



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO**

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

**RASGOS DE DOMESTICACIÓN EN VARIEDADES DE CHILE  
(*C. annuum* L.) ASOCIADOS A CONDICIONES AMBIENTALES  
Y SOCIOECONÓMICAS EN EL ESTADO DE  
OAXACA, MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

CRISTINA ALONSO FERNÁNDEZ

DIRECTORES DE TESIS

DR. LEV ORLANDO JARDÓN BARBOLLA

CEIICH, UNAM

DRA. MARIANA BENITEZ KEINRAD

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX, ABRIL 2021



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# Agradecimientos

Al Posgrado de Geografía, UNAM.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada durante mis estudios de maestría. Al Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado (PAEP) y al proyecto PAPIIT IA202515 *Diversidad agroecológica en evolución: del organismo al manejo y la cultura* a cargo del Dr. Lev Orlando Jardón Barbolla por el financiamiento otorgado para el trabajo de campo de esta tesis. Al proyecto CONACyT-Problemas Nacionales 247730 *La variación genética de las plantas cultivadas en México: estrategias para enfrentar el cambio climático* a cargo del Dr. Daniel Piñero Dalmau por el financiamiento para los análisis de laboratorio. Al proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT IN207819 *Estudio teórico y práctico de la relación agricultura-biodiversidad en el contexto de la matriz agroecológica* bajo dirección de la Dra. Mariana Benítez Keinrad por el financiamiento para asistir al Primer Congreso Mexicano de Agroecología, al VII Encuentro Internacional de Agroecología, Agricultura Sostenible y Cooperativismo, ANAP y al Congreso Anual (virtual) de la Ecological Society of America (ESA) 2020 en los cuales presente este trabajo.

Al Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (Lancis) del Instituto de Ecología y al Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH), UNAM.

A la Dra. Mariana Benítez Keinrad y al Dr. Lev Orlando Jardón Barbolla por la dirección de este proyecto.

A los miembros del jurado, al Dr. Lorenzo Vázquez Selem, la Dra. Christina Siebe Grabach y al Dr. Alejandro Casas Fernández por la revisión de esta tesis.

## Agradecimientos personales

Después de tantos años de proyecto van los muchos, muchos agradecimientos:

A todos los campesinos que me compartieron su sabiduría y su trabajo, por el tiempo que me dedicaron. Por ser los responsables de la agrobiodiversidad y por todo lo que ella conlleva, por alimentarnos.

A Lev y Mariana. A Mariana por el acompañamiento y la amistad tan bonita, por la capacidad de entender y de ver a fondo, por siempre estar abierta a la reflexión. Por la confrontación constante, la confianza y la complicidad. Por la emoción de los vasos rojos y lo que de ahí vendrá. A Lev por invitarme a participar en el proyecto de los chiles, por la paciencia y la confianza, por su capacidad de relacionar las cosas, por aguantar mis necesidades y por ayudarme a definirme. A los dos muchas gracias por todo lo que me enseñaron.

Al Dr. Lorenzo Vázquez por ser mi guía durante todo el posgrado, por platicar conmigo del proyecto desde antes de que tuviera forma. Por tanto apoyo, por los cafés y las pláticas. A la Dra. Christina Siebe por la claridad y el apoyo, y por la ayuda en el planteamiento de esta tesis. Por dejarme entrar a todas sus cursos. A los dos por todo lo que aprendí con ustedes, por el esfuerzo en sus maravillosas clases, por hacer que me enamorara de los suelos y ayudarme a saber por dónde seguir. Al Dr. Alejandro Casas por las correcciones detalladas a esta tesis y por ser una inspiración en los trabajos de domesticación. Gracias a los tres por sus revisiones y comentarios en un momento tan complicado.

A los profesores del Posgrado, en particular a Efraín León por la amistad, por las clases y todo lo aprendido, por la enorme ayuda en la parte social de la tesis y por las muchas pláticas, y a Federico Fernández Christlieb y a Manuel Lastra por las clases y las asesorías. A los tres por lo mucho que ayudó lo aprendido con ustedes en la tesis.

A Lorenzo Vázquez y Pilar Fernández, por la confianza y por prestarme el laboratorio del IG para hacer los análisis de suelo: a Pilar por la amabilidad, por dedicarle tiempo a enseñarme a hacer todo, y a Lorenzo por ayudarme con tanta paciencia a verificar y corregir las texturas de todos los horizontes de mis perfiles. A Lucy Mora por ayudarme a preparar las muestras y por el apoyo para hacer los análisis de materia orgánica.

A Cexi y Tania por esas primeras salidas a campo, por la alegría. A Julia, Andrea, Omar y los servicios sociales por la salida al Istmo. A Mau por emocionarse tanto, por darme el primer empujón con las entrevistas y por esos trayectos tan preciosos y divertidos en la Cañada. Por las pláticas y los libros compartidos. A Santiago, por el cariño, por acompañarme y animarme a buscar chiles en lo alto de la sierra. Por cambiar mi forma de entender la vida y ver el mundo. A Emilio por esas dos semanas en Zaachila y los Valles Centrales, por ayudarme a pensar la tesis en tantos momentos, por las pláticas y la amistad. A Diana y Andrés por el entusiasmo y las risas al coleccionar chiles y al hacer entrevistas y decenas perfilitos de suelo, por su compañía y amistad. Al Colegio Ciudad de México por el apoyo para poder realizar el trabajo de campo.

A Nat, haber cambiado de rumbo. Por ayudarme con los primeros cientos de PCAs y obsesionarnos con los colores, por compartir y aguantar las mañanas. Por las horas en el cuartito entre fotos de bacterias y chiles, por los fika fika, las comidas y las pláticas, por aguantar mis constantes distracciones. A Edgar por su admirable

rigor, por escucharme, ayudarme y por explicarme con calma todo. A Vero y Edgar por acompañarme y pensar juntos los análisis en medio de pozoles, sushis y postres. Por ser unos grandes amigos. A Enrique Scheinvar por ayudarme con R y los datos de WorldClim. A Julieta Rosell por las sonrisas en el Lancis y por ayudarme con los multivariados. A Tanya por ayudarme a editar las imágenes para poder hacer la morfometría y por revisar mi inglés. Por todo el cariño y la amistad.

A mis compañeros del posgrado de Geografía, en especial a Emma, Victoria, Bruno y Diana, por lo compartido, porque los últimos serán los primeros. A mi querida Ale, por darme una cálida bienvenida al mundo de la Geografía, por guiarme tan asertivamente a lo largo de todo el posgrado, por la amistad tan sincera. Al grupo del curso de campo de geomorfología y suelos, por ser el grupo más divertido, y sobre todo a Christina y a Lorenzo por el esfuerzo, el tiempo dedicado y por hacer el curso que definió mi posgrado, y a Ale, Lau, Julieta, Andrés, Cexi, Gina, Lalo y Diana por la amistad que de ahí salió. A Ali y a Betty por la amistad y por todo lo que aprendí con ellas.

A los compañeros del seminario del CEIICH, en particular a Lau por su trabajo y las pláticas.

A mis amigos de La Parcela por escucharme y ayudarme a pensar tantas veces mi proyecto, por todo lo que hemos aprendido juntos y por las comidas deliciosas. Por ser un grupo tan bonito. A Kyria, por el trabajo juntas, la paciencia y el cariño. Por lo mucho que me ha enseñado. A Luis Guillermo, Aniza y Kyria, por lo compartido en Cuba. A Juan va un abrazo y una ensalada.

A Jorge Meave y Carlos Martorell por la amistad, por la sólida formación de base. Haber salido del laboratorio me reafirmó que haber aprendido a ver la Ciencia con sus ojos fue un verdadero privilegio. A Carmen, Vero, Ale y Diego por adoptarme en los ensayos para la ESA y por su amistad.

A Beto por ser mi amigo, por la frontalidad y la confrontación constantes, por las discusiones que me obligan a repensar todo y a tomar postura. Por la confianza y las porras.

A Alonso, Tania y Ju, por las tantas tantas tantas pláticas y reflexiones, por su amistad, por ayudarme a definir quién quiero ser. Sin ustedes no hubiera podido existir esta tesis.

A mis alumnos y exalumnos, que me alegran la vida. A Carmen, Elena y a la Gen Dharma, a quienes les ha tocado oír mucho de esta tesis, y por poder llamarlos mis amigos.

A Sandra, por tanto trabajo e inteligencia. Por su profesionalismo y cariño simultáneos.

Al Molote y a la Asamblea Agroecológica de Zaachila, por lo mucho que logramos y no logramos. Por las ganas que tuvimos de transformar el mundo juntos.

A Fer y Adri, por siempre acompañarme y ayudarme a acomodar las cosas, porque sin esa plática con ustedes antes de entrar al Posgrado jamás hubiera podido hacer esta tesis. Por las montañas, las porras y el cariño. A Diego por poner el dedo en el renglón, por compartir conmigo su forma de ver la vida y por el cariño.

A mi papá, Vicente, y mi mamá, Beatriz, por la cercanía y por todas las pláticas llenas de amor. Por el apoyo en todos los sentidos durante estos años. A mis hermanas Adriana y Valeria, por ser mis compañeras y por tanto cariño. A Andrés y Augusto por ser mis amigos además de mi familia. A Andrea, Ana, Isabel y Natalia por ser las mejores, por su cariño y alegría. A Paca por la felicidad que me da, por sus abrazos y compañía.

*A Vicente, Beatriz, Adriana y Valeria*

*A los campesinos*

## Resumen

La domesticación es un proceso evolutivo paulatino y dinámico que actúa de manera continua en diferentes grupos de organismos y que tiene más de 15,000 años de antigüedad. En las plantas, la domesticación opera en las poblaciones silvestres y en las semidomesticadas, y continúa operando sobre las plantas ya domesticadas. Existen características propias de las plantas domesticadas que, en conjunto, son conocidas como síndrome de domesticación. Las divergencias entre poblaciones silvestres y domesticadas en estas características permiten analizar la intensidad de los procesos evolutivos asociados a la domesticación. Algunas de éstas son el aumento del tamaño de los órganos de interés (las semillas, los frutos y/o las hojas) la variedad de colores y formas de los frutos. Entender la naturaleza de los cultivos es fundamental ante las amenazas del cambio climático, así como para lograr las metas de conservar la agrobiodiversidad y mantener o alcanzar la soberanía alimentaria. Mesoamérica es uno de los centros de origen de domesticación de muchas plantas de gran importancia económica y cultural, entre las cuales se encuentra el chile, *Capsicum annuum* L.

El objetivo de este trabajo es estudiar cómo algunos rasgos de domesticación de distintas variedades de chile (*C.annuum*) son seleccionados y cómo algunos de ellos se relacionan con las condiciones ambientales y socioeconómicas de cuatro regiones del estado de Oaxaca. Para ello, tomamos muestras de frutos y medidas de las plantas de las variedades de chile encontradas en cada región y posteriormente realizamos medidas morfométricas a los frutos colectados. Además, obtuvimos datos ambientales (precipitación, temperatura, altitud y suelos) de cada una de las localidades donde realizamos el muestreo. Finalmente, hicimos entrevistas semiestructuradas a los productores de chile en torno a cuatro temas: a) el uso de las variedades; b) la selección de frutos y semillas; c) el manejo de los campos de cultivo y d) la forma de consumo de las variedades sembradas.

Encontramos una gran diversidad de *C. annuum*, y en total estudiamos 17 variedades. Con base en los datos recolectados, y considerando los rasgos del síndrome de domesticación de esta especie, se propone un gradiente de domesticación de las variedades estudiadas. Encontramos que hay una fuerte relación entre el grado de domesticación y las prácticas de manejo y de consumo (autoabasto o venta). Además, parece haber una relación positiva entre la precipitación y la temperatura y el número de frutos producidos por las plantas, así como entre el tamaño de los frutos y las características de los suelos. Los resultados apuntan a que la comercialización de los chiles juega un papel importante en determinar qué variedades locales se siembran en cada una de las regiones y cuáles son las características buscadas en los frutos, aunque un estudio profundo de los diferentes usos que se les da podría también dar mucha luz sobre el proceso de domesticación en la actualidad en la zona de estudio.

## Abstract

Domestication is a gradual and dynamic evolutionary process that has been acting upon several groups of organisms. In plants, domestication has operated and continues to operate on wild, semi-domesticated, and domesticated plants, in a process that has been taking place for over 15,000 years. Domesticated plants share a set of characteristics known as the domestication syndrome. The divergence between wild and domesticated populations within these traits, allows us to analyze the intensity of evolutionary processes associated with domestication. Some of these attributes are, for example, the size of the harvested organs (seeds, leaves or fruits), or the variety of shapes and colors of the fruits. As we face climate change, understanding crop diversity has become fundamental in order to protect agrobiodiversity and attain food sovereignty. Mesoamerica is one of the centers of origin of domestication of many crops, including the common chili pepper, *Capsicum annuum* L.

The objective of this project is to study how the domesticated traits found in different landraces of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) are selected, as well as to establish their relationship to environmental and socioeconomic conditions in four regions within the State of Oaxaca. For this, we took fruit samples from all the landraces found in each region, and measured the height and number of fruits of each plant. We then realized morphometrics to the fruits gathered. We obtained environmental data such as temperature, precipitation, altitude, and soil characteristics of each of the sampling sites. We also conducted semi-structured interviews to chili pepper producers regarding: a) the use of each landrace; b) fruit and seed selection; c) agricultural management, and d) commercialization of each landrace.

We found a great diversity of landraces of *C. annuum*, and documented 17 of them. Considering the traits of the domestication syndrome for this species and the data collected, we propose a domestication gradient for the landraces found. There seems to be a strong relationship between the degree of domestication and the management practices and uses of the landraces. There also appears to be a positive relationship between precipitation and temperature and the fruits produced per plant, as well as between the chili pepper fruits' size and soil characteristics. The results also showed that commercialization plays a major role in the phenotypic traits chosen by peasants as well as in determining the landraces that are grown in each region in Oaxaca. A thorough study regarding the different ways in which the landraces are used can shed light on the domestication process that is currently taking place in the study site.

# Índice

<b>I. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.2 <i>Objetivos particulares</i>	2
<b>II. Marco teórico</b>	<b>4</b>
2.1 <i>Origen de la agricultura</i>	4
2.2 <i>Centros de origen</i>	6
2.3 <i>Domesticación</i>	8
<i>Síndrome de domesticación</i>	11
2.4 <i>Plasticidad fenotípica</i>	15
2.5 <i>Selección, manejo y consumo en el proceso de domesticación</i>	16
2.6 <i>Variedades locales</i>	19
2.7 <i>Capsicum annuum</i>	22
<i>Breve historia de Capsicum annuum</i>	23
<i>Capsicum annuum var glabiusculum</i>	24
<i>Capsicum annuum var annuum</i>	25
<b>III. Método</b>	<b>29</b>
3.1 <i>Sitio de estudio</i>	29
<i>Oaxaca</i>	29
<i>Regiones de estudio del estado de Oaxaca</i>	30
<i>Cañada</i>	30
<i>Costa</i>	31
<i>Istmo</i>	31
<i>Valles Centrales</i>	32
3.2 <i>Toma de datos y muestreo</i>	34
<i>Datos ambientales físicos</i>	35
<i>Colecta de frutos y medidas de plantas</i>	35
<i>Suelo</i>	36
<i>Laboratorio</i>	36
pH y conductividad eléctrica	36

Carbono orgánico e inorgