un mayor grosor de tallo permite soportar una mayor carga de la parte aérea de la planta, que incluye tallos, hojas y frutos.

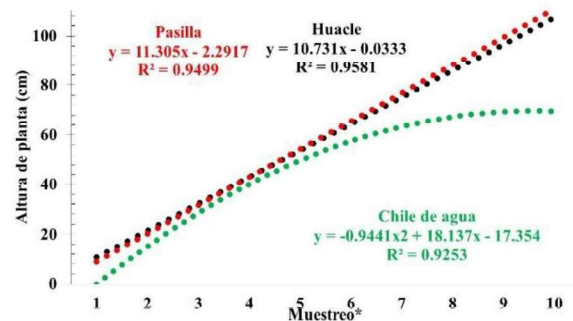


Figura 3. Crecimiento de chiles nativos de Oaxaca cultivados bajo invernadero y

sistema hidropónico. \*muestreros realizados cada 15 días.

#### Número de botones, flores y frutos

A los 75 ddt, todos los cultivos mostraron el mayor número de botones presentando diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ). El chile huacle sobresalió con un promedio de  $226 \pm 55$  botones por planta sobre los  $141 \pm 30$  del chile pasilla y  $133 \pm 51$  del chile de agua. Quince días después, presentaron su mayor número de flores teniendo en promedio  $46 \pm 29$  para chile huacle,  $44 \pm 10$  para pasilla y  $25 \pm 12$  para chile de agua. Dicha reducción se puede atribuir a la exposición de temperaturas superiores a los  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 1) ocasionando la abscisión de dichos órganos (Kaur *et al.*, 2017) combinado con una deficiencia de nitrógeno y fósforo tal como lo reportaron Silva *et al.* (2017) para el cultivo de pimiento producido en hidroponía. Las plantas de chile de agua tuvieron en promedio  $14 \pm 3$  frutos y presentaron la mayor cantidad a los 105 ddt, mientras que el chile huacle tuvo  $17 \pm 6$  y el pasilla  $24 \pm 4$  con la mayor cantidad a los 120 ddt. Los resultados anteriores indican que, mediante este sistema de producción con un mejor control de las condiciones ambientales, nutricionales y de

polinización se podría aumentar el amarre de frutos y por tanto el rendimiento.

#### Frutos

De manera general se observaron diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) en las características de los frutos (Tabla 1). Se puede apreciar que los frutos verdes y maduros de chile de agua fueron más largos, pero menos ancho que el chile huacle; además, estos últimos presentaron el menor grosor de pericarpio. Esta diferencia puede deberse a la variación genética de cada cultivo ya que el genotipo influye mayormente en el diámetro y peso (Moreno *et al.*, 2011). Mientras que el factor nutrimental influye en la longitud del fruto (López *et al.*, 2017). Por su parte, Luitel y Kang (2013) mencionan que la acumulación de materia seca es un factor regulado genéticamente por la planta.

Durante el proceso de maduración, los frutos de chile de agua aumentaron su concentración de sólidos solubles totales en 5.3, huacle en 10.8 y pasilla en 3.0. Lo que indica que durante el proceso de maduración se presentan cambios físicos y químicos que podrían repercutir en la calidad final del producto si estos son cosechados en un estado inapropiado tal

como lo mencionan Palacio y Sánchez (2017) para pimiento morrón.

Las dimensiones encontradas en este estudio en frutos de chile de agua fueron superiores a las reportadas por Castellón *et al.* (2014) quienes reportaron un rango de

4.48 a 6.59 cm de largo al caracterizar distintas colectas del mismo cultivo. Por su parte, los frutos de chile huacle se encuentran en el rango reportado por Bosland y Votava (2012) quienes reportan un rango de 5.0 a 7.5 y 4.0 a 6.0 cm de largo y ancho respectivamente.

