



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS PUEBLA**

**POSTGRADO DE ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO  
AGRÍCOLA REGIONAL**

## **CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DE VARIEDADES CRIOLLAS DE CHILE “LOCO” EN LA SIERRA NEVADA DE PUEBLA**

**MAYRA SALINAS ROMERO**

**T E S I S**  
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**PUEBLA, PUEBLA, MÉXICO**

2023



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis, titulada: **Caracterización morfoagronómica de variedades criollas de chile “Loco” en la Sierra Nevada de Puebla**, realizada por la alumna: **Mayra Salinas Romero**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DR. HIGINIO LÓPEZ SÁNCHEZ

ASESOR:

DR. ABEL GIL MUÑOZ

ASESOR:

DR. PEDRO ANTONIO LÓPEZ

ASESORA:

DRA. ROCÍO TOLEDO AGUILAR

Puebla, Puebla, México, Febrero del 2023

# **CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DE VARIEDADES CRIOLLAS DE CHILE “LOCO” EN LA SIERRA NEVADA DE PUEBLA**

**Mayra Salinas Romero, M.C.**

**Colegio de Postgraduados, 2023**

## **RESUMEN**

La rentabilidad del cultivo del chile en México no es de las mejores a nivel mundial, asociada principalmente a los rendimientos bajos. Para incrementar los rendimientos, la investigación en México se ha enfocado principalmente a los chiles nacionales como el Guajillo y Serrano y muy poco a los regionales, como el chile “Loco” de la Sierra Nevada de Puebla, razón por la cual es difícil mejorar su rendimiento. A la fecha no existe información precisa que permita conocer la diversidad genética del chile “Loco” y las características morfoagronómicas que deben ser consideradas para incrementar su rendimiento. Los objetivos de esta investigación fueron estudiar la variabilidad morfológica y las características agronómicas que más contribuyen al rendimiento de chile “Loco”. Para ello se evaluaron seis variedades de chile “Loco” usando como testigos a los chiles largos Guajillo, Serrano, de Árbol, Puya y Pasilla, en los que se evaluaron 37 variables. El experimento se desarrolló en cuatro localidades de la Sierra Nevada de Puebla, mediante un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los resultados indican que existe variabilidad genética entre las variedades de chile “Loco”, manifestada por las diferencias estadísticas en el 77 % de las variables evaluadas. El análisis multivariado indica que la variabilidad morfológica del chile “Loco” tiene mayor similitud con el chile Guajillo y menor con el Serrano y el de Árbol, debido principalmente a que el chile “Loco” tiene hojas de menor longitud, pero más anchas, tallo más alto y mayor número de semillas por fruto. Las variables que más influyeron en el rendimiento fueron días a floración, altura de planta, diámetro de tallo, semillas por fruto y número de frutos por planta. Este estudio representa la investigación más precisa a la fecha sobre la variabilidad morfológica de chile “Loco”, la cual servirá de base para el mejoramiento de la producción de este chile regional en la Sierra Nevada de Puebla.

**Palabras clave:** Características morfológicas, chiles largos, chiles locales, producción, rendimiento.

# **MORPHOAGRONOMIC CHARACTERIZATION OF LANDRACE VARIETIES OF "LOCO" CHILE PEPPER IN THE SIERRA NEVADA DE PUEBLA**

**Mayra Salinas Romero, M. C.**

**Colegio de Postgraduados, 2023**

## **ABSTRACT**

The profitability of the chile pepper crop in Mexico is not one of the best worldwide, mainly associated with low yields. To increase yields, research in Mexico has focused mainly on national chile peppers such as Guajillo and Serrano and very little on regional ones, such as the "Loco" chile pepper from the Sierra Nevada de Puebla, which is why it is difficult to improve its yield. To date there is no precise information that allows us to know the genetic diversity of the "Loco" chile pepper and the morphoagronomic traits that must be considered to increase its yield. The objectives of this research were to study the morphological variability and the agronomic characteristics that most contribute to the yield of "Loco" chile pepper. For this, six varieties of "Loco" chile pepper were evaluated using the long chile peppers Guajillo, Serrano, de Árbol, Puya and Pasilla as controls, on which 37 variables were evaluated. The experiment was carried out in four localities in the Sierra Nevada de Puebla, using a randomized complete block experimental design with three repetitions. Results indicate that there is genetic variability between the "Loco" chile pepper varieties, manifested by statistical differences in 77 % of the evaluated variables. The multivariate analysis indicated that the morphological variability of the "Loco" chile pepper has greater similarity with the Guajillo chile pepper and less with the Serrano and de Árbol, mainly due to the fact that the "Loco" chile pepper has longer but wider leaves, a taller stem and greater number of seeds per fruit. The variables that most influenced yield were days to flowering, plant height, stem diameter, seeds per fruit, and number of fruits per plant. This study represents the most precise investigation to date on the morphological variability of "Loco" chile pepper, which will serve as a basis for the improvement of production of this regional chile pepper in the Sierra Nevada de Puebla.

**Keywords:** Morphological traits, long chile peppers, local chile peppers, production, yield.

## DEDICATORIA

*A mis **padres y hermana**, por la comprensión, el apoyo que siempre me brindaron, por impulsarme a seguir adelante y por ser un gran ejemplo de vida.*

Al Ing. **Uriel Lara Diaz**, por su amor y comprensión durante toda la investigación.

*A mi hijo **Uriel Sebastián**, por ser siempre mi inspiración, motivación y orgullo en la vida.*

## AGRADECIMIENTOS

Al **Colegio de Postgraduados, Campus Puebla y su Programa de Postgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional**, por haberme dado la oportunidad de estudiar, aprender y formarme.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por la beca que me brindó durante mi formación como Maestra en Ciencias.

Al **Dr. Higinio López Sánchez**, por aceptarme como su tesista y depositar su confianza, por sus apreciados y relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de este trabajo.

Al **Dr. Pedro Antonio López**, por ser parte de mi Consejo Particular y Profesor, por los conocimientos de calidad en diseños experimentales y por el apoyo constante en la revisión y asesoría de toda mi investigación y en la escritura de la Tesis.

Al **Dr. Abel Gil Muñoz**, por ser parte de mi Consejo Particular y Profesor, por sus detalladas correcciones y comentarios en el proceso de elaboración de mi investigación y escritura de la Tesis.

A la **Dra. Rocío Toledo Aguilar**, por ser parte de mi Consejo Particular, por sus conocimientos compartidos y su apoyo en la revisión de mi investigación y la escritura de la Tesis.

Al **Dr. Amalio Santacruz Varela**, por ser Sinodal y por su apoyo en la revisión de la escritura de la tesis.

A los **agricultores Sr. Gonzalo Mora Hernández, Sr. Alonso Lozano Mestre, Sr. Rene Everardo Nocelo Cinto e Ing. Hugo García Perea**, de la Región de la Sierra Nevada de Puebla, por brindar sus terrenos y por el arduo trabajo que se realizó durante la producción del cultivo.

A la **Lic. Jenifer Uribe Hernández**, por la paciencia en la edición de figuras.

Al Ing. **Ricardo López Ortega**, por la traducción al inglés de los 3 resúmenes contenidos en la Tesis.

A la **M.I. Sarahi Nocelo Rojas, M.C. Gabriela Edith Aquino Flores, M.C. Ana Tlelo Cuatle, Ing. Uriel Lara Díaz, Ing. José Hernández Cortés, Itzel Romero Nocelo, Everardo Romero Nocelo y Eduardo Romero Nocelo**, por el asesoramiento y acompañamiento durante toda la investigación.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE CUADROS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. VARIABILIDAD MORFOLÓGICA DEL CHILE “LOCO” Y OTROS CHILES LARGOS DE IMPORTANCIA NACIONAL.....</b>	<b>5</b>
1.1 RESUMEN.....	5
1.2 ABSTRACT.....	6
1.3 INTRODUCCIÓN.....	7
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
1.4.1 Área del estudio .....	8
1.4.2 Material genético .....	9
1.4.3 Producción de plántula y trasplante.....	9
1.4.4 Diseño y unidad experimental .....	10
1.4.5 Manejo agronómico.....	10
1.4.6 Variables respuesta.....	10
1.4.7 Análisis estadístico.....	12
1.5 RESULTADOS.....	13
1.5.1 Diversidad de chiles largos, incluido el chile “Loco”.....	13
1.5.2 Diversidad de seis variedades de chile “Loco”.....	19
1.6 DISCUSIÓN.....	22
1.7 CONCLUSIONES.....	25

<b>CAPÍTULO II. EL CHILE “LOCO” DE PUEBLA TIENE RENDIMIENTO SIMILAR A OTROS CHILES LARGOS DE IMPORTANCIA NACIONAL.....</b>	<b>26</b>
2.1 RESUMEN.....	26
2.2 ABSTRACT.....	27
2.3 INTRODUCCIÓN.....	28
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
2.4.1 Área del estudio .....	29
2.4.2 Material genético .....	30
2.4.3 Producción de plántula y trasplante.....	30
2.4.4 Diseño y unidad experimental .....	31
2.4.5 Manejo agronómico.....	31
2.4.6 Variables respuesta.....	31
2.4.7 Análisis estadístico.....	32
2.5 RESULTADOS.....	33
2.6 DISCUSIÓN.....	37
2.7 CONCLUSIONES.....	41
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>42</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE CUADROS

### CAPÍTULO I

<b>Cuadro 1.</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para todos los tipos de chile evaluados.....	14
<b>Cuadro 2.</b>	Vectores propios en tres componentes principales de los 16 caracteres evaluados en el chile “Loco” y los testigos.....	16
<b>Cuadro 3.</b>	Comparación de medias para 16 variables morfológicas y agronómicas de tres grupos de chiles largos.....	18
<b>Cuadro 4.</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de variables vegetativas, de fruto y rendimiento en las seis variedades de chile “Loco”.....	20
<b>Cuadro 5.</b>	Comparación de medias de las 36 variables evaluadas en las seis variedades de chile “Loco”.....	20

### CAPÍTULO II

<b>Cuadro 6.</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de las variables medidas en diferentes tipos de chiles largos...	34
<b>Cuadro 7.</b>	Comparación de medias en variables vegetativas medidas en diferentes tipos de chiles largos.....	35
<b>Cuadro 8.</b>	Comparación de medias de días a floración de chile “Loco” y los testigos.....	36
<b>Cuadro 9.</b>	Comparación de medias de rendimiento y características de fruto en chile “Loco” y testigos.....	36
<b>Cuadro 10.</b>	Coefficientes de correlación y nivel de significancia de la correlación entre rendimiento y las variables evaluadas en chile “Loco”.....	37

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.** Dispersión de seis variedades de chiles “Loco” y cinco chiles largos, a través de los primeros dos componentes principales. 17
- Figura 2.** Agrupación de seis variedades de chile “Loco” y cinco chiles largos con base en 16 variables morfológicas y agronómicas.. 17

### CAPÍTULO II

- Figura 3.** Interacción genotipo por ambiente del rendimiento de fruto en verde de las variedades de chile “Loco” y los testigos..... 37

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El centro de origen del género *Capsicum* se ubica en América del sur (Pickersgill, 1997), específicamente en las regiones de Bolivia, la parte norte de Argentina y la parte centro sur de Brasil (Hernández-Verdugo *et al.*, 2012). El chile pertenece al género *Capsicum* de la familia *Solanaceae* e incluye aproximadamente 25 especies silvestres y cinco especies cultivadas: *C. annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L. y *C. pubescens* Ruiz & Pav., de las cuales *C. annuum* L. es la más importante debido a que agrupa a la mayor diversidad de chiles (López *et al.*, 2016). Evidencias genéticas y arqueobotánicas han confirmado que su domesticación ocurrió en diferentes partes del planeta, de las cuales una de las áreas fue en la parte noreste y centro-este de México (Kraft *et al.*, 2014).

*Capsicum annuum* L. presenta múltiples variantes, las cuales, morfológicamente y de forma genérica, se pueden clasificar con base en su color (amarillo, naranja, rojo o verde), sabor (amargo, salado, ácido y dulce) y forma (alargados, rectangulares o redondeados) (Matsufuji *et al.*, 2007). *C. annuum* L, al ser una especie no originaria de México, pero domesticada aquí, la selección impuesta por el hombre y por las condiciones ambientales han dado lugar al surgimiento de una amplia diversidad genética, contenida en las denominadas variedades criollas locales.

Las variedades locales pertenecen a una zona geográfica delimitada, son variedades que llevan cultivándose mucho tiempo en regiones concretas y con manejos específicos. Una de las características más importantes de las variedades locales es que hay diferencias entre unas plantas y otras, característica muy importante, ya que cualquier perturbación que incida sobre el cultivo no tendrá la misma repercusión en todas las plantas. Cada año los agricultores seleccionan las semillas de las mejores plantas y así se van mejorando a lo largo de los años (Acosta-Naranjo y Rodríguez-Franco, 2013) como sucede en el caso del chile “Loco”.

El cultivo del chile para México es importante por razones culturales, sociales, nutricionales, genéticas y económicas y es, además, una especie de consumo común en la dieta de los mexicanos (Román *et al.*, 2013). México es el segundo país a nivel mundial en producción de chile verde, con una superficie de siembra aproximada de 149,693.65 ha y una producción de 3,086,742.28 t al año (FAOSTAT, 2021). La superficie de siembra por chiles regionales es de 609.53 ha (SIAP, 2021). *Capsicum annuum* L. se cultiva en toda la República Mexicana, siendo los estados con mayor producción: Zacatecas, San Luis Potosí, Chihuahua, Sinaloa y Sonora (SIAP, 2021). Por el volumen de producción, los tipos de chile de mayor importancia son: Jalapeño, Poblano, Pimiento morrón, Serrano, Chilaca y Guajillo.

Aun cuando México es el segundo país a nivel mundial en producción, su rendimiento promedio está muy por debajo de los niveles de otros países. Los rendimientos bajos son uno de los factores que explican la baja competitividad de los agricultores de chile en México. Por lo tanto, es necesario incrementar los rendimientos y con ello la producción. Una opción para ello es el uso de variedades locales con alto rendimiento.

Las variedades locales y regionales cumplen un papel esencial en la provisión de alimentos, permiten que las especies y los ecosistemas evolucionen y se adapten al ambiente cambiante, aportan variabilidad para incorporar en los programas de mejoramiento genético de los cultivos y proporcionan valores sociales, culturales, estéticos y recreativos (Hunter y Heywood, 2011). No obstante, los chiles regionales o locales son los menos estudiados, por lo que no se cuenta con información suficiente respecto a sus niveles de diversidad genética y sus características morfoagronómicas que permita generar tecnología apropiada para incrementar sus rendimientos y por lo tanto su producción, sin afectar su diversidad genética.

## **Planteamiento del Problema**

La mayoría de la investigación que se ha desarrollado en México sobre chile es sobre tipos de chile de importancia nacional, como lo son Guajillo, Jalapeño, Poblano, etc. y pocos estudios se han enfocado a generar conocimiento sobre las características agromorfológicas de los diversos tipos de chile regionales que se cultivan en México, lo que imposibilita la generación de tecnología apropiada para incrementar su rendimiento y producción.

En la región de la Sierra Nevada de Puebla, que incluye a los municipios de Santa Rita Tlahuapan, San Matías Tlalancaleca, San Salvador el Verde, San Felipe Teotlalcingo, San Martín Texmelucan, San Lorenzo Chiautzingo, San Miguel Huejotzingo y San Andrés Calpan (Mendoza-Robles *et al.*, 2010), se cultiva una gran variedad de especies. Tratándose de cultivos anuales, además de los cereales y leguminosas, se producen flores y una amplia gama de hortalizas, entre las que se encuentra el chile (Mendoza-Robles y Hernández-Romero, 2018). De éste último se cultivan varios tipos, entre los que destaca el chile Poblano (Tlelo *et al.*, 2022), pero también están presentes otros tipos, como el chile “Loco”. Este tipo de chile se emplea comúnmente para la preparación de salsas, por su picor (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010), y usualmente se cultiva en la misma parcela junto con el chile Poblano. De acuerdo con la información proporcionada por Benito y Benito (2018), el tipo de semilla empleado para la producción de chile “Loco” corresponde a variedades criollas, pues no existe material mejorado. Los agricultores obtienen su semilla del montón de frutos, seleccionando los de color rojo, de mayor tamaño, mejor aspecto, mayor rayado y libre de enfermedades.

A la fecha sólo existe una tesis de licenciatura sobre el chile “Loco”, por lo que es necesario generar más información sobre la agromorfología de chile “Loco”, su potencial productivo (rendimiento) y su relación con otros chiles largos, de tal manera que se tenga la posibilidad de seleccionar variedades criollas con base en rendimiento y otras características de importancia

agronómica que ayuden a incrementar su producción en la región. Por lo anterior, para apoyar a la generación de información sobre chiles regionales, y en particular sobre el chile “Loco”, se planteó la presente investigación, con el propósito de conocer las características morfológicas, agronómicas y el rendimiento de este cultivo en comparación con chiles largos de importancia nacional.

### **Preguntas de investigación**

1. ¿Son las características morfológicas y agronómicas del chile “Loco” en las etapas vegetativa, de floración y de fructificación similares a las de otros chiles largos de importancia nacional?
2. ¿Es el rendimiento de chile “Loco” similar al de otros chiles largos de importancia nacional?

### **Objetivos**

1. Cuantificar las características morfológicas y agronómicas de chile “Loco” de la Sierra Nevada de Puebla y compararlas con cinco tipos de chile largos de importancia nacional en las etapas vegetativa, de floración y de fructificación.
2. Precisar el rendimiento del chile “Loco” relacionándolo con el de otros chiles largos de importancia nacional.

### **Hipótesis**

1. Las características morfológicas y agronómicas de chile “Loco” de la Sierra Nevada de Puebla en las etapas vegetativa, de floración y de fructificación son similares a las de los chiles largos de importancia nacional.
2. El chile “Loco” tiene un rendimiento agronómico similar al de los chiles largos nacionales.

# **CAPÍTULO I. VARIABILIDAD MORFOLÓGICA DEL CHILE “LOCO” Y OTROS CHILES LARGOS DE IMPORTANCIA NACIONAL**

## **1.1 RESUMEN**

En México, la investigación orientada a describir la variabilidad morfológica de chiles de importancia regional es escasa, como lo es en el caso del chile “Loco” de la Sierra Nevada de Puebla. El objetivo del presente estudio fue describir las características morfológicas de chile “Loco” y compararlas con tipos de chile largos de importancia nacional. Para ello, seis variedades de chile “Loco” y una variedad de Guajillo, Pasilla, Puya, de Árbol y Serrano fueron evaluadas en cuatro localidades mediante un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, registrando un total de 37 variables. Los resultados mostraron diferencias en 93.4 % de las variables; de éstas, las que más influyeron en la variabilidad morfológica fueron densidad de ramificación, densidad de hoja, longitud de tallo, altura de planta, longitud de fruto, cuello de la base del fruto, diámetro de la semilla, semillas por fruto y rendimiento en fruto fresco. En la figura de dispersión, generada por los dos primeros componentes (81.5 % de la variabilidad acumulada), el chile “Loco” formó un grupo compacto, con mayor proximidad con el Guajillo y Chilaca. El dendrograma agrupó al chile Serrano y al de Árbol y los separó del Puya, Chilaca, Guajillo y Loco. En éste último grupo se formaron dos subgrupos; en uno de ellos quedaron las seis variedades de chile “Loco”. Los resultados sólo del chile “Loco” mostraron diferencias en el 77 % de las variables. Los resultados permiten concluir que existe variabilidad morfológica en chile “Loco”, con mayor similitud a Guajillo y menor similitud a Serrano y de Árbol y que las características que más distinguen a chile “Loco” de los otros tipos son sus hojas de mayor longitud, pero más anchas, tallo más alto y mayor número de semillas por fruto.

**Palabras clave:** caracterización, chiles de importancia regional, chiles largos, Puebla, Sierra Nevada de Puebla.

# **CHAPTER I. MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF THE “LOCO” CHILE PEPPER AND OTHER LONG CHILE PEPPERS OF NATIONAL IMPORTANCE**

## **1.1 ABSTRACT**

In Mexico, research aimed at describing the morphological variability of regionally important chile peppers is scarce, as is the case of the “Loco” chile pepper from the Sierra Nevada de Puebla. The objective of this study was to describe the morphological characteristics of "Loco" chile pepper and compare them with long chile pepper types of national importance. For this, six varieties of "Loco" chile pepper and one variety of Guajillo, Pasilla, Puya, de Árbol and Serrano were evaluated in four localities using a randomized complete block design with three repetitions, registering a total of 37 variables. Results showed differences in 93.4% of the variables. Of these, the ones that most influenced morphological variability were branching density, leaf density, stem length, plant height, fruit length, neck of the fruit base, seed diameter, seeds per fruit and yield in fresh fruit. In the dispersion figure, generated by the first two components (81.5 % of the accumulated variability), “Loco” chile pepper formed a compact group, with greater proximity to Guajillo and Chilaca. The dendrogram grouped Serrano and de Árbol chile peppers and separated them from Puya, Chilaca, Guajillo and Loco. In this last group, two subgroups were formed; in one of them were the six varieties of “Loco” chile pepper. The results only of the "Loco" chile pepper showed differences in 77 % of the variables. The results led to conclude that there is morphological variability in "Loco" chile pepper, with greater similarity to Guajillo and less similarity to Serrano and de Árbol and that the characteristics that most distinguish "Loco" chile pepper from the other types are its longer and wider leaves, taller stem and greater number of seeds per fruit.

**Keywords:** characterization, chile peppers of regional importance, long chile peppers, Puebla, Sierra Nevada de Puebla.

### 1.3 INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum* tiene su centro de origen en el trópico y subtrópico de América y su distribución en países como Estado Unidos de América, México, Brasil, Paraguay y Argentina (Carrizo-García *et al.*, 2016). México, en particular, es considerado uno de los principales centros de domesticación (González y Reyes, 2014). En el país, el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) tiene una larga tradición cultural y es, además, una especie hortícola de gran importancia, por el valor de su producción. Con base en la forma del fruto, en México se reporta la presencia de más de 20 diferentes tipos de chile (Castellón *et al.*, 2014), entre los que destacan por sus nombres locales: Jalapeño, Ancho, Mirasol, Poblano, Serrano, Chilaca, Guajillo, Tabaquero, Colorado, Pasilla, Puya, de Árbol, Costeño, Piquín, entre otros (SIAP, 2021). Los mismos autores mencionan que estos tipos de chile se distinguen por su forma de fruto y características de planta; además, señalan que reflejan la alta heterogeneidad biogeográfica y cultural; sin embargo, muchos de ellos son cultivados y utilizados en áreas muy reducidas y conocidos sólo a nivel regional o local (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

A pesar de la existencia de esa amplia diversidad, Luna-Ruiz *et al.* (2018) mencionan que en México y en otras partes del mundo no se tiene un catálogo de características morfológicas, agronómicas y de usos de los chiles regionales. Por tanto, el realizar trabajos de caracterización morfológica y agronómica es de gran importancia, pues permite identificar aquellas variables que explican la variación existente y que pueden apoyar en la toma de decisiones para la conservación del recurso fitogenético, además de precisar aquellos atributos que pueden aprovecharse en mejoramiento genético. Por tal motivo, es importante cuantificar y dar a conocer las características morfológicas y agronómicas de los diferentes tipos de chile, entre los que se incluyen los chiles regionales.

Actualmente, en México sólo se cuenta con descripciones morfológicas y agronómicas para algunos tipos de chile. En poblaciones de chile Guajillo, Moreno *et al.* (2006) encontraron variación en características de longitud y ancho

de hoja, longitud de peciolo y en días a floración y fructificación. En otro estudio realizado en cuatro tipos de chile Amashito, Salinas *et al.* (2010) describieron sus características morfológicas y concluyeron que existía variabilidad en el fruto, semilla y rendimiento. En el estado de Oaxaca, Martínez-Sánchez *et al.* (2010), trabajando con chile de agua, identificaron descriptores de raíz, tallo, flor, fruto y semilla, lo que les permitió clasificar las colectas en tres grupos. Ramírez *et al.* (2018), trabajando con 11 poblaciones de chile piquín silvestre (*Capsicum annum var. glabriusculum*), encontraron mayor variación en características de fruto y hoja. Como se observa, en todos los casos se encontró alta diversidad genética y variabilidad entre poblaciones.

En el estado de Puebla, en la zona de la Sierra Nevada se cultiva un tipo de chile regional de forma alargada conocido como chile “Loco”, el cual es muy apreciado a nivel local para la preparación de diferentes platillos (Aguirre y Muñoz, 2015). Este tipo de chile ha sido muy poco estudiado; de hecho, sólo existe una tesis de licenciatura en la cual se evaluaron 17 variedades criollas, la gran mayoría de las cuales presentó altos porcentajes de mezcla varietal. De este estudio se seleccionaron seis variedades criollas, principalmente por la nula o baja mezcla varietal, para ampliar el estudio las características morfoagronómicas del chile “Loco” de la región y así poder tener una idea más precisa de los niveles de su variabilidad genética. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue describir la variabilidad genética del chile “Loco” de la Sierra Nevada de Puebla haciendo una comparación con la existente en cinco chiles largos de importancia nacional.

## **1.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.4.1 Área del estudio**

El estudio se realizó en cuatro localidades de la Sierra Nevada de Puebla donde predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano: 1) San Juan Tlautla (19° 05´ 46´´ LN, 98° 21´ 24´´ LO, 2213 msnm), con precipitación de 800 a 1000 mm y suelo Phaeozem; 2) San Luis Coyotzingo (19° 11´ 54´´ LN,

98° 26´ 25´´ LO, 2295 msnm), con precipitación de 900 a 1100 mm y suelo Cambisol; 3) Santa María Atexcac (19° 08´ 15´´ LN, 98° 29´ 52´ LO, 2617 msnm) con precipitación de 900 a 1100 mm y suelo Regosol; 4) San Felipe Teotlalcingo (19° 13´ LN, 98° 30´ LO, 2485 msnm), con precipitación de 900-1000 mm y suelo Phaeozem (INEGI, 2009). En la Sierra Nevada predomina el cultivo de especies anuales y perennes en condiciones de temporal (Mendoza-Robles y Hernández-Romero, 2018), aunque también hay producción de flores y hortalizas de riego, entre ellas diversos tipos de chile.

#### **1.4.2 Material genético**

El material genético estuvo constituido por seis variedades de chile “Loco” seleccionadas a partir de un conjunto de 17 variedades evaluadas en 2009 y 2015 (Benito y Benito, 2018). Los seis materiales se caracterizaron por tener mayor pureza varietal, mayor rendimiento promedio (en verde 9.33 t ha<sup>-1</sup> y en seco 4.21 t ha<sup>-1</sup>) y poca interacción con el ambiente. Dado que no hay variedades comerciales de chile “Loco” se usaron como testigos otros chiles criollos del tipo de los chiles largos: Guajillo, Pasilla, Puya, Serrano y de Árbol.

#### **1.4.3 Producción de plántula y trasplante**

Las semillas se trataron con hipoclorito de sodio al 1 % para desinfectarlas antes de la siembra, que fue el 3 de marzo de 2021. Las semillas se sembraron en charolas de unicel de 200 cavidades, las cuales contenían como sustrato una mezcla de peat moss (Kekkilä®), abono orgánico (Solep®) y vermiculita, en una relación 2:1:1. Las semillas (5-10 por cavidad) se depositaron a una profundidad de 0.5 cm y posteriormente se taparon con sustrato. Posteriormente, las charolas se asperjaron con carbamato (5 ml L<sup>-1</sup>) y bencimidazol (5 g L<sup>-1</sup>) para minimizar la presencia de hongos. Las charolas se cubrieron con plástico para aumentar la temperatura y se colocaron en un invernadero para germinación y producción de plántula. Cuando las plántulas emergieron, las charolas se colocaron sobre una estructura metálica elevada y diariamente se regaron dos veces al día: el primer riego (8:00 horas) fue únicamente con agua y el segundo (17:00) con

fertilizante utilizando las fórmulas 11N-60P-00K durante la primera semana, 20N-18P-20K entre la segunda y cuarta semana, 15N-00P-15K en la quinta semana y 20N-18P-20K un día antes del trasplante. En la tercera semana se hizo un aclareo dejando una planta por cavidad. El trasplante se realizó cuando la plántula alcanzó una altura de 10 cm aproximadamente, efectuándose los días 15, 19, 20 y 22 de abril de 2021 en San Felipe Teotlalcingo, San Juan Tlautla, Santa María Atexcac y San Luis Coyotzingo, respectivamente.

#### **1.4.4 Diseño y unidad experimental**

En campo, los tratamientos se evaluaron mediante un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad. La parcela experimental constó de dos surcos de 5 m de largo separados a 0.8 m entre sí; la distancia entre plantas fue de 0.30 m.

#### **1.4.5 Manejo agronómico**

El mismo día del trasplante se aplicó un riego y posteriormente se dieron riegos de auxilio hasta que las lluvias iniciaron y se regó sólo cuando la planta mostraba signos de deshidratación. La fertilización en campo se hizo con la fórmula 180N-120P-180K aplicando un tercio del N y todo el PK a los 20 días después del trasplante y dos tercios del N a los 30 días después. El control de las malezas se realizó de manera manual. Para el control de enfermedades se aplicaron fungicidas a base de Tiabendazol y Metalaxil-M en dosis de 3 g L<sup>-1</sup> y 1 mL L<sup>-1</sup> de agua, respectivamente. El control de insectos plaga fue con la aplicación de lambda cyalotrina a una dosis de 1 mL L<sup>-1</sup> de agua. Las aplicaciones para el control se hicieron en función del monitoreo semanal y a la incidencia detectada de plagas y enfermedades.

#### **1.4.6 Variables respuesta**

Las variables evaluadas se encuentran descritas en el manual de descriptores para *Capsicum* (IPGRI *et al.*, 1995) y se midieron como se describe en dicho manual. Las cuantificadas fueron las siguientes:

Plántula (datos promedio de 10 plántulas por cada tipo de chile evaluado): color del hipocótilo (CHI, 1: blanco, 2: verde, 3: morado), pubescencia del hipocótilo (PHI, 3: escasa, 5: intermedia, 7: densa), color de la hoja cotiledónea (CHCo, 3: verde, 5: morado, 8: amarillo), forma de la hoja cotiledónea (FHCo, 1: deltoide, 2: oval, 3: lanceolada, 4: elongada-deltoide), longitud de la hoja cotiledónea (LHCo, mm), ancho de la hoja cotiledónea (AHCo, mm).

Flor (datos promedio de cinco flores por planta de cinco plantas distintas por unidad experimental): longitud de la corola (LCO, 1: blanco, 3: amarillo, 6: blanco con base púrpura, 8: morado), coloración de anteras (CAN, 1: blanco, 2: amarillo, 4: azul, 5: morado), excursión del estigma (EES, 3: inserto, 5: al mismo nivel, 7: exserto).

Días a floración (DFL): días en alcanzar el 50 % de floración contados desde el trasplante hasta el día en que el 50 % de las plantas de cada unidad experimental tuvo al menos una flor abierta.

Planta (datos promedio de cinco plantas por unidad experimental): hábito de crecimiento de la planta (HCPL, 3: postrada, 5: compacta, 7: erecta), densidad de ramificación (DRA, 3: escasa, 5: intermedia, 7: densa), macollamiento (MAC, 3: escaso, 5: intermedio, 7: denso), densidad de hoja (DHO, 3: escasa, 5: intermedia, 7: densa), longitud de hoja (LHO, mm), ancho de hoja (AHO, mm), altura de planta (ALP, cm), ancho de planta (ANP, cm), antocianinas en el nudo (ANU, 1: verde, 5: morado, 7: morado oscuro), pubescencia del tallo (PTA, 3: escasa, 5: intermedia, 7: densa), longitud del tallo (LTA, cm), diámetro del tallo (DTA, mm), número de bifurcaciones (NBI).

Fruto (promedio de cinco frutos representativos por unidad experimental): ancho de fruto (AFR, mm), longitud de fruto (LFR, mm), longitud del pedúnculo (LPE, mm), espesor del pericarpio en verde (EPE, mm), tipo de epidermis (TEP, 1: lisa, 2: semi-rugosa, 3: rugosa), cuello de la base del fruto (CBA, 0: ausente, 1: presente), espesor de pericarpio en seco (EPESe, mm), longitud de la placenta (LPL, mm), semillas por fruto (SFR), peso de 1000 semillas (PMS, g), diámetro de

la semilla (DDS, mm). Adicionalmente se valoró la intensidad de rayado (IRA, 3: ausente, 5: media, 7: alta) (esta última variable no incluida en los descriptores del IPGRI).

A la cosecha, se cuantificó tanto el número de frutos por planta (FFP) así como el peso de los mismos (RFpp, kg) en cinco plantas. A partir de estas variables, se estimó el rendimiento en verde por hectárea (RFVHa, t ha<sup>-1</sup>), mediante la ecuación:  $RFVHa = (RFpp \times 36,000)$ , donde RFVHa: rendimiento en verde por hectárea (t ha<sup>-1</sup>), RFpp: rendimiento de fruto fresco por planta (kg), 36,000: densidad de plantas por hectárea.

#### **1.4.7 Análisis estadístico**

Con los datos provenientes de las cuatro localidades de evaluación se realizó un análisis de varianza combinado para las variables estudiadas, no sin antes realizar pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza (Shapiro-Wilk y Bartlett) para todas las variables. En los casos donde no se cumplieron los supuestos se aplicó un análisis de varianza por rangos (Marden y Muyot, 1955). El análisis de varianza combinado permitió seleccionar 16 variables que mostraron diferencias significativas entre tipos de chile y que no presentaron interacción genotipo  $\times$  ambiente. Todas ellas se emplearon para conducir los análisis multivariados. Cabe mencionar que la variable DFL, aun cuando no cumplió con los criterios, se incluyó en los análisis mencionados debido a que es clave para la definición de los niveles de precocidad. Los análisis multivariados realizados fueron de componentes principales y de conglomerados. Para este último se empleó la matriz de distancias euclidianas. El dendrograma se generó empleando el método de agrupamiento de mínima varianza dentro de conglomerados de Ward, haciendo el corte de acuerdo con la prueba de pseudo F. Finalmente, para determinar la existencia de diferencias estadísticas entre los grupos identificados en el dendrograma se realizó un análisis de varianza entre ellos, el cual se acompañó de una comparación de medias con la prueba Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Adicionalmente, y sólo para las seis variedades de chile “Loco”, se

realizó un análisis de varianza combinado (Martínez, 1988), acompañado de una prueba de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) cuando hubo diferencias estadísticas. Previo a ello se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas (Shapiro-Wilk y Bartlett). En las variables que no cumplieron con ambos criterios se aplicó un análisis de varianza por rangos (LHCo, AHCo, DFL, LCO, CAN, EES, TEP, IRA, ANU, PTA, DRA, MAC DHO, LHO, AHO, ANP, LTA, NBI, PMS, DDS, FRPA). Estos análisis se realizaron para conocer el comportamiento de las características en Chile “Loco”. Los análisis se realizaron con la aplicación de los procedimientos GLM, PRINCOMP y CLUSTER con el programa SAS OnDemand for Academics® (SAS, 2012-2018).

## **1.5 RESULTADOS**

### **1.5.1 Diversidad de chiles largos, incluido el Chile “Loco”**

En el Cuadro 1 se presentan los resultados del análisis de varianza combinado. Entre localidades hubo diferencias estadísticas en el 81 % de los caracteres evaluados. Para la fuente de variación ‘tipos de Chile’ se encontraron diferencias significativas en prácticamente todas las características morfológicas y agronómicas (excepto diámetro de tallo y coloración de anteras). En lo que respecta a la interacción, solamente el 45 % de las variables mostró diferencias significativas o altamente significativas. Lo anterior implica que existió variación importante entre localidades y tipos de Chile estudiados y que, en más de la mitad de los caracteres, el orden de los materiales a través de ambientes se mantuvo relativamente constante.

**Cuadro 1.** Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para todos los tipos de chile evaluados.

VARIABLES	Localidad	Tipos de Chile	Loc × Tipos de Chile	Error	C.V. (%)
<b>VARIABLES DE FLOR</b>					
DFL (Núm.)	28242.5 **	6430.2 **	449.8 *	15.8	24.8
LCO (mm)	2608.7 *	11888.3 **	1054.2 **	18.1	27.5
CAN (Núm.)	1450.2 *	888.7 ns	577.2 ns	22.3	47.6
EES (Núm.)	5530.4 *	7599.1 **	1438.2 *	29.3	47.7
<b>VARIABLES VEGETATIVAS</b>					
HCPL (Núm.)	992.6 *	20102.9 **	743.5 **	13.0	57.3
DRA(Núm.)	1114.3 *	1647.2 **	318.6 ns	16.7	68.3
MAC (Núm.)	37708.1 **	2476.8 **	527.1 **	8.5	21.3
DHO (Núm.)	170.7 ns	1207.5 **	181.2 ns	13.7	62.7
LHO (mm)	15391.6 **	9519.3 **	569.2 ns	19.0	28.6
AHO (mm)	15630.4 **	9655.1 **	418.6 ns	19.9	30.0
ALP (cm)	25699 **	4500.2 **	739.2 ns	21.9	33.1
ANP (cm)	8006.3 **	6204.5 **	838.2 ns	29.6	44.9
LTA (cm)	3619.1 *	12116.4 **	468.1 ns	23.5	35.7
DTA (mm)	24831.3 **	1243.9 ns	757.8 ns	28.9	43.6
NBI (Núm.)	0.2 ns	12241.3 **	0.2 ns	27.8	42.8
ANU (Núm.)	11383.3 **	7738 **	800.2 *	22.0	38.0
<b>VARIABLES DE FRUTO</b>					
LFR (mm)	1231.5 *	14222.1 **	417.1 ns	18.9	28.5
AFR (mm)	882.5 ns	13300.7 **	373.7 ns	22.5	33.8
LPE (mm)	9567.2 **	8633.7 **	898.9 *	22.6	34.0
EPE (mm)	664.1 ns	11508.5 **	585.1 ns	24.5	37.0
TEP (Núm.)	809.9 *	14270.7 **	257.6 *	12.1	33.3
CBA (Núm.)	4.0 ns	956.2 **	4.0 ns	2.0	10.0
IRA (Núm.)	1144.6 **	6665.5 **	235.4 *	11.0	21.3
EPESe (mm)	8345.8 **	8509.3 **	957.6 *	21.7	34.7
LPL (mm)	2143.6 **	16150.7 **	365.7 *	11.8	17.7
SFR (Núm.)	9148.7 **	12944.8 **	257.3 ns	17.8	26.8
PMS (g)	16975.9 **	6768.7 **	1027.4 *	21.1	31.8
DDS (mm)	926.1 ns	14047.4 **	471.9 ns	20.1	30.2
FFP (Núm.)	1599.8 **	12507.6 **	461.7 *	12.8	33.0
RFVHa (t ha <sup>-1</sup> )	26026.2 **	3260.5 **	720.6 ns	25.6	38.6

C.V.: coeficiente de variación, \*: significancia estadística al 0.05 %, \*\*: significancia estadística < 0.01 %, ns: no significativo. La descripción de las variables respuesta está en Materiales y Métodos

En el Cuadro 2 se muestra la variación detectada en los primeros tres componentes principales, los cuales explicaron el 89.28 % de la variación total. La variabilidad estuvo determinada por variables asociadas con las etapas vegetativa y de fructificación, así como por el rendimiento. El primer componente principal se relacionó con variables de la etapa vegetativa, específicamente con densidad de ramificación y hoja (de forma negativa). El componente principal 2 estuvo determinado principalmente por el rendimiento en verde (asociación negativa) y por características vegetativas y reproductivas (longitud de tallo y semillas por fruto), de forma positiva. El componente principal 3 mostró mayor asociación positiva con características vegetativas (altura de planta) y de fruto (longitud de fruto y diámetro de semilla) y negativa con el cuello de la base del fruto. Por lo tanto, la variación encontrada entre los tipos de chiles evaluados se relacionó con variables de las etapas vegetativas y reproductivas, principalmente de fruto y semilla en el caso de estas últimas.

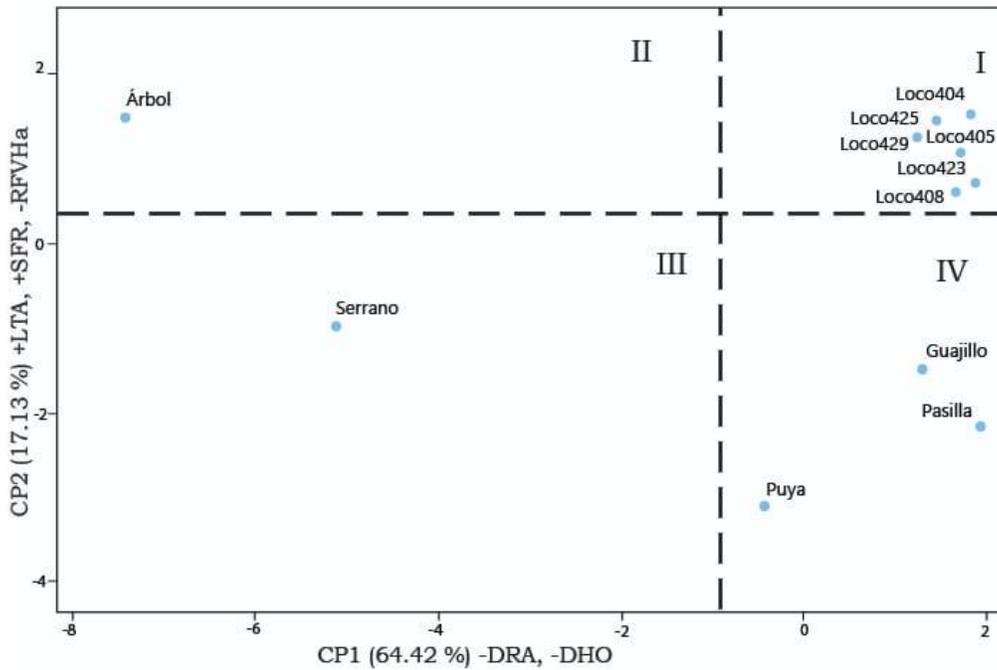
En la Figura 1 se muestra la dispersión de seis variedades de chile “Loco” y cinco chiles largos con base en los primeros dos componentes principales. Se observa que, aun cuando todos los materiales estudiados pertenecen al grupo de chiles largos, los “Locos” formaron un grupo compacto, el cual mantuvo cierta proximidad con Guajillo y Pasilla. Fue notorio que los chiles de Árbol, Serrano y Puya mostraron poca relación con el resto. Tomando en cuenta las variables originales asociadas a los dos componentes principales graficados se puede decir que los chiles “Locos” presentaron menor densidad de ramas y hojas que chile de Árbol y Serrano, pero mayor longitud de tallo y número de semillas/fruto y menor rendimiento que las variedades de los cuadrantes III y IV.

**Cuadro 2.** Vectores propios en tres componentes principales de los 16 caracteres evaluados en el chile “Loco” y los testigos.

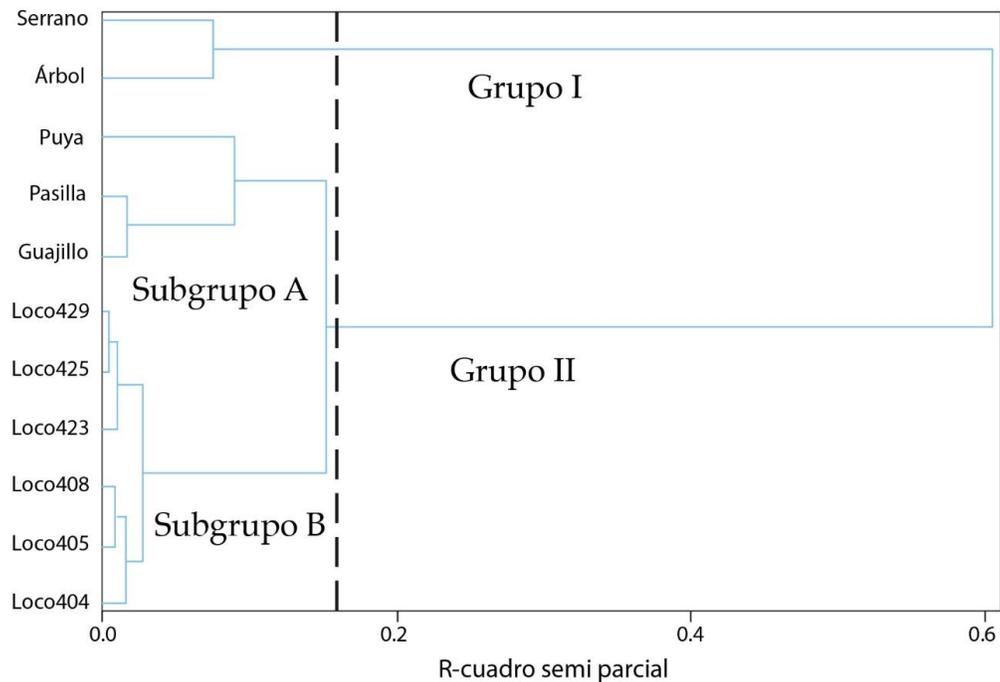
Variables	Vectores propios		
	CP1	CP 2	CP3
Días a floración (Núm.)	-0.236	0.110	0.011
Densidad de ramificación (Núm.)	<b>-0.308</b>	-0.011	-0.008
Densidad de hojas (Núm.)	<b>-0.302</b>	0.042	0.122
Longitud de hoja (mm)	0.208	0.203	-0.093
Ancho de hoja (mm)	0.272	0.246	-0.013
Altura de planta (cm)	-0.122	0.417	<b>0.516</b>
Ancho de planta (cm)	-0.284	0.115	0.266
Longitud de tallo (cm)	0.200	<b>0.424</b>	-0.007
Número de bifurcaciones (Núm.)	-0.298	0.029	-0.022
Longitud de fruto (mm)	0.124	-0.349	<b>0.610</b>
Ancho de fruto (mm)	0.298	0.104	0.007
Espesor de pericarpio (mm)	0.279	-0.242	-0.033
Cuello de la base del fruto (Núm.)	-0.181	-0.167	<b>-0.398</b>
Semillas por fruto (Núm.)	0.259	<b>0.311</b>	-0.106
Diámetro de semilla (mm)	0.260	-0.126	<b>0.306</b>
Rendimiento en verde (t ha <sup>-1</sup> )	0.182	<b>-0.430</b>	0.040
Variación explicada (%)	64.42	17.13	7.72
Variación acumulada (%)	64.420	81.550	89.280

CP: Componente principal. Cifras en negritas identifican a las variables con mayor peso sobre cada componente principal.

En la Figura 2 se muestra el dendrograma de variedades de chile “Loco” y otros chiles largos. A una distancia de corte de 0.15 unidades se formaron dos grupos principales. El grupo I conformado por Serrano y de Árbol y el grupo II por los chiles “Locos” y los otros tres testigos. Este grupo se divide a su vez en dos subgrupos: el subgrupo A integrado por los chiles Puya, Pasilla y Guajillo y el subgrupo B constituido únicamente por las seis variedades de chile “Loco”. Una inspección más detallada de este subgrupo revela que existe variación entre las variedades de chile “Loco” estudiadas. Con base en esta figura se puede afirmar que chile “Loco” tiene mayor similitud morfológica con Guajillo y que dentro de las variedades de chile “Loco” existe variabilidad, lo que queda demostrado en los resultados presentados en el Cuadro 4.



**Figura 1.** Dispersión de seis variedades de chiles “Loco” y cinco chiles largos, a través de los primeros dos componentes principales.



**Figura 2.** Agrupación de seis variedades de chile “Loco” y cinco chiles largos con base en 16 variables morfológicas y agronómicas.

En el Cuadro 3 se muestran las medias de 16 características morfológicas y agronómicas para los tres grupos de chiles largos identificados en el dendrograma. Las diferencias en los grupos se presentaron mayormente en características vegetativas y de fruto: en el grupo I se encuentran plantas con mayor densidad de ramificación y hojas, mayor número de bifurcaciones, hojas más largas y más anchas, con frutos más largos y con menor número de semillas. En el subgrupo A se ubicaron las plantas con mayor rendimiento y con valores intermedios para densidad, longitud y ancho de hojas y de semillas por fruto. Las plantas del subgrupo B se caracterizaron por presentar densidad de hojas intermedia, hojas más cortas y anchas, mayor longitud de tallo y mayor número de semillas.

**Cuadro 3.** Comparación de medias para 16 variables morfológicas y agronómicas de tres grupos de chiles largos.

Variables	I	Grupo		DMS
		A	B	
Días a floración (Núm.)	60.46 a	51.61 a	51.74 a	9.8
Densidad de ramificación (Núm.)	6.85 a	5.10 b	4.95 b	0.4
Densidad de hojas (Núm.)	6.90 a	5.00 b	4.97 c	0.1
Longitud de hoja (mm)	54.55 c	67.61 b	75.53 a	7.0
Ancho de hoja (mm)	25.45 c	31.48 b	36.82 a	4.2
Altura de planta (cm)	70.33 a	58.74 a	64.76 a	12.4
Ancho de planta (cm)	64.03 a	50.13 b	49.93 b	6.7
Longitud de tallo (cm)	24.38 b	26.72 b	32.60 a	4.7
Número de bifurcaciones (Núm.)	81.61 a	37.31 b	33.30 b	25.3
Longitud del fruto (mm)	83.52 b	167.07 a	100.76 a	75.1
Ancho de fruto (mm)	9.58 b	22.28 a	25.24 a	4.7
Espesor de pericarpio (mm)	1.73 b	3.32 a	2.96 a	0.5
Cuello de la base del fruto (Núm.)	1.00 a	0.67 a	0.00 a	1.7
Semillas por fruto (Núm.)	66.35 c	139.59 b	214.46 a	35.9
Diámetro de semilla (mm)	60.32 b	83.26 a	77.73 a	11.4
Rendimiento en verde (t ha <sup>-1</sup> )	10.36 b	16.75 a	13.21 b	3.8

Medias con la misma letra en la misma hilera no son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la DMS 5 %.

### **1.5.2 Diversidad de seis variedades de chile “Loco”**

Una vez establecido que los materiales de chile “Loco” formaron un subconjunto independiente, se consideró conveniente explorar el nivel de diversidad presente entre ellos.

En el Cuadro 4 se muestra el análisis de varianza combinado correspondiente. Se observa que hubo diferencias estadísticas en el 81 % de las variables entre localidades, en el 77 % de las variables entre las variedades de chile “Loco” (en características de flor, hoja y fruto) y sólo para el 13.6 % en la interacción. Estos resultados implican diferencias en el potencial ambiental entre localidades, la existencia de variación en características morfológicas y agronómicas entre las variedades de chile “Loco” y la escasa interacción genotipo × ambiente para la gran mayoría de las características estudiadas.

En el Cuadro 5 se concentran los promedios de las variables morfológicas y agronómicas medidas en las seis variedades criollas de chile “Loco”. Se observa que existe similitud en variables de plántula, excepto en ancho y largo de la hoja cotiledónea. En cuanto a floración se distinguen dos grupos de precocidad: algunas variedades muy precoces, demorando solamente 47 y 49 días en alcanzar floración media y otras más tardías, con 58 días. También hubo variación, aunque menor en LCO, CAN y EES. En altura de planta, la mayoría son de porte medio y solo una variedad excedió los 71 cm. Las variedades 404 y 423 son las que presentan variación en las dimensiones de hoja (LHO y AHO) y en diversas características de fruto (LFR, AFR, LPE, EPE, IRA, LPL, SFR, PMS, DDS).

**Cuadro 4.** Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de variables vegetativas, de fruto y rendimiento en las seis variedades de chile “Loco”.

Variable	Localidades	Chiles Loco	Localidad × Chiles Loco	Error	C.V. (%)
DFL (Núm.)	6144.1 **	1439.1 **	102.3 ns	8.6	24.6
LCO (mm)	2158.3 **	2066.2 **	341.4 *	12.4	34.4
CAN ((Núm.)	563.3 *	512.9 *	204.1 ns	11.3	40.6
EES (Núm.)	1351.8 *	931.9 *	472.9 ns	17.9	52.5
LHO (mm)	6165.5 **	651.2 *	192.7 ns	11.6	31.7
AHO (mm)	5500.5 **	614.7 *	194.1 ns	13.2	36.1
ALP (cm)	726.6 **	138.9 *	53.3 *	4.5	7.0
ANP (cm)	2470.3 *	306.4 ns	172.5 ns	20.5	56.6
LTA (cm)	2105.7 *	736.3 ns	238.2 ns	20.0	55.5
DTA (mm)	15.4 **	1.9 ns	0.5 ns	1.2	10.4
ANU (Núm.)	5634.6 **	330.1 ns	164.5 ns	16.6	50.8
LFR (mm)	81.9 ns	808.3 **	83.7 ns	8.0	7.9
AFR (mm)	11.1 ns	29.6 **	4.2 ns	2.1	8.2
LPE (mm)	546.4 **	198.9 **	20.2 ns	4.3	9.2
EPE (mm)	0.1 ns	0.3 *	0.1 ns	0.3	10.3
IRA ((Núm.)	2120.5 **	2201.0 **	268.5 ns	14.9	45.6
LPL (mm)	85.0 **	284.4 **	36.9 *	3.0	9.2
SFR (Núm.)	16954 **	2457.8 *	290.2 ns	31.3	14.6
PMS (g)	19.7 **	3.5 *	0.7 ns	0.9	16.5
DDS (mm)	9484.2 ns	1354.4 *	377.9 ns	19.9	54.6
FFP (Núm.)	405.8 *	95.7 N <sub>s</sub>	17.9 ns	7.0	29.8
RFVHa (t ha <sup>-1</sup> )	312.1 **	28.7 N	9.1 ns	3.6	27.6

C.V.: coeficiente de variación, \*: significancia estadística al 0.05 %, \*\*: significancia estadística < 0.01 %, ns: no significativo. La descripción de las variables respuesta está en Materiales y Métodos.

**Cuadro 5.** Comparación de medias de las 36 variables evaluadas en las seis variedades de chile “Loco”.

Varie- dad	CHI (Núm.)	PHI (Núm.)	CHCo (Núm.)	FHCo (Núm.)	LHCo (mm)	AHCo (mm)	DFL (Núm.)	LCO (mm)
Loco404	2.0 a	3.0 a	2.0 a	3.0 a	25.9 a	7.7 a	55.1 b	10.1 b
Loco405	2.0 a	3.0 a	2.0 a	3.0 a	24.8 c	7.3 b	53.8 b	10.7 a
Loco408	2.0 a	3.0 a	2.0 a	3.0 a	24.6 c	7.1 d	55.7 b	9.4 c
Loco423	2.0 a	3.0 a	2.0 a	3.0 a	25.3 b	7.6 a	46.8 a	9.9 b
Loco425	2.0 a	3.0 a	2.0 a	3.0 a	26.4 a	7.9 a	50.1 a	9.6 c
Loco429	2.0 a	3.0 a	2.0 a	3.0 a	24.6 c	7.2 c	48.9 a	9.4 c

DMS	0	0	0	0	0.9	0.4	3.5	0.5
Variedad	CAN (Núm.)	EES (Núm.)	ALP (cm)	ANP (cm)	LTA (cm)	DTA (mm)	ANU (Núm.)	PTA (Núm.)
Loco404	4.3 a	5.5 a	71.0 a	50.9 a	32.1 a	11.9 a	3.6 a	3.0 a
Loco405	4.1 b	5.4 a	63.4 b	47.0 a	33.4 a	11.1 a	3.3 a	3.0 a
Loco408	4.3 a	5.3 b	61.8 b	50.4 a	31.8 a	10.9 a	3.5 a	3.0 a
Loco423	4.2 a	5.5 a	62.1 b	49.6 a	31.8 a	10.7 a	3.3 a	3.0 a
Loco425	4.5 a	5.3 b	65.5 b	49.6 a	34.5 a	11.3 a	3.4 a	3.0 a
Loco429	4.1 a	6.3 a	64.8 b	52.1 a	32.0 a	11.2 a	2.5 a	3.2 a
DMS	0.3	0.8	5.5	8.1	4.3	1.4	1.2	0.2
Variedad	HCPI (Núm.)	DRA (Núm.)	MAC (Núm.)	DHO (Núm.)	LHO (mm)	AHO (mm)	LFR (mm)	AFR (mm)
Loco404	7.0 a	5.0 a	2.3 a	5.0 a	80.5 a	39.4 a	110.1 a	25.9 a
Loco405	7.0 a	5.0 a	2.3 a	5.0 a	77.6 a	37.5 a	108.6 a	23.1 c
Loco408	7.0 a	5.0 a	2.3 a	5.0 a	77.1 a	35.7 a	93.2 b	27.7 a
Loco423	7.0 a	5.0 a	2.3 a	5.0 a	74.9 a	36.8 a	105.6 a	24.2 b
Loco425	7.0 a	5.0 a	2.3 a	5.0 a	71.8 b	34.1 b	94.7 b	25.2 a
Loco429	7.0 a	5.0 a	2.3 a	5.0 a	71.2 b	37.4 a	92.3 b	25.3 a
DMS	0	0.2	0	0	6.7	4.0	9.7	2.5
Variedad	EPE (mm)	LPE (mm)	TEP (mm)	CBA (mm)	IRA (Núm.)	NLFr (Núm.)	LPL (mm)	SFR (Núm.)
Loco404	3.0 a	50.7 a	2.0 a	0.0 a	3.2 a	2.0 a	36.3 a	240.0 a
Loco405	2.9 a	52.1 a	2.0 a	0.0 a	3.2 a	2.0 a	37.0 a	205.3 a
Loco408	3.2 a	43.2 c	2.0 a	0.0 a	3.6 a	2.0 a	26.7 b	197.8 b
Loco423	2.8 b	43.2 c	1.9 a	0.0 a	2.9 b	2.0 a	37.3 a	216.8 a
Loco425	3.0 a	46.1 b	1.9 a	0.0 a	3.4 a	2.0 a	29.9 b	213.9 a
Loco429	2.8 b	43.1 c	1.9 a	0.0 a	2.6 c	2.0 a	27.9 b	213.0 a
DMS	0.3	5.2	0.2	0	0.5	4.2	3.6	38.1
Variedad	PMS (g)	DDS (mm)	RFVHa (t ha <sup>-1</sup> )	FFP (Núm.)				
Loco404	4.9 a	76.4 a	15.5 a	23.8 a				
Loco405	4.8 b	79.8 a	12.9 a	22.0 a				
Loco408	5.0 a	79.1 a	14.2 a	22.0 a				
Loco423	5.9 a	75.1 b	13.3 a	24.4 a				
Loco425	5.8 a	78.7 a	11.0 a	19.9 a				
Loco429	5.9 a	77.3 a	12.3 a	28.2 a				
DMS	1.0	3.9	4.4	111.5				

Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes. La descripción de las variables respuesta está en Materiales y Métodos

Las características morfológicas y agronómicas promedio de chile “Loco” son: a) en plántula: hipocótilo verde, pubescencia escasa, hoja cotiledónea color verde, de forma lanceolada y ancho de 7 mm, b) en flores: corola de 10 mm, anteras color azul, excursión del estigma al mismo nivel, precocidad intermedia (47-55 días), c) en características vegetativas: altura de planta 61 a 71 cm, ancho de planta 50 cm, longitud y diámetro de tallo de 33 y 11 cm, respectivamente, presenta antocianinas en los nudos del tallo, de color morado claro, pubescencia escasa, hábito de crecimiento erecto, densidad de ramificación y de hojas intermedia, macollamiento escaso y longitud y ancho de hoja de 80 mm y 39 mm, d) en fruto: longitud de 92 a 110 mm y ancho de 23 a 28 mm, longitud del pedúnculo de 43 a 52 mm, espesor de pericarpio en verde de 3 mm y en seco de 0.2 mm, epidermis semi-rugosa, intensidad de rayado del fruto intermedio, longitud de la placenta de 27 a 37 mm, con 198 a 240 semillas por fruto y un peso de 5 g por 1000 semillas, diámetro de semilla de 75 a 80 mm, las plantas cuentan con 23 frutos y rendimiento en verde de 13 t ha<sup>-1</sup>. Esta descripción es la primera reportada para este tipo de chile local.

## **1.6 DISCUSIÓN**

La variación encontrada en los chiles largos estudiados, incluidos los chiles “Locos” de la Sierra Nevada de Puebla, está asociada a variables correspondientes a diferentes etapas fenológicas del cultivo. Considerando la hipótesis de este trabajo, de que las características morfológicas y agronómicas de chile “Loco” de la Sierra Nevada de Puebla son similares a los cinco genotipos de chiles largos en las etapas vegetativa, de floración, fructificación y en rendimiento, los resultados evidencian que aun cuando las variedades de chile “Loco” compartieron atributos con otros chiles (particularmente con Puya, Pasilla y Guajillo) que los ubican en el grupo de chiles largos, presentaron características que los distinguieron, particularmente densidad de ramificación y hojas, altura de planta, longitud de tallo, longitud de fruto, cuello de la base del fruto, semillas por fruto, diámetro de la semilla y rendimiento en verde.

Hernández-Verdugo *et al.* (2001) mencionan que del género *Capsicum* la especie más distribuida en México es *C. annuum* L., la cual presenta variabilidad en características morfológicas como tamaño, forma y color de frutos. En este estudio, la mayor parte de la variación fenotípica (89 %) quedó explicada por características morfológicas y agronómica tanto de planta (densidad de ramificación, densidad de hojas, longitud de tallo, altura de planta) como de fruto (cuello de la base del fruto y diámetro de semilla, semillas por fruto, longitud de fruto) y rendimiento en verde. Ello coincide con lo reportado por Martínez-Sánchez *et al.* (2010), quienes encontraron que en chile de agua el 85 % de la variabilidad quedó explicado por caracteres de flor, hoja y fruto. También coincide con lo reportado por Ramírez *et al.* (2018) en chile piquín, en cuanto a que las principales características explicativas de la variación fueron densidad de hoja, diámetro de semilla, ancho de tallo y forma de fruto. Por otro lado, en *Capsicum annuum* L. *var. glabriusculum* el 78 % de la variación fue definida por peso de fruto, ancho y largo de fruto, semillas por fruto, diámetro de tallo y altura de planta (Hernández-Verdugo *et al.*, 2012). Los resultados obtenidos en tales estudios coinciden con los reportados en esta investigación en el sentido de que las variables que aportan a la variación son semejantes.

Las características que mostraron variación y que permitieron distinguir a los diferentes tipos de chile estudiados son similares a las reportadas por Castellón *et al.* (2014), quienes observaron variación en caracteres de planta (tallo, hoja, brotes basales) y fruto (longitud y semillas por fruto), las cuales fueron determinantes para diferenciar las poblaciones dentro de cada tipo de chile evaluado (chile de Agua, Nanche, Solterito, Tabaquero y Tusta).

El que las variedades de chile “Loco” se hayan mantenido como grupo y que hayan tenido poca relación con otros tipos de chiles largos se debió a que compartieron muchas características morfológicas entre sí y posiblemente a que pertenecen a un nicho ecológico específico, situación que ha conducido a que presenten características distintivas. Esta variación se atribuye a la selección que han practicado los agricultores en este tipo de chile, buscando adaptarlo al

contexto ambiental y a sus criterios de selección, como se ha señalado en poblaciones criollas de chile Poblano de la Sierra Nevada de Puebla (Toledo-Aguilar *et al.*, 2016).

El que haya existido variación entre las variedades de chile “Loco” es un aspecto que es favorable con fines de fitomejoramiento. Estos resultados son similares a los encontrados en poblaciones nativas de chile Poblano de la Sierra Nevada de Puebla, las cuales por los regular son sembradas con chile “Loco” (Toledo-Aguilar *et al.*, 2016).

Las características relevantes para el cultivo de chile “Loco” con fines de cultivo son el que son plantas con hojas anchas, tienen un tallo alto y que producen gran cantidad de semillas por fruto. Las plantas de chile que presentan tallos de mayor longitud permiten que los frutos no tengan contacto con el suelo, y de esta manera que su aspecto sea más favorable para el mercado; asimismo, es de relevancia que los chiles criollos tengan una cantidad considerable de semillas en el fruto, pues ello ayuda en el establecimiento y sobrevivencia en el siguiente ciclo de producción, al poder disponer de un gran número de semillas para la producción de plántula (Prado-Urbina *et al.*, 2015).

Al igual que lo planteado para chile Amashito por Salinas *et al.* (2010), el que chile “Loco” no se conozca fuera de su región se debe al desconocimiento de sus características y de alternativas de conservación en fresco y procesado, que permitan fomentar su cultivo y aprovechamiento

El chile “Loco” es cultivado en la Sierra Nevada de Puebla en pequeñas superficies y comúnmente comparte el espacio de siembra con el chile Poblano (Mendoza-Robles y Hernández-Romero, 2018), situación que ha propiciado la mezcla varietal, la cual por un lado genera variación, pero por otro propicia la pérdida de pureza en chile “Loco”. Los resultados obtenidos en esta investigación indican que existen variedades de este tipo de chile con buen potencial agronómico y que aún conservan sus características originales, que con un buen manejo y asesoramiento permitirían obtener buenos rendimientos, similares a

los de los chiles largos comerciales y de esta manera incentivar a los agricultores a incrementar la unidad de siembra de chile “Loco” y propiciar que éste sea reconocido por su importancia económica y social. Muy importante será también el que se desarrollen estrategias que eviten que las seis variedades criollas de chile “Loco”, evaluados en este estudio y que fueron seleccionadas por su pureza varietal, se lleguen a cruzar con el chile Poblano durante su cultivo, para así no llegar a perder a este importante recurso fitogenético en la Sierra Nevada de Puebla.

### **1.7 CONCLUSIONES**

La variabilidad detectada en características morfológicas y agronómicas en los tipos de chile largos estudiados se asoció principalmente con densidad de ramificación, densidad de hoja, altura de planta, longitud de tallo, longitud de fruto, cuello de la base del fruto, diámetro de la semilla, semillas por fruto y rendimiento en verde por hectárea.

El Chile “Loco”, por sus características, se clasifica como un chile largo, con mayor parecido a Guajillo. Las características que más distinguen a chile “Loco” de los otros tipos son sus hojas de menor longitud, pero más anchas, tallo más alto y mayor número de semillas por fruto.

Este es el primer estudio donde se presenta de manera precisa una descripción morfológica y agronómica de chile “Loco”, lo que evidencia la existencia de variación entre sus variedades y que constituye una base para el mejoramiento, reconocimiento y difusión de este chile de importancia regional.

## **CAPÍTULO II. EL CHILE “LOCO” DE PUEBLA TIENE RENDIMIENTO SIMILAR A OTROS CHILES LARGOS DE IMPORTANCIA NACIONAL**

### **2.1 RESUMEN**

A nivel nacional algunos chiles clasificados como largos con buen rendimiento son Guajillo, Puya, Pasilla, Serrano y de Árbol. A nivel regional existen otros chiles largos de los cuales se conoce poco respecto a su rendimiento y otras características agronómicas, tal es el caso del chile “Loco”. El objetivo fue determinar el rendimiento del chile “Loco” y precisar las características de la planta más importantes que lo determinan. En la Sierra Nevada de Puebla se compararon seis variedades de chile “Loco” con los testigos Guajillo, Pasilla, Puya, de Árbol y Serrano, registrando caracteres vegetativos, de fruto, floración y rendimiento. El cultivo de chile “Loco” obtuvo un rendimiento promedio en verde ( $13.2 \text{ t ha}^{-1}$ ) estadísticamente similar a la mayoría de los testigos, sólo superando al del chile de Árbol ( $8.3 \text{ t ha}^{-1}$ ). Las variables que más influyeron en el rendimiento fueron días a floración, altura de planta, diámetro de tallo, semillas por fruto y número de frutos por planta. Algunas características sobresalientes en chile “Loco” fueron hojas más largas y anchas que los testigos, ramificación y ancho de planta intermedias, variación en precocidad, 23 frutos por planta, 214 semillas por fruto y un rayado característico en el exocarpio. En conclusión, el cultivo de chile “Loco” tiene rendimiento similar a los chiles largos de importancia nacional, ya que en general las características vegetativas, reproductivas y de fructificación también son similares a los testigos.

**Palabras clave:** Caracteres de fruto, caracteres reproductivos, caracteres vegetativos, chile regional, comportamiento agronómico.

## **CHAPTER II. THE “LOCO” CHILE PEPPER FROM PUEBLA HAS A YIELD SIMILAR TO OTHER LONG CHILE PEPPERS OF NATIONAL IMPORTANCE**

### **2.2 ABSTRACT**

At the national level, some chile peppers classified as long with good yield are Guajillo, Puya, Pasilla, Serrano and de Árbol. At the regional level there are other long chile peppers of which little is known regarding their yield and other agronomic characteristics, such is the case of the "Loco" chile pepper. The objective was to determine the yield of "Loco" chile pepper and to identify the plant traits that determine it. In the Sierra Nevada de Puebla, six varieties of "Loco" chile peppers were compared with the Guajillo, Pasilla, Puya, de Árbol and Serrano controls, recording vegetative, fruit, flowering and yield traits. The “Loco” chile pepper crop obtained an average green yield (13.2 t ha<sup>-1</sup>) that was statistically similar to most of the controls, only surpassing that of de Árbol chile pepper (8.3 t ha<sup>-1</sup>). The variables that most influenced yield were days to flowering, plant height, stem diameter, seeds per fruit, and number of fruits per plant. Some outstanding characteristics in “Loco” chile pepper were longer and wider leaves than the controls, intermediate branching and width of the plant, variation in precocity, 23 fruits per plant, 214 seeds per fruit, and a characteristic stripe on the exocarp. In conclusion, the "Loco" chile pepper crop has a similar yield to the long chile peppers of national importance, since in general the vegetative, reproductive and fruiting characteristics are also similar to the controls.

**Key Words:** Fruit characters, reproductive characters, vegetative characters, regional chile pepper, agronomic behavior.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Cevallos (2011), la región de Mesoamérica (México como parte importante de la misma), es reconocida como un centro de domesticación y de diversificación de múltiples cultivos agrícolas de importancia mundial. Uno de ellos es el chile (*Capsicum annuum* L.) (Toxqui-Tapia *et al.*, 2022), el cual presenta múltiples variantes, las cuales, morfológicamente y de forma genérica, se pueden clasificar con base en su color (amarillo, naranja, rojo o verde), sabor (amargo, salado, ácido y dulce) y forma (alargados, rectangulares o redondeados) (Matsufuji *et al.*, 2007).

En México se reporta la existencia de cuando menos 64 tipos de chile (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010), varios de ellos cultivados de forma extensiva en el país (con más de mil hectáreas sembradas), por ejemplo, Jalapeño, Ancho, Mirasol, Serrano, Chilaca, Guajillo, Tabaquero, Colorado, Pasilla, Puya, de Árbol, Costeño y Piquín, entre otros (Castellón *et al.*, 2014), con rendimientos en verde para chile de Árbol de 9.60 t ha<sup>-1</sup>, Guajillo 16.03 t ha<sup>-1</sup>, Puya 18.56 t ha<sup>-1</sup>, Pasilla 24.46 t ha<sup>-1</sup> y Serrano 25.23 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2021), todos ellos pertenecientes al grupo de los chiles largos.

Dentro de esos 64 tipos existen varios que se cultivan en menor superficie y sólo en determinadas regiones, por lo que pueden considerarse o clasificarse como chiles de importancia regional. Tal es el caso del chile Dulce Criollo de Yucatán, Campeche y Tabasco, el chile Gallo-gallina de Guerrero, el chile Bolita del Papaloapan, Oaxaca, el chile Cora de Nayarit, el chile Miahuateco de Santiago Miahuatlán, Puebla y el chile “Loco” cultivado en la Sierra Nevada de Puebla, que de acuerdo con Mendoza-Robles y Hernández-Romero (2018), se consume regionalmente y tiene la característica de ser picoso. Otras características son que el fruto tiene un patrón de rayado en verde y en seco, es rojo a la madurez, se clasifica como chile largo y se consume principalmente en fresco (Benito y Benito, 2018).

Las investigaciones orientadas a estudiar los chiles regionales han sido pocas, entre ellas pueden citarse las siguientes: el trabajo de caracterización de seis morfotipos de chiles criollos (Chile de Agua, Nanche, Piquín, Solterito, Tabaquero y Tusta) de los Valles Centrales de Oaxaca (Castellón *et al.*, 2014), el estudio etnobotánico y de variación morfológica de diversos tipos de chile pertenecientes a *C. annuum* (yaax ic, xcat'ic, cha'hua, chile dulce, sucurre y pico de paloma) y a *C. annuum var. aviculare* (maax) (Latournerie *et al.*, 2001) y el de valor agronómico del chile dulce en Yucatán (Ix-Nahuat *et al.*, 2013). Lo anterior evidencia que, al momento, el tema del comportamiento agronómico de los chiles regionales se ha estudiado poco, pues de los 64 tipos de chile de México presentados por Aguilar-Rincón *et al.* (2010), la gran mayoría son de uso local o regional. Lo anterior representa una oportunidad para incrementar la producción de chile en México; pero para ello se requiere estudiar a los chiles regionales, con la finalidad de hacerlos más productivos, sin olvidar la conservación de su diversidad genética.

En el caso específico de chile “Loco”, poco se conoce sobre sus características vegetativas y comportamiento agronómico, particularmente del rendimiento de fruto. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue generar información del rendimiento de fruto del chile “Loco” y precisar las características principales que lo determinan, con lo cual se ampliará el conocimiento sobre el rendimiento agronómico de los chiles regionales y permitirá, en su momento, coadyuvar al aumento de los rendimientos a nivel regional y nacional.

## **2.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.4.1 Área del estudio**

El estudio se realizó en la Sierra Nevada de Puebla, donde predomina un clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Las localidades fueron: 1) San Juan Tlautla (19° 05” 46’ LN, 98° 21” 24’ LO, 2213 msnm), con precipitación de 800 a 1000 mm y suelo Phaeozem, 2) San Luis Coyotzingo (19° 11” 54’ LN, 98° 26” 25’ LO, 2295 msnm), con precipitación de 900 a 1100 mm y suelo Cambisol,

3) Santa María Atexcac (19° 08" 15' LN, 98° 29" 52' LO, 2617 msnm), con precipitación de 900 a 1100 mm y suelo Regosol y 4) San Felipe Teotlalcingo (19° 13" LN, 98° 30" LO, 2485 msnm), con precipitación de 900 a 1000 mm y suelo Phaeozem (INEGI, 2009). En la Sierra Nevada predomina el cultivo de especies anuales y perennes en condiciones de temporal (Mendoza-Robles y Hernández-Romero, 2018), aunque también hay producción de flores y hortalizas, entre ellas diversos tipos de chile, con riego.

#### **2.4.2 Material genético**

Se estudiaron seis variedades de chile "Loco" seleccionadas a partir de un conjunto de 17 variedades evaluadas en 2009 y 2015 (Benito y Benito, 2018). Los seis materiales se caracterizaron por tener mayor pureza varietal, mayor rendimiento (en verde 9.33 t ha<sup>-1</sup> y en seco 4.21 t ha<sup>-1</sup>) y poca interacción con el ambiente. Dado que no hay variedades comerciales de chile "Loco" se usaron como testigos otros chiles criollos del tipo de los chiles largos de importancia nacional: Guajillo, Pasilla, Puya, Serrano y de Árbol. El chile Guajillo y el Pasilla se siembran en la región de la Sierra Nevada de Puebla, aunque en muy poca superficie.

#### **2.4.3 Producción de plántula y trasplante**

Previo a la siembra (la cual se realizó el 3 de marzo de 2021), las semillas se trataron con hipoclorito de sodio al 1 % para desinfectarlas. Las semillas se germinaron en charolas de unicel de 200 cavidades que contenían como sustrato una mezcla de peat moss (Kekkilä®), abono orgánico (Solep®) y vermiculita, en una relación 2:1:1. Las semillas se depositaron a una profundidad de 0.5 cm y posteriormente se taparon con una capa de sustrato. Posterior a la siembra, las charolas se asperjaron con carbamato (5 mL L<sup>-1</sup>) y bencimidazol (5 g L<sup>-1</sup>) para minimizar la presencia de hongos. Las charolas se cubrieron con un plástico para aumentar la temperatura y se colocaron en un invernadero para la producción de plántula. Cuando las plántulas emergieron, las charolas se colocaron sobre una estructura metálica elevada y diariamente se regaron dos

veces al día: el primer riego fue únicamente con agua (08:00) y el segundo con fertilizante (17:00), utilizando las fórmulas 11N-60P-00K durante la primera semana, 20N-18P-20K entre la segunda y cuarta semana, 15N-00P-15K en la quinta semana y 20N-18P-20K un día antes de trasplante. En la tercera semana se hizo un aclareo, dejando una planta por cavidad. El trasplante se realizó cuando la plántula alcanzó una altura de 10 cm aproximadamente, efectuándose los días 15, 19, 20 y 22 de abril de 2021 en San Felipe Teotlalcingo, San Juan Tlautla, Santa María Atexcac y San Luis Coyotzingo, respectivamente.

#### **2.4.4 Diseño y unidad experimental**

En campo, los tratamientos se evaluaron mediante un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad. La parcela experimental constó de dos surcos de 5 m de largo, separados 0.8 m entre sí; la distancia entre plantas fue de 0.30 m.

#### **2.4.5 Manejo agronómico**

El mismo día del trasplante se aplicó un riego y posteriormente se dieron riegos de auxilio hasta que las lluvias iniciaron y sólo se regó si la planta mostraba signos de deshidratación, que por lo regular es durante la canícula. Se fertilizó con la fórmula 180N-120P-180K, aplicando todo el PK y un tercio del N a los 20 días después de trasplante y dos tercios de N 30 días después. El control de hierba fue manual. Para el control de enfermedades se aplicaron fungicidas a base de Tiabendazol y Metalaxil-M, en dosis de 3 g L<sup>-1</sup> y 1 mL L<sup>-1</sup> de agua, respectivamente. El control de insectos plaga fue con la aplicación de lambda cialotrina a una dosis de 1 mL L<sup>-1</sup> de agua.

#### **2.4.6 Variables respuesta**

Las variables evaluadas se encuentran en el manual de descriptores para *Capsicum* (IPGRI *et al.*, 1995) y se midieron de acuerdo con lo descrito en dicho manual. Las variables se agruparon en caracteres vegetativos, reproductivos y de fruto. Caracteres vegetativos (datos promedio de cinco plantas): densidad de

ramificación (DRA, 3: escasa, 5: intermedia, 7: densa), longitud de hoja (LHO, mm), ancho de hoja (AHO, mm), altura de planta (ALP, cm), ancho de planta (ANP, cm), longitud del tallo (LTA, cm) y diámetro del tallo (DTA, mm). Caracteres reproductivos (registrados por unidad experimental): días a floración (DFL), contados desde el día del trasplante hasta el día en que el 50 % de las plantas tuvieron al menos una flor abierta. Caracteres de fruto (promedio de cinco frutos): ancho de fruto (AFR, mm), longitud de fruto (LFR, mm), espesor de pericarpio en verde (EPE, mm), número de semillas por fruto (SFR) y peso de 1000 semillas (PMS). Adicionalmente se valoró la intensidad de rayado (IRA, 3: nada, 5: media, 7: alta) (variable no incluida en los descriptores del IPGRI). Además, se cuantificó tanto el número de frutos por planta (FFP) como el peso de los mismos (RFpp, kg) y a partir de estas variables se estimó el rendimiento en verde por hectárea (RFVHa, t ha<sup>-1</sup>), mediante la ecuación:  $RFVHa = (RFpp \times 36,000)$ , donde RFVHa: rendimiento en verde por hectárea (t ha<sup>-1</sup>), RFpp: rendimiento de fruto fresco por planta (kg), 36,000: densidad de plantas por hectárea.

#### **2.4.7 Análisis estadístico**

Con los datos provenientes de las cuatro localidades de evaluación se practicó un análisis de varianza combinado (Martínez, 1988), acompañado de una prueba de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), no sin antes realizar pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas (Shapiro-Wilk y Bartlett). En las variables que no cumplieron con ambos criterios se aplicó un análisis de varianza por rangos (Marden y Muyot, 1995). Para la variable DFL, la DMS se sumó al valor mínimo obtenido, debido a que un menor valor es lo más deseable con fines de selección de variedades. Adicionalmente, y sólo para las variedades de Chile “Loco”, se efectuó un análisis de correlación de Pearson entre el rendimiento por hectárea de fruto fresco y el resto de las variables. Todos los análisis se realizaron mediante el programa SAS® OnDemand for Academics (SAS, 2012-2018).

## 2.5 RESULTADOS

En el Cuadro 6 se muestran los resultados del análisis de varianza combinado. Se observa que, entre tipos de chile, con excepción de diámetro de tallo, hubo diferencias estadísticamente significativas en todas las características vegetativas, reproductivas, de fruto y rendimiento y que, aunque existen diferencias entre localidades para el 87.5 % de las variables, la expresión de la mayoría de éstas (75 %) no mostró significancia en la interacción localidad x tipo de chile. DFL, IRA, PMS y FFP mostraron significancia estadística en las tres fuentes de variación. Las diferencias detectadas indican que el comportamiento agronómico de los chiles evaluados varió entre localidades y tipos de chile, pero que el orden de los materiales resultó similar en los diferentes ambientes para la mayor parte de las variables.

El Cuadro 7 contiene la comparación de medias en variables vegetativas para los diferentes tipos de chile estudiados. Las variedades de chile “Loco” mostraron las siguientes diferencias con respecto a los testigos: tuvieron menos ramificaciones que los chiles de Árbol y Serrano, sus hojas fueron más largas y anchas que las de los demás tipos de chile y su altura de planta fue similar a la de los otros chiles largos, excepto Puya (que fue más alto). En cuanto a ancho de planta, sólo el chile de Árbol tuvo una anchura mayor que las variedades de chile “Loco”. En síntesis, chile “Loco” muestra una ramificación intermedia y valores promedio de longitud de hoja, ancho de hoja y longitud de tallo de 75.5 mm, 36.8 mm y 32.6 cm, respectivamente.

En el Cuadro 8 se muestra la comparación de medias de días a floración. En cuanto a precocidad, chile “Loco” es un grupo heterogéneo, pues hay un material muy precoz, otros intermedios y algunos tardíos. La variedad L423 destacó por ser la más precoz, tanto entre los distintos chiles “Locos” como en comparación con los testigos. La variación en precocidad existente en chile “Loco” cubre, en lo general, la presente entre los otros chiles largos estudiados.

**Cuadro 6.** Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de las variables medidas en diferentes tipos de chiles largos.

Variable	Localidades	Tipos de chile	Localidad × Tipos de chile	Error	C.V. (%)
DRA (Núm.)	1114.3 *	1647.2 **	318.6 ns	16.7	68.3
ALP (cm)	25699.0 **	4500.2 **	739.2 ns	21.9	33.1
ANP (cm)	8006.3 **	6204.5 **	838.2 ns	29.6	44.9
LTA (cm)	3619.1 *	12116.4 **	468.1 ns	23.5	35.7
DTA (mm)	24831.3 **	1243.9 ns	757.8 ns	28.9	43.6
LHO (mm)	15391.6 **	9519.3 **	569.2 ns	19.0	28.6
AHO (mm)	15630.4 **	9655.1 **	418.6 ns	19.9	30.0
DFL (Días)	28242.5 **	6430.2 **	449.8 *	15.8	24.8
LFR (cm)	1231.5 *	14222.1 **	417.1 ns	18.9	28.5
AFR (cm)	882.5 ns	13300.7 **	373.7 ns	22.5	33.8
EPE (mm)	664.1 ns	11508.5 **	585.1 ns	24.5	37.0
IRA (Núm.)	1144.6 **	6665.5 **	235.4 *	11.0	21.3
SFR (Núm.)	9148.7 **	12944.8 **	257.3 ns	17.8	26.8
PMS (g)	16975.9 **	6768.7 **	1027.4 *	21.1	31.8
FFP (Núm.)	1599.8 **	12507.6 **	461.7 *	12.8	33.0
RFVHa (t ha <sup>-1</sup> )	26026.2 **	3260.5 **	720.6 ns	25.6	38.6

Grados de libertad para localidad, tipos de chile, su interacción y el error: 3, 8, 30 y 80, respectivamente. C.V.: coeficiente de variación, \*: significancia estadística al 0.05 %, \*\*: significancia estadística < 0.01 %, ns: no significativo. La descripción de las variables está en Materiales y Métodos.

En el Cuadro 9 se muestra la comparación de medias para rendimiento y las características del fruto. El chile “Loco” obtuvo un rendimiento estadísticamente igual al de los testigos, excepto con el chile de Árbol. Con respecto a los otros chiles largos, los frutos de chile “Loco” tuvieron valores intermedios de longitud (100 mm), fueron de los más anchos (25 mm) y tuvieron el mayor número de semillas (214). Adicionalmente, la característica distintiva del fruto de chile “Loco” fue el rayado del fruto (IRA).

**Cuadro 7.** Comparación de medias en variables vegetativas medidas en diferentes tipos de chiles largos.

Tipos de chile	DRA (núm.)	LHO (mm)	AHO (mm)	ALP (cm)	ANP (cm)	LTA (cm)	DTA (mm)
Loco 404	5.0 c	80.5 A	39.4 a	71.0 a	50.9 b	32.1 a	11.9 a
Loco 405	5.0 c	77.6 A	37.5 a	63.4 b	47.0 c	33.4 a	11.1 a
Loco 408	4.8 c	77.1 A	35.7 a	61.8 c	50.4 b	31.8 a	10.9 a
Loco 423	5.0 c	74.9 A	36.8 a	62.1 c	49.6 c	31.8 a	10.7 a
Loco 425	5.0 c	71.8 B	34.1 b	65.5 b	49.6 c	34.5 a	11.3 a
Loco 429	4.9 c	71.2 B	37.4 a	64.8 b	52.1 b	32.0 a	11.2 a
Promedio	4.9	75.5	36.8	64.7	49.9	32.6	11.1
Guajillo	4.8 c	66.9 D	32.4 c	62.1 c	51.1 b	27.1 d	10.7 a
Puya	5.5 b	66.3 D	29.1 d	50.0 d	47.7 c	24.6 d	10.6 a
De Árbol	7.0 a	55.6 E	24.4 f	75.5 a	68.7 a	27.5 c	11.5 a
Pasilla	5.0 c	69.6 C	32.9 c	64.2 b	51.6 b	28.5 b	11.3 a
Serrano	6.7 a	53.5 E	26.5 e	65.2 b	59.4 b	21.3 e	10.3 b
DMSH	0.4	7.8	4.4	7.8	9.2	4.3	1.5

Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la DMSH de 5 %. La descripción de variables está en Materiales y Métodos.

**Cuadro 8.** Comparación de medias de días a floración de chile “Loco” y los testigos.

Tipos de chile	DFL (días)	Tipos de chile	DFL (días)
Loco 404	55.1 E	Guajillo	49.5 b
Loco 405	53.8 E	Puya	54.0 e
Loco 408	55.7 E	De Árbol	66.3 f
Loco 423	46.8 A	Pasilla	51.3 d
Loco 425	50.1 C	Serrano	54.7 e
Loco 429	48.9 B	DMSH	4.2
Promedio	51.7		

DF: Días a floración

**Cuadro 9.** Comparación de medias de rendimiento y características de fruto en chile “Loco” y los testigos

Tipos de chile	RFVHa (t ha <sup>-1</sup> )	FFP (Núm.)	LFR (mm)	AFR (mm)	EPE (mm)	IRA	SFR (Núm.)	PMS (g)
Loco 404	15.5 a	23.8 d	110.1 c	25.9 a	3.0 a	3.2 a	240 a	4.9 b
Loco 405	12.9 a	22.0 d	108.6 c	23.1 c	2.9 a	3.2 a	205 a	4.8 b
Loco 408	14.2 a	22.0 d	93.2 c	27.7 a	3.2 a	3.6 a	197 b	5.0 b
Loco 423	13.3 a	24.4 d	105.6 c	24.2 b	2.8 b	2.9 b	216 a	5.9 a
Loco 425	11.0 b	19.9 d	94.7 c	25.2 a	3 a	3.4 a	213 a	5.8 a
Loco 429	12.3 a	28.2 d	92.3 c	25.3 a	2.8 b	2.6 c	213 a	5.9 a
Promedio	13.2	23.3	100.7	25.2	2.9	3.1	214	5.3
Guajillo	15.6 a	19.3 d	160.1 b	24.8 b	3.2 a	1.0 d	146 c	6.6 a
Puya	17.2 a	55.7 c	108.1 c	18.7 d	3.3 a	1.0 d	125 c	5.0 b
De Árbol	8.3 c	81.9 b	77.8 d	9.6 e	1.4 d	1.0 d	83 d	4.5 c
Pasilla	17.4 a	14.9 d	233.1 a	23.4 b	3.5 a	1.0 d	146 c	6.2 a
Serrano	12.4 a	115 a	89.3 c	9.6 e	2.1 c	1.0 d	49 d	3.1 d
DMS	5.4	17.4	29.9	2.9	0.6	0.4	40	1.2

Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la DMSH al 5 %. La descripción de variables está en Materiales y Métodos.

El Cuadro 10 muestra el análisis de correlación del rendimiento de chile “Loco” con respecto a las variables registradas. Se observa que 10 de las 15 variables no influyeron en el rendimiento. De las cinco que sí lo hicieron altura de planta, diámetro de tallo, semillas por fruto y número de frutos por planta influyeron de manera positiva, lo que indica que una mayor expresión de estas variables aumenta el rendimiento. Lo contrario sucedió en días a floración, ya que, al tener una correlación negativa, una mayor expresión disminuye el rendimiento, lo que denota la importancia de seleccionar variedades precoces.

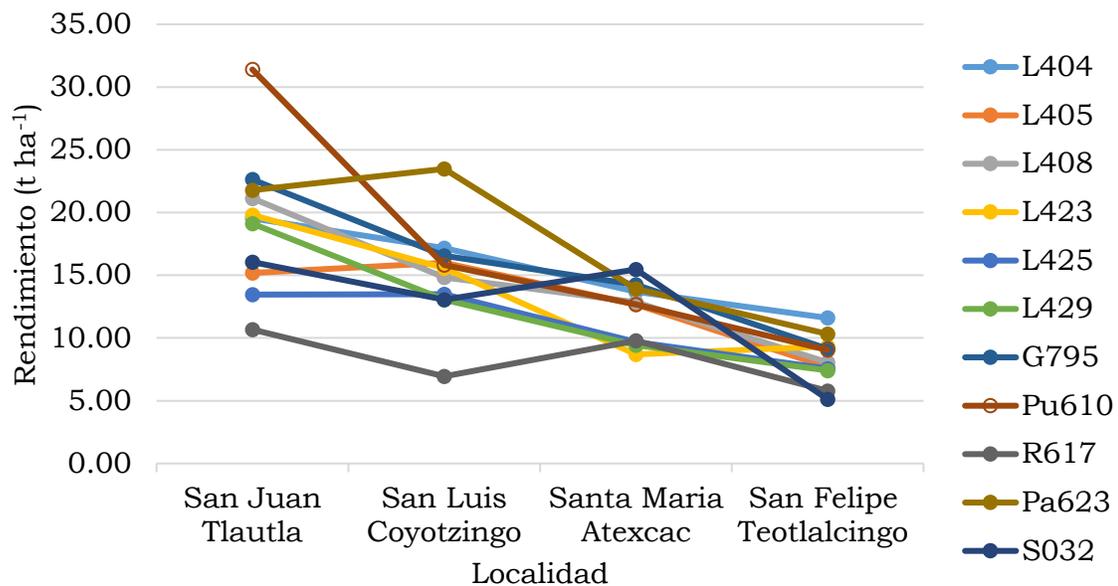
En la Figura 3 se muestra la interacción genotipo por ambiente para el rendimiento de fruto en verde de las variedades de chile “Loco” y los testigos. En concordancia con los resultados del análisis de varianza, se observa que los materiales estudiados presentaron poca interacción, pues su orden se mantuvo relativamente constante al variar los ambientes. En cuanto a los ambientes de evaluación, se observa que existen ambientes más favorables para la producción de chile, siendo en este caso los ubicados a menor altitud.

**Cuadro 10.** Coeficientes de correlación y nivel de significancia entre rendimiento y las variables evaluadas en Chile “Loco”.

Variable	RFVHa	Variable	RFVHa
DFL	-0.29572 *	ALP	0.38366 *
LFR	0.09503 ns	ANP	0.16164 ns
AFR	0.22032 ns	LTA	-0.17686 ns
EPE	0.17914 ns	DTA	0.49043 **
IRA	0.10864 ns	SFR	0.45299 **
DRA	0.05457 ns	PMS	-0.06743 ns
LHO	0.053 ns	FFP	0.82929 **
AHO	0.04866 ns		

\*: significancia estadística  $p < 0.05\%$ , \*\*: Significancia estadística  $p < 0.01\%$ , ns: no significativo.

La descripción de las variables está en Materiales y métodos.



**Figura 3.** Interacción genotipo por ambiente del rendimiento de fruto en verde de las variedades de Chile “Loco” y los testigos.

## 2.6 DISCUSIÓN

Los descubrimientos de la presente investigación fueron los siguientes: a) El Chile “Loco”, que se cultiva a nivel regional en la Sierra Nevada de Puebla, tiene características de fruto que lo ubican dentro del grupo de chiles largos; b) Considerando lo anterior y retomando la hipótesis de trabajo que era: el Chile

“Loco” de la Sierra Nevada de Puebla tiene rendimiento similar a los chiles largos de importancia nacional, se concluye que los resultados la corroboran debido a que chile “Loco” mostró rendimiento similar a los testigos como Guajillo, Serrano, Pasilla y Puya, aunque fue inferior al de chile de Árbol; c) Las características que mayormente determinaron el rendimiento en chile “Loco” fueron número de frutos por planta, diámetro de tallo, semillas por fruto, altura de planta y precocidad.

El ambiente es un factor que produce amplia variación en las características de la planta, pero cuando el ambiente permanece constante, esas diferencias se deben al genotipo. Si hay una interacción entre el genotipo y el ambiente, entonces las diferencias dependerán del equilibrio entre los dos factores, situación que permitirá o no incrementar el rendimiento (Márquez-Vasallo *et al.*, 2020). La interacción genotipo × ambiente es uno de los factores determinantes en la selección y recomendación de cultivares (Márquez-Vasallo *et al.*, 2020), siendo deseable que sea de la menor magnitud posible, ya que ello garantiza que los materiales sobresalientes en un ambiente lo sean en todos los evaluados (García-Mendoza *et al.*, 2021). En este sentido, el hecho de que en este estudio el efecto de la interacción haya resultado no significativo para rendimiento (y la mayor parte de las características evaluadas) es un aspecto favorable. Las diferencias entre ambientes encontradas en el presente trabajo se explican principalmente por la variación altitudinal entre ellos (de poco más de 400 metros entre la localidad más baja y la más elevada). Aun cuando se ha señalado que el cultivo de chile se desarrolla desde cerca del nivel del mar hasta los 2500 msnm (Izquierdo *et al.*, 2017), requiere de ambientes con temperaturas de 18 a 28 °C, las cuales ocurren más frecuentemente en la parte baja del Valle de Puebla, en altitudes de 2100 a 2400 msnm (Mendoza-Robles y Hernández-Romero, 2018), que es el área donde es más común encontrar el cultivo de chile “Loco”.

Por otra parte, la información en la literatura muestra que cuando se evalúan diferentes tipos de chile es común detectar diferencias significativas entre tales

tipos en las variables medidas, como lo muestran los resultados obtenidos por Medina *et al.* (2006), quienes encontraron diferencias estadísticamente significativas en el 94.2 % de las variables evaluadas en seis especies de chile. Una situación análoga se presentó en este trabajo pues el 94.2 % de las variables mostraron diferencias significativas en el factor tipos de chile (seis en este caso). De igual manera, estos resultados son similares a los encontrados por Toledo-Aguilar *et al.* (2011) en variedades nativas de chile Poblano, donde se reportan diferencias significativas entre ellas.

En lo que respecta a los caracteres agronómicos que determinan el rendimiento en el cultivo de chile, tratándose de chile Poblano, Toledo-Aguilar *et al.* (2016) encontraron que las más importantes fueron altura de planta, densidad de ramificación, número de frutos por planta, precocidad, espesor de pericarpio, peso y diámetro de fruto.

En chile “Loco”, la densidad de ramificación fue inferior a la de chile de Árbol, Serrano y Puya, tipos que al tener mayor número de ramas tendrán mayor número de flores y por consiguiente mayor número de frutos; sin embargo, dado que chile “Loco” cuenta con densidad de ramificación intermedia, existe la posibilidad de aumentar la densidad de población (Moreno-Pérez *et al.*, 2011) y así lograr tener un número de frutos por planta similar al de los otros tipos de chile. Cabe mencionar que la densidad de ramificación observada en chile “Loco” resultó similar a la obtenida en chile de Agua (otro chile regional), en el cual predomina la densidad de ramificación intermedia (5 a 6), debido a su hábito de crecimiento, el cual es determinado (Martínez-Sánchez, 2010). La altura y el ancho promedio de planta de chile “Loco” (62 a 71 cm y 50 cm, respectivamente) son características que corresponden a plantas intermedias y compactas, las cuales son más aptas para ser cultivadas en campo abierto (Pech-May *et al.*, 2010).

En la información generada en este estudio sobre días a floración se encontró que en chile “Loco” hubo un material muy precoz, otros intermedios y algunos

tardíos. La existencia de esta variación resulta importante, ya que permite hacer selección. En Chile es importante que las variedades sean precoces, pues con ello se evita el retraso de la fructificación y que ésta se vea afectada por condiciones desfavorables, como granizo, lluvias o sequías (Meneses-Lazo *et al.*, 2020). De hecho, en la literatura se ha reportado la asociación positiva entre mayor precocidad y mayor rendimiento en Chile (Toledo-Aguilar *et al.*, 2016). En el caso de Chile “Loco”, ello no fue la excepción, como lo evidenció la correlación negativa encontrada en este trabajo.

En este estudio, el rendimiento de 5 de las 6 variedades de Chile “Loco” fue estadísticamente similar al de los testigos, con excepción del rendimiento del Chile de Árbol, al cual prácticamente duplicó. La importancia de la similitud resalta al comparar el rendimiento de la mejor variedad de Chile “Loco”, que fue de 15.5 t ha<sup>-1</sup> en la variedad L404, con el rendimiento obtenido a nivel nacional por el Chile Guajillo (16.03 t ha<sup>-1</sup>) en el año 2021 (SIAP, 2021), lo que muestra el potencial que Chile “Loco” podría tener a nivel nacional en la categoría de Chile largos. Para demostrarlo se tendría que evaluar a las variedades de Chile “Loco” en otras áreas productoras de Chile en México.

En cuanto a las características de fruto, las variedades de Chile “Loco” se caracterizaron por tener longitud de 9.2 a 11 cm, de 20 a 24 frutos por planta, ancho de 2.3 a 2.8 cm y de 197 a 240 semillas por fruto. En promedio, los frutos de Chile “Loco” fueron más largos que los de Chile de árbol y más anchos que los de Serrano y Puya, además de que tuvieron un mayor número de semillas por fruto que todos los testigos empleados. La importancia de la longitud de fruto es que ésta se asocia con un mayor peso de fruto y, por tanto, más rendimiento (Reyes-Pérez *et al.*, 2017). En lo que respecta al número de frutos por planta, Bozokalfa y Kilic (2010) encontraron que el peso y número de frutos por planta son características que contribuyen directamente al rendimiento.

Otros aspectos a explorar en relación con Chile “Loco” son los referentes al mercado del mismo, sus usos, su composición química, el diseño de un paquete

tecnológico y definir los niveles de nutrición, para de esta manera aumentar aún más los rendimientos y apoyar a que los agricultores puedan aumentar la producción de este cultivo.

Los resultados obtenidos en este estudio resaltan la importancia de hacer investigaciones en todos los chiles regionales de México, pues ellos representan un potencial para incrementar la producción de este cultivo a nivel nacional.

## **2.7 CONCLUSIONES**

El cultivo de chile “Loco” tiene un comportamiento agronómico similar al de los chiles largos evaluados en este estudio. En cuanto a características vegetativas cuenta con ramificación y ancho de planta intermedia, con hojas más largas y anchas que los testigos, mantiene una precocidad intermedia y un número de frutos por planta que le permiten obtener un rendimiento similar a Pasilla, Puya, Guajillo y Serrano y superior al de Árbol. Las mayores diferencias de chile “Loco” se presentan con Chile de Árbol.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

El conocimiento generado en el presente estudio está relacionado con la teoría de la diversidad genética vegetal, más específicamente con la diversidad genética de la especie *Capsicum annuum* L.

Las investigaciones generadas en México en *C. annuum* L. se han enfocado principalmente a los chiles de importancia nacional, como lo es el Jalapeño o el Guajillo, descuidando a muchos de los chiles regionales que existen en nuestro país, lo que constituye un vacío en la teoría. Al respecto, esta investigación contribuye a ir llenando ese vacío en la ciencia al generar información precisa sobre la diversidad genética existente en el chile “Loco”, un recurso fitogenético importante en la región de la Sierra Nevada de Puebla.

Como resultado de esta investigación ahora se conocen con detalle las características de la planta y cómo éstas varían en las variedades criollas de chile “Loco” y qué tanto éstas se parecen o se diferencian de otros tipos de chile largos de importancia nacional. La ventaja de estos conocimientos es que ahora se puede planear la conservación de esa diversidad genética y un mejor aprovechamiento de la misma de manera inmediata o mediante un mejoramiento genético posterior.

## LITERATURA CITADA

- Acosta-Naranjo, R. y Rodríguez-Franco, R. (2013). La biodiversidad cultivada. Actores sociales y estrategias en el contexto de la nueva ruralidad en España. *Agrociencia* 47: 115-130.
- Aguilar-Rincón, V.H., Corona, T., López, P., Latournerie, L., Meraz, M., Villalón-Mendoza, H. y Castillo, J. (2010). Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Aguirre H., E. y Muñoz O., V. (2015). El chile como alimento. *Ciencia* 66:16-23.
- Benito T., M.L. y Benito T., J.J. (2018). Selección de variedades criollas de chile “Loco” en la Sierra Nevada de Puebla. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. San Diego Xocoyucan, Tlaxcala. 56 p.
- Bozokalfa, K.M. y Kilic, M. (2010). Mathematical modeling in the estimation of pepper (*Capsicum annum* L.) fruit volume. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70: 626–632, <https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000400013>
- Carrizo-García, C., Barfuss, M.H., Sehr, E.M., Barboza, G.E., Samuel, R., Moscone, E.A. y Ehrendorfer, F. (2016). Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, *Solanaceae*). *Annals of Botany* 118: 35-51, <https://doi.org/10.1093/aob/mcw079>
- Castellón M., E., Carrillo-Rodríguez, J.C., Chávez-Servía, J.L. y Vera-Guzmán, A.M. (2014). Variación fenotípica de morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) nativo de Oaxaca, México. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 83: 225-236.
- Cevallos F., R.S. (2011). Los chiles de México y su distribución. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 2-3.
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division (2021). Estadísticos de la producción mundial de Chile. Fecha de consulta: 15 de febrero de 2022, <http://faostat.fao.org>
- García-Mendoza, P.J., Pérez-Almeida, I.B., Prieto-Rosales, G.P., Medina-Castro, D.E., Manayay-Sánchez, D., Marín-Rodríguez, C.A., Ricse-Nestare, S.J.C., Ortecho-Llanos, R. y Medina-Hoyos, A.E. (2021). Interacción genotipo ambiente y potencial productivo de 25 variedades de Maíz Amiláceo en la Provincia de Tayacaja, Perú. *Biagro* 33: 67-68.

- González J., A. y Reyes M., L. (2014). El conocimiento agrícola tradicional, la milpa y la alimentación: el caso del Valle de Ixtlahuaca, Estado de México. *Revista de Geografía Agrícola* 52-53: 21-42.
- Hernández-Verdugo, S., Luna-Reyes, R. and Oyama, K. (2001). Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annuum* (Solanaceae) from Mexico. *Plant Systematics and Evolution* 226: 129–142, <https://doi.org/10.1007/s006060170061>
- Hernández-Verdugo, S., Porras, F., Pacheco-Olvera, A., López-España, R.G., Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S. y Osuna T., E. (2012). Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica* 33: 175-191.
- Hunter, D. y Heywood, V. (2011). *Parientes silvestres de los cultivos: manual para la conservación in situ*. Biodiversidad Internacional. 530 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009). Anuario Estadístico Puebla. Aspectos Geográficos, Coordenadas geográficas y altitud de las cabeceras municipales. Serie I. Fecha de consulta 10 de marzo del 2021, [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi)
- IPGRI AVRDC and CATIE (1995). Descriptors for *Capsicum* (*Capsicum* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; the Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan, and the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 110 p.
- Ix-Nahuat, J.G., Latournerie-Moreno, L., Pech-May, A.M., Pérez-Gutiérrez, A., Tun-Suárez, J.M., Ayora-Ricalde, G., Mijangos-Cortes, J.O., Castañón-Nájera, G., López-Vázquez, J.S. y Montes-Hernández, S. (2013). Valor agronómico de germoplasma de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en Yucatán, México. *Universidad y Ciencia* 29: 231-242.
- Izquierdo O., H., Alcaraz L., M. y Rodríguez-Álvarez, M. (2017). Micropropagación de chiltepín (*Capsicum annuum* L. cv. *glabriusculum*) mediante el empleo de una oligosacarina de origen péctico. *Acta Universitaria* 27: 34-43, <https://doi.org/10.15174/au.2017.1452>
- Kraft, H.K., Brown, H.C., Nabhan, P.G., Leudeling, E., Luna R., J. de J., d'Eeckenbrugge, C. G., Hijmans, J. R. and Gepts, P. (2014). Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in Mexico. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 6165-6170, <https://doi.org/10.1073/pnas.1308933111>

- Latournerie, L., Chávez, J.L., Pérez, M., Hernández C., F., Martínez, R., Arias, L.M. y Castañón, G. (2001). Exploración de la diversidad morfológica de chiles regionales en Yaxcabá, Yucatán, México. *Agronomía Mesoamericana* 12: 41-47.
- López L., P., Rodríguez H. R. y Bravo M. E. (2016). Impacto económico del chile Huacle (*Capsicum annuum* L.) en el estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agronegocios* 38: 317-328.
- Luna-Ruiz, J. de J., Naabhan, G.P. y Aguilar-Melendez, A. (2018). Shifts in plant chemical defenses of chile pepper (*Capsicum annuum* L.) due to domestication in Mesoamerica. *Frontiers in Ecology and Evolution* 6:48, <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00048>
- Marden, J.I. and Muyot, M.E.T. (1995). Rank tests for main and interaction effects in analysis of variance. *Journal of the American Statistical Association* 90: 1388-1398, <https://doi.org/10.2307/2291530>
- Márquez-Vasallo, Y., Salomón-Díaz, J.L. y Acosta-Roca, R. (2020). Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales* 41: 1-10.
- Martínez G., A. (1988). Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de Teoría. Ed. Trillas. México, D.F. 756 p.
- Martínez-Sánchez, D., Pérez-Grajales, M., Rodríguez-Pérez, E. y Moreno P., E. del C. (2010). Colecta y caracterización morfológica de "chile de agua" (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo serie Horticultura* 16: 169-176.
- Matsufuji, H., Ishikawa, K., Numomura, O., Chino, M. y Takeda, M. (2007). Antioxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange and red (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Science and Technology* 42: 1482-1488, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01368.x>
- Medina C., I., Lobo, M. y Gómez F., A. (2006). Variabilidad fenotípica en poblaciones de ají y pimentón de la colección colombiana del género *Capsicum*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 7: 25-39, [https://doi.org/10.21930/rcta.vol7\\_num2\\_art:67](https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num2_art:67)
- Mendoza-Robles, R. y Hernández-Romero, E. (2018). Biodiversificación en la agricultura familiar de Chiautzingo, Puebla: Estudio de caso. *Agroproductividad* 11: 99-104.
- Mendoza-Robles, R., Parra-Inzuna, F. y De los Ríos-Carmenado, I. (2010). La actividad frutícola en tres municipios de la Sierra Nevada en Puebla:

- características, organizaciones y estrategia de valorización para su desarrollo. *Agricultura, sociedad y desarrollo* 7: 229-245.
- Meneses-Lazo, R.E., Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L., Andrade-Torres, J.L. y Pérez-Gutiérrez, A. (2020). Caracterización fenológica y fisiológica de variedades experimentales de chile habanero con alto potencial agronómico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41: 67-74, <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.67-74>
- Moreno P., E. del C., Martínez D., M.T., Reyes L., D., Pérez M., C.A., Peña L., A. y Espinosa R., P. (2006). Intensidad de color y contenido de antocianinas en chile guajillo (*Capsicum annum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12: 125-130.
- Moreno-Pérez, E. del C., Avendaño-Arrazate, C.H., Mora-Aguilar, R., Cadena-Iñiguez, J., Aguilar-Rincón, V.H. y Aguirre-Medina, J.F. (2011). Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annum* L.) del centro-norte de México. *Revista Chapingo Serie horticultura* 17: 23-30.
- Pech-May, A.M., Castañón-Nájera, G., Tun-Suárez, J.M., Mendoza-Elo, M., Mijangos-Cortés, J.O., Pérez-Gutiérrez, A. y Latournerie-Moreno, L. (2010). Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 351-360, <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.4.353>
- Pickersgill, B. (1997). Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica* 96: 129-133, <https://doi.org/10.1023/A:1002913228101>
- Prado-Urbina, G., Lagunes-Espinoza, L. del C., García-López, E., Bautista-Muñoz, C. del C., Camacho-Chiu, W. y Mirafuentes G., F. (2015). Germinación de semillas de chiles silvestres en respuesta a tratamientos pre-germinativos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2: 139-149.
- Ramírez N., U.I., Cervantes F., O., Montes S., H., Raya J., C.P., Cibrián A., J. y Andrio E., E. (2018). Diversidad morfológica del chile piquín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) de Querétaro y Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 1159-1170, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.1581>
- Reyes-Pérez, J.J., Luna-Murillo, R.A., Reyes-Bermeo, M. del R., Zambrano-Burgos, D. y Vásquez-Morán, V.F. (2017). Fertilización con abonos orgánicos en el pimiento (*Capsicum annum* L.) y su impacto en el rendimiento y sus componentes. *Revista Centro Agrícola* 4: 88-94.
- Román, S., Ojeda-Granados, C., Panduro, A. (2013.) Genética y evolución de la alimentación de la población en México. *Revista Endocrinología y Nutrición* 21: 42-51.

- Salinas H., R.M., Lievano E., A.L., Ulín-Montejo, F., Mercado J., N. y Petit D., J. (2010). Caracterización morfológica y cambios durante la vida postcosecha de cuatro tipos de chile Amashito (*Capsicum annum*) variedad *glabriusculum (dunal)* Heiser y Pickersgill. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 11: 92-100.
- SAS, Statistical Analysis System (2012-2018) SAS® OnDemand for Academics. Copyright© (2012-2018). SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. Fecha de consulta: 5 de enero de 2022, [https://www.sas.com/en\\_us/software/on-demand-for-academics](https://www.sas.com/en_us/software/on-demand-for-academics).
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2022, <https://nube.siap.gop.mx/cierreagricola/>
- Tlelo C., A.M., Taboada-Gaytán, O.R., López S., H., Cruz H., J., Ocampo Fletes, I. y Velázquez-Aradillas, J.C. (2022). Caracterización de los productores de chile poblano de la Sierra Nevada de Puebla por el manejo de la fertilización del cultivo. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 19: 112–125, <https://doi.org/10.22231/asyd.v19i2.771>
- Toledo-Aguilar, R., López-Sánchez, H., López, P.A., Guerrero-Rodríguez, J.D., Santacruz-Varela, A. y Huerta-de la Peña, A. (2016) Diversidad morfológica de poblaciones nativas de chile Poblano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7: 1005-1015, <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.227>
- Toledo-Aguilar, R., López-Sánchez, H., López, P.A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Santacruz, V.A. y Huerta-de la Peña, A. (2011). Características vegetativas, reproductivas y de rendimiento de fruto de variedades nativas de chile “Poblano”. Revista Chapingo Serie Horticultura 17: 139-150.
- Toxqui-Tapia, R. Peñaloza-Ramírez, J.M., Pacheco-Olvera, A., Albarran-Lara, L. y Oyama, K. (2022). Genetic diversity and genetic structure of *Capsicum annum* L., from wild, backyard and cultivated populations in a heterogeneous environment in Oaxaca, Mexico. Polibotánica 53: 87-103, <https://doi.org/10.18387/polibotanica.53.6>