Tabla 1. Características de frutos verdes y maduros de tres chiles nativos de Oaxaca

Cultivo	Frutos verdes					Frutos maduros				
	PF	L	A	GP	SST	PF	L	A	GP	SST
	(g)	(cm)	(cm)	(mm)	(°Brix)	(g)	(cm)	(cm)	(mm)	(°Brix)
C. de agua	22.3 a	10.3 a	2.9 b	2.4 a	4.6 b	28.3 a	10.5 a	3.0 b	3.0 a	9.9 b
Huacle	20.7 a	6.3 b	3.7 a	1.9 b	5.2 ab	22.3 ab	6.3 b	4.5 a	1.5 c	16 a
Pasilla	19.8 a	7.4 b	2.8 b	2.3 a	6.0 a	17.5 b	7.3 b	2.8 b	2.5 b	9.0 b

Promedios con diferente letra en columnas muestran diferencias significativas (Tukey, 0.05). PF= peso fresco, L= largo, A= ancho, GP= grosor de pericarpio, SST= solidos solubles totales.

### Conclusión

Los resultados de la caracterización muestran que bajo un sistema de agricultura protegida se obtienen plantas con buena altura, grosor de tallo y un número elevado de botones. Sin embargo, se disminuye en más del 50% el número de flores y frutos respecto al número de botones. A pesar de ello, los frutos obtenidos presentan un tamaño similar a los reportado por otros autores.

### Bibliografía

- Cevallos Ferriz, Sergio R. S.. (2011). Los chiles de México y su distribución. *Revista fitotecnia mexicana*, 34(1), 2-3. Recuperado en 17 de septiembre de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802011000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000100002&lng=es&tlng=es).
- Amador, M. D., Velásquez, R., Sánchez, B. I. & Acosta, E. (2014). Flowering and fruiting of mirasol pepper (*Capsicum*

- annuum* L.) with minimum tillage, conventional tillage or addition of oats to the soil. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1001-1013.
- Ayala-Tafoya, F., Sánchez-Madrid, R., Partida-Ruvalcaba, L., Yáñez-Juárez, M. G., Ruiz-Espinoza, F. H., Velázquez, T. J., Valenzuela-López, M. & Parra-Delgado, J. M. (2015). Bell pepper production under colored shade nets. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(1), 93-99.
- Bosland, P. W. & Votava, E. J. (2012). Peppers: Vegetable and Spice Capsicums (2nd ed). CABI, USA. 230p.
- Castellón-Martínez, E., Carrillo-Rodríguez, J.C., Chávez-Servia, J.L. & Vera-Guzmán, A.M. (2014). Phenotype variation of chile morphotypes (*Capsicum annuum* L.) native to Oaxaca, Mexico. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 83,225-236.
- Cruz-Andrés, O.R., Pérez-Herrera, A., Martínez-Gutiérrez, G. A. & Morales, I. (2018). Macro tunnels coverings and their effect on the nutraceutical properties of “chile de agua”. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4), 555-558.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P. & Alejo-Santiago, G. (2014). Leaf nutrient concentration and plant growth of chili serrano in relation to nutrient solution and substrate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 289–295.
- Elizondo-Cabalceta, E. & Monge-Pérez, J. E. (2017). Quality and yield evaluation of 12 sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes grown under greenhouse conditions in Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(2), 36-47.
- García-Gaytán, V., Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Baca-Castillo, G. A. & García-Morales, S. (2017). The Chilhuacle chili (*Capicum annuum* L.) in Mexico: Description of the variety, its cultivation, and uses. *International Journal of Agronomy*, 1-13.
- Kaur, S., Ghai, N. & Jindal, S.K. (2017). Improvement of growth characteristics and fruit set in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) Through IAA application. *Indian Journal of Plant Physiology*, 22(2), 213-220.
- Lira R., Casas A. & Blancas J.J. (eds) (2016). Chili peppers (*Capsicum* spp.). Ethnobotany of Mexico: Interactions of

- people and plants in Mesoamerica. Springer, 417-437p.
- López-Gómez, J.D., Villegas-Torres, O.G., Sotelo, H., Andrade, M., Juárez, P. & Martínez, E. (2017). Rendimiento y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1747-1758.
- Luitel, B. P. & Kang, W. H. (2013). Assessment of fruit quality variation in doubled haploids of minipaprika (*Capsicum annuum* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(3), 257-265.
- Moreno, E. C., Mora, R., Sánchez, F. & García-Pérez, V. (2011). Phenology and yield of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) hybrids grown hydroponically. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 17(2), 5-18.
- Moreno, A., Aguilar, J. & Luévano, A. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 15(29), 763-774.
- Narez-Jiménez, C. A., Cruz-Lázaro, E., Gómez-Vázquez, A., Márquez-Quiroz, C. & García-Alamilla, P. (2014). Collection and *in situ* morphological characterization of peppers (*Capsicum* spp.) cultivated in Tabasco, México. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 20(3), 269-281.
- Palacio, A. & Sánchez, E. (2017). Influence of the variety, rootstock and harvest time on the quality and maturity indices in bell pepper. *Nova scientia*, 9(19), 1-23.
- Silva, A.S., Wamser, F., Nowaki, R.H., Cecilio, A.B. & Mendoza-Cortez, J.W. (2017). Symptoms of macronutrients deficiency in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Agrociencia Uruguay*, 21(2), 31-43.
- Steiner, A. A. (1984). The universal solution. Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Tapia-Vargas, M., Larios-Guzmán, A., Díaz-Sánchez, D.D., Ramírez-Ojeda, G, Hernández-Pérez, A., Vidales-Fernández, I. & Guillén-Andrade, H. (2016). Producción hidropónica de chile habanero negro (*Capsicum Chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 241-245.
- Valentín-Miguel, M. C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J.E. & Pérez-Grajales, M. (2013). Macronutrient extraction in pepper “chile de agua”

(*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 19(48), 71-78.

Vera-Sánchez, K.S., Cadena-Iñiguez, J., Latournerie-Moreno, L., Santiaguillo-Hernández, J.F., Rodríguez-Contreras, A., Basurto-Pena, F.A., Castro-Lara, D.,

Rodríguez-Guzmán, E., López-López, P. & Ríos-Santos, E. (2016). Conservación y utilización sostenible de las Hortalizas Nativas de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, México. 132p.

## **CAPÍTULO V. EVALUACIÓN *ex situ* DE SEIS CHILES NATIVOS DE OAXACA EN INVERNADERO**

**Artículo en proceso de aceptado en la revista SOMUCAAB (2022)**

Sanjuan-Martínez, J., Ortiz-Hernández, Y. D., Aquino-Bolaños, T., Cruz-Izquierdo, S. y Pérez-Pacheco, R. (2022) Evaluación *ex situ* de seis chiles nativos de Oaxaca en invernadero. Revista Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología



Morelia, Michoacán, 17 de mayo de 2022.

Asunto: *Carta aceptación*

Estimada **Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández**

Su envío RCAAB0024 EVALUACIÓN ex situ DE SEIS CHILES NATIVOS DE OAXACA EN INVERNADERO, por Sanjuan-Martínez Jair, Ortiz-Hernández Yolanda Donají , Aquino-Bolaños Teodulfo, Cruz-Izquierdo Serafín y Pérez-Pacheco Rafael, sometido a la Revista Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología, ha sido **ACEPTADO** para su publicación en la revista, edición 2022.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Comisión editorial



Dr. Alfonso Luna Cruz



**SOMUCAAB**  
Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias  
Agronómicas Aplicadas y Biotecnología AC  
R.F.C. MCA 190222 UM7

# EVALUACIÓN *ex situ* DE SEIS CHILES NATIVOS DE OAXACA EN INVERNADERO

## RESUMEN

Oaxaca tiene amplia diversidad de chiles de gran importancia cultural y culinaria, además de ser fuente de ingresos para las familias rurales. Sin embargo, la información agronómica para la selección de materiales es escasa. El objetivo de este estudio fue comparar 11 variables agronómicas en seis morfotipos de chiles nativos de Oaxaca: chile de Agua, Coxle, Pasilla Mixe, Tabiche, Huacle amarillo y negro, todos cultivados *ex situ* en invernadero tipo túnel y con hidroponía. Se emplearon 20 plantas por morfotipo, bajo un diseño completamente al azar. Las medias de las variables fueron comparadas usando la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). En los morfotipos de chile, la altura de planta fluctuó de 75.9 a 125.6 cm, el diámetro del tallo de 0.7 a 1.3 cm y el número de semillas por fruto de 83 a 184. En el chile Huacle negro se registró el mayor peso de mil semillas (8.74 g). El chile Tabiche presentó el mayor número de frutos (34/planta) y el chile de Agua el menor número de frutos por planta (9), esto no implicó que hubiera diferencias significativas en el rendimiento por planta y en el índice de productividad de agua. Estos parámetros pueden ser útiles para la selección de materiales, y para planes de conservación y mejoramiento genético.

**Palabras claves:** *Capsicum*, hidroponía, morfotipo

## ABSTRACT

Oaxaca has a wide diversity of chili peppers, of great cultural and culinary importance as well as being a source of income for rural families; however, agronomic information for the selection of materials is scarce. The objective of this study was to compare 11 agronomic variables in six morphotypes of native chili peppers from Oaxaca: chili de Agua, Coxle, Pasilla Mixe, Tabiche, Huacle Amarillo and Negro, cultivated *ex situ* in a tunnel-type greenhouse and with hydroponics. Twenty plants per morphotype were used under a completely randomized design. The means of the variables were compared using Tukey's test ( $\alpha=0.05$ ). In the chili morphotypes, plant height ranged from 75.9 to 125.6 cm, stem diameter ranged from 0.7 to 1.3 cm, the number of seeds per fruit ranged from 83 to 184, and the black huacle chile had the highest thousand-seed weight (8.74 g). Tabiche chili presented the highest number of fruits (34/plant); on the other hand, Agua chili produced 9 fruits per plant, which did not imply that there were significant differences in yield per plant and the water productivity index. These parameters can be useful for the selection of materials, and for conservation and genetic improvement plans.

**Key words:** *Capsicum*, hydroponic, morphotypes

## INTRODUCCIÓN

Las investigaciones y datos genéticos sugieren que el *C. annuum* fue domesticado en México procedente del chile piquín, chile chiltepín, chiltepec (Russo, 2012; Lira *et al.*, 2016) y presenta amplia diversidad en tamaño, forma, coloración y componentes químicos los cuales, son utilizados

38 ampliamente como: alimentos, ingrediente en medicamentos, cosméticos, en arreglos ornamentales y  
 39 rituales ceremoniales (Bosland y Votava, 2012; Charles, 2013; Lim, 2013)  
 40 Al respecto, Oaxaca es el estado con mayor diversidad de chiles nativos en México entre los cuales  
 41 están: el chile de Agua, Pasilla oaxaqueño o Mixe, Coxle, Tabiche, Huacle negro y Huacle amarillo  
 42 (Vera-Sánchez *et al.*, 2016; Sanjuan-Martínez *et al.*, 2020), todos de gran valor cultural, social y  
 43 económico. Su comercialización puede ser en fresco y/o seco (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). A pesar de  
 44 la gran diversidad de chiles nativos del estado de Oaxaca, en las estadísticas de producción de chiles  
 45 reportadas por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021) solo están  
 46 considerados el chile de Agua y Pasilla, dejando fuera al resto debido a la baja superficie de siembra  
 47 y bajos rendimientos. Por otra parte, las características agronómicas como altura y diámetro de planta,  
 48 largo, ancho, color y forma de fruto, tamaño, forma, peso y color de semillas permiten reconocer la  
 49 variación presente en un cultivo en campo (IPGRI, 1995), identificando características que pueden ser  
 50 de interés para la selección en planes de mejoramiento genético (Leyva *et al.*, 2018).  
 51 Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue comparar 11 parámetros agronómicos: la altura de  
 52 planta, diámetro de tallo, número de frutos por planta, materia seca, rendimiento, índice de productividad  
 53 de agua, número de semillas por fruto, largo, ancho área y peso de mil semillas de seis morfotipos de  
 54 chiles nativos de Oaxaca cultivados *ex situ* bajo cubierta y sistema hidropónico.

55

## 56 MATERIALES Y MÉTODOS

57 En el año 2019 se realizó la colecta de frutos y semillas de chile de Agua, Pasilla Mixe, Coxle, Tabiche,  
 58 Huacle amarillo y Huacle negro en las localidades donde se producen (Cuadro 1 y Figura 1).

59

60 Cuadro 1. Sitios de colecta de chiles nativos de Oaxaca.

Morfotipo	Municipio	Altitud (msnm)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Coordenadas L.N. y L.O.
De Agua	Ocotlán de Morelos	1500	18-22	600-700	16° 47' 29" 96° 40' 30"
Coxle	Santa María Tecmovaca	615	14-26	300-1000	17° 57' 20" 97° 1' 21"
Huacle amarillo	Valerio Trujano	619	20-26	400-600	17° 46' 29" 96° 58' 50"
Huacle negro	San Juan Bautista Cuicatlán	620	14-26	400-1100	17° 48' 0" 96° 57' 41"
Pasilla Mixe	Santiago Zacatepec	1318	16-26	1000-1800	17° 9' 30" 95° 54' 50"
Tabiche	Miahuatlán de Porfirio Díaz	1556	12-24	500-1000	16° 19' 44" 96° 35' 46"

61 L.N. Latitud Norte. L.O. Latitud Oeste. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2021),

62 consultado en <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=20>



63

64 Figura 1. Chiles nativos de Oaxaca con diferente estado de madurez. a) chile de Agua, b) Coxle, C)  
 65 Pasilla Mixe, d) Tabiche, e) Huacle amarillo y f) Huacle negro. Fotografías de Jair Sanjuan-Martínez.

66

67 **Ubicación.** El experimento se realizó de enero-agosto de 2020, en un invernadero tipo túnel sin ventila  
 68 cenital y paredes laterales con malla antiáfidos, en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, a 1537  
 69 msnm, L. N. 17°01'46", L. O. 96°44'07" donde predomina un clima subhúmedo, semicálido (BS1h), con  
 70 temperatura promedio anual de 20.4 °C (9.1 a 32 °C) y la precipitación anual es de 600-700 mm  
 71 (INEGI,2021).

72 **Almácigo.** Se tomaron al azar 100 semillas sanas de cada morfotipo y se sembraron en charolas de  
 73 200 cavidades con sustrato de peat-moss y agrolita® en una proporción 2:1, diariamente se les  
 74 suministró un riego ligero con la solución nutritiva Steiner al 25% (Sanjuan-Martínez *et al.*, 2020).

75 **Trasplante y Desarrollo.** Cuando las plántulas presentaron de tres a cinco hojas verdaderas, se  
 76 tomaron al azar 20 plantas de cada morfotipo y fueron trasplantadas en bolsas de plástico de 20 L con  
 77 sustrato de agrolita®, las cuales fueron distribuidas en filas a doble hilera, con un marco de plantación  
 78 de 1.0 m entre bolsas y 0.5 m entre hileras dejando un metro de pasillo (San Juan *et al.*, 2019). Durante  
 79 el crecimiento y desarrollo de las plantas, a través de un sistema de riego localizado se distribuyó la  
 80 solución nutritiva Steiner al 100%, utilizando goteros autocompensados con un gasto de 8L/h y salida a  
 81 cuatro estacas. El cultivo se manejó a libre crecimiento y se colocó un tutor por bolsa para sostén de la  
 82 planta evitando su caída por efecto del peso de los frutos (Sanjuan, 2020).

83 **Toma de datos.** Iniciada la cosecha de frutos, por morfotipo se seleccionaron diez plantas sanas para  
 84 registrar la altura de planta y diámetro de tallo. Al final del ciclo: se registró el número de frutos por  
 85 planta, rendimiento de frutos fresco por planta e índice de productividad de agua (Quintal *et al.*, 2012).

86 En 20 frutos sanos de cada morfotipo se obtuvo: el porcentaje de materia seca y el número de semillas  
 87 por fruto, de estas últimas, se determinó: largo, ancho y área, para ello se digitalizaron 400 semillas  
 88 sanas tomadas al azar de cada morfotipo con un escaner Epson® L555 a una resolución de 300dpi y  
 89 posteriormente fueron analizadas con ayuda del programa ImageJ 1.5 (National Institutes of Health, USA)  
 90 (Sanjuan *et al.*, 2020). Se determinó el peso de 1000 semillas siguiendo la metodología propuesta por  
 91 la ISTA (2012).

92 **Diseño experimental y análisis estadístico** El diseño experimental fue completamente al azar, cada  
 93 planta fue considerada como una unidad experimental. Los datos obtenidos fueron sometidos a un  
 94 análisis de varianza y prueba de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ) utilizando el programa SPSS versión 22.

95

## 96 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

97 La altura de planta presentó una diferencia del 40% entre el valor más alto y el más bajo, clasificando a  
 98 la mitad de los morfotipos con una altura menor a 1.0 m y el resto mayor de 1.0 m (Cuadro 2). El diámetro  
 99 de tallo presentó el mismo comportamiento con una diferencia significativa (Tukey, 0.05) entre plantas  
 100 con valor menor y mayor a 1.0 cm. La diferencia en ambas variables puede ser atribuido a las  
 101 condiciones ambientales diferentes a las de su lugar de origen; al respecto, se ha reportado que factores  
 102 como la radiación (Zermeño *et al.*, 2019) y nutrición (López *et al.*, 2017) son factores que afectan estas  
 103 variables.

104

105 Cuadro 2. Características agronómicas de seis chiles nativos de Oaxaca cultivados en invernadero y  
 106 sistema hidropónico.

Morfotipo	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Frutos por planta	MSF (%)	Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )	IPA (g L <sup>-1</sup> )
de Agua	75.86 b	0.74 b	9.5 b	13.9 c	216.23 a	2.45 a
Coxle	91.12 b	1.13 a	18.8 b	21.1 a	262.88 a	1.91 a
H. amarillo	114.54 a	1.08 a	17.0 b	18.0 b	280.35 a	2.10 a
H. negro	81.57 b	0.85 b	15.2 b	16.4 bc	236.77 a	1.77 a
Pasilla Mixe	121.73 a	1.27 a	20.7 b	8.8 d	263.38 a	1.91 a
Tabiche	125.58 a	1.10 a	34.0 a	18.3 ab	238.56 a	1.77 a

107 Medias con letras distintas en columna presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). MSF= materia  
 108 seca de frutos en porcentaje; IPA=Índice de productividad de agua.

109

110 El número de frutos por planta de todos los morfotipos fue menor al 50% de los valores (61, 46 y 62)  
 111 reportados por Martínez *et al.* (2014) para los chiles nativos de Oaxaca: Miahuateco, de Agua y Bolita.  
 112 Al respecto, se ha reportado que las dimensiones del fruto es un factor que influye en el número de  
 113 frutos por planta (Montaño y Belisario, 2012). Sin embargo, en este estudio, a pesar de presentar un  
 114 intervalo amplio de 9 a 34 frutos por planta en los morfotipos evaluados, no presentaron diferencias

115 significativas en el rendimiento de fruto fresco que en promedio fue 249.7 g por planta, debido a ello el  
 116 índice de productividad de agua no presentó diferencias significativas el cual, tuvo un valor promedio de  
 117 1.98 g L<sup>-1</sup> (Cuadro 2). El porcentaje de materia seca de frutos presentó diferencias significativas (Tukey,  
 118 0.05) con una fluctuación del 8.8 al 21.1 %. A excepción del chile de Agua, esta propiedad es de gran  
 119 importancia porque los frutos son comercializados en seco. Al respecto, Luitel y Kang (2013) mencionan  
 120 que la acumulación de materia seca en frutos es un factor determinado por el genotipo de la planta.  
 121 En las características de las semillas se presentaron diferencias significativas (Tukey, 0.05), el chile de  
 122 Agua presentó 54.9% más semillas por fruto con respecto al chile Huacle amarillo y Tabiche (Cuadro  
 123 3). Hernández *et al.* (2012) mencionan que el tamaño y peso de la semilla de poblaciones de chiles  
 124 silvestres se encuentra influenciada por la precipitación y temperatura media anual del lugar de origen,  
 125 lo cual pudo afectar en este experimento ya que los diferentes morfotipos provienen de localidades con  
 126 diferentes condiciones edafoclimáticas (Cuadro 1) y cultivadas comúnmente a campo abierto.

127

128 Cuadro 3. Características de semillas de seis chiles nativos de Oaxaca cultivados en invernadero y  
 129 sistema hidropónico.

Morfotipo	NSF	Largo (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso de 1000 (g)
de Agua	184 a	5.04 d	4.32 d	17.1 c	6.133 bc
Coxle	132 ab	4.93 e	4.28 d	16.6 d	6.907 b
H. amarillo	83 b	5.53 b	4.60 c	20.0 b	6.737 b
H. negro	109 b	5.74 a	4.83 a	21.8 a	8.741 a
Pasilla Mixe	112 b	5.40 c	4.73 b	20.1 b	6.335 b
Tabiche	83 b	5.02 d	4.27 d	16.9 cd	5.507 c

130 Medias con letras distintas en columna presentan diferencia significativa (Tukey, 0.05). NSF= número  
 131 de semillas por fruto.

132

133 En la actualidad, la tendencia para la conservación y producción intensiva de estos materiales genéticos  
 134 nativos, es bajo ambientes protegido y nutrición controlada, evitando daños por plagas y enfermedades  
 135 que de manera natural se encuentran en campo abierto; sin embargo, aún falta realizar investigaciones  
 136 que estudien la situación actual de los cultivos y su posible potencial bajo estos sistemas, analizando  
 137 datos que permitan identificar características de interés tanto para el consumidor como para futuras  
 138 investigaciones.

139

#### 140 CONCLUSIONES

141 Los morfotipos evaluados se pueden clasificar de acuerdo a la altura de la planta (>1.0 m y <1.0 m) y al  
 142 diámetro del tallo (>1.0 cm y <1.0 cm). El chile tabiche presentó mayor número de frutos por planta (34).  
 143 Sin embargo, fue similar el rendimiento promedio de fruto fresco por planta (249.69 g) e índice de

144 productividad de agua (1.98 g L<sup>-1</sup>). Estas características pueden ser útiles para la selección de  
145 materiales con potencial para planes de conservación y mejoramiento genético.

146

#### 147 **AGRADECIMIENTOS**

148 Al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento otorgado a través del proyecto SIP-IPN 20200340  
149 y 20220404. Al CONACYT y a la SIP-IPN-BEIFI por las becas otorgadas al primer autor.

150

#### 151 **BIBLIOGRAFÍA**

152 Aguilar-Rincón, V. H., Corona, T., López P., Latournerie, L., Ramírez, M., Villalón, H., y Aguilar, J. A.  
153 (2010) Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal,  
154 UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.

155 Bosland, P. W. & Votava, E. L. (2012) Peppers: Vegetable and Spice *Capsicums* (2nd ed). CABI, USA,  
156 230p.

157 Charles D. J. (ed) (2013) Antioxidant Properties of spices, herbs and other sources. Springer, 612p.

158 Hernández, S., Porras, F., Pacheco, A., López, R. G., Villarreal, M., Parra, S., y Osuna, T. (2012).  
159 Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var.  
160 *glabriusculum*) silvestre del noreste de México. *Polibotanica*, 33:175-191.

161 INEGI (2021). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en  
162 <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=20> (Fecha de consulta 29-VIII-2021).

163 IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute) (1995) Descriptores para *Capsicum* spp. Instituto  
164 Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Centro Asiático para el Desarrollo y la  
165 Investigación Relativos a los Vegetales, Taipei, Taiwán y Centro Agronómico Tropical de Investigación  
166 y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 52p.

167 ISTA. (2012). International Rules for Seed Testing. Zurich, Switzerland International Seed Testing  
168 Association. 243p.

169 Leyva, O. R., Andrés, P., del Valle, D., Meneses, I., Murguía, J., Galindo, M. E., López, H., Serna, R.,  
170 Del Rosario, L., Lee, H.E., Sierra, M., y Espinoza, A. (2018). Caracterización morfológica de poblaciones  
171 de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) en la región centro del estado de Veracruz,  
172 México. *Revista Bio Ciencias*, 5, 1-11.

173 Lim T. K. (ed) (2013) Edible Medicinal and non-medicinal plants. Springer, 606p.

174 Lira R., Casas, A. y Blancas, J. (eds) (2016) Ethnobotany of Mexico: Interactions of people and plants  
175 in Mesoamerica. Springer, 560 p.

176 López, J.D., Villegas, O.G., Sotelo, H., Andrade. M., Juárez, P., & Martínez, E. (2017). Yield and quality  
177 of habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.) by effect of nutritional regimen. *Revista Mexicana de*  
178 *Ciencias Agrícolas*, 8(8):1747-1758.

179 Luitel, B. P., & Kang, W. H. (2013). Assessment of fruit quality in doubled haploids of minipaprika  
180 (*Capsicum annuum* L.). *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 54(3):257-265.

181 Martínez, R., Méndez, I., Castañeda, H. M., Vera, A. M., Chávez, J. L., & Carrillo, J. C. (2014).  
182 Interpopulation heterosis for agromorphology and capsaicinoids in native peppers from Oaxaca. *Revista*  
183 *Fitotecnia Mexicana*, 37(3):199-207.

184 Montaña, N. J., & Belisario, H. C. (2012) Agronomic behavior of seven pepper (*Capsicum annuum* L.)  
185 cultivars. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(1): 32-44.

186 Quintal, W. C., Pérez, A., Latournerie, L., May, C., Ruiz, E. & Martínez, A. J. (2012). Water use, water  
187 potential and yield of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana*,  
188 35(2):155-160.

189 Russo V. M. (ed) (2012) Peppers: Botany, production and uses. CABI, 280p.

190 San Juan, J., Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., & Cruz-Izquierdo, S. (2019) Fruit and seed  
191 characteristics of chile huacle (*Capsicum annuum* L.) produced in hydroponics. *IDESIA* 37(2): 87-94.

192 Sanjuan-Martínez, J., Ortiz-Hernández, Y. D., Aquino-Bolaños, T. & Cruz-Izquierdo, S. (2020). Seed and  
193 seedling quality of three chilis (*Capsicum annuum* L.) native to Oaxaca, Mexico. *Ciencia Rural*, 50 (9),  
194 e20190921.

195 Sanjuan, J. (2020) Características vegetativas y de frutos de tres tipos de chiles de Oaxaca producidos  
196 en invernadero. *Contribución al Conocimiento y Tecnológico en Oaxaca* 4: 50-59.

197 SIAP (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en  
198 <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Fecha de consulta 25-VIII-2021).

199 Vera-Sánchez, K.S., Cadena-Iñiguez, J., Latournerie-Moreno, L., Santiaguillo- Hernández, J.F.,  
200 Rodríguez-Contreras, A., Basurto-Pena, F.A., Castro-Lara, D., Rodríguez-Guzmán, E., López-López, P.  
201 & Ríos-Santos, E. (2016). Conservación y utilización sostenible de las Hortalizas Nativas de México.  
202 Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, México. 132p.

203 Zermeño, A., Claveria, G. L., Melendres, A. I., Ramírez, H., Munguía, J. P., Campos, S. G., y Cadena,  
204 M. (2019) La cubierta plástica y su relación con la radiación, crecimiento y rendimiento de un cultivo de  
205 pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). *Agrociencia*, 53: 709-723.



## CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que:

El cultivo de chile Huacle negro es apto para su producción bajo cubierta y sistemas hidropónicos con una solución Steiner para no afectar parámetros de calidad en semillas y frutos.

Las semillas de chile de Agua, Pasilla “mixe” y Huacle negro, presentan variación física y fisiológica entre ellas; en cambio, las semillas de chile Huacle son similares a las de un pimiento comercial. Asimismo, las semillas germinadas bajo condiciones controladas de los tres chiles nativos, a los 33 días alcanzan las características mínimas deseables de plántula (altura y número de hojas).

La disponibilidad hídrica a una tensión de retención mayor de 20 kPa afecta el crecimiento y desarrollo del chile Huacle negro bajo invernadero; sin embargo, el uso del acolchado plástico produjo mayor número de frutos comerciales por planta y por ende mayor rendimiento comercial.

La producción bajo cubierta y sistema hidropónico de los chiles de Agua, Pasilla “mixe” y Huacle negro afecta el amarre del número de frutos respecto al número de flores. En cambio, los Sólidos Solubles Totales (°Brix) aumentan aproximadamente un 50% entre los frutos verdes y maduros.

Los chiles de Agua, Coxle, Huacle amarillo, Huacle negro, Pasilla “mixe” y Tabiche, presentan diferencias en tamaño, forma, color y porcentaje de materia seca de fruto, mientras que en semilla existe variación en el número de semillas por fruto, así como en su tamaño y peso, pero comparten valores similares en rendimiento e índice de productividad de agua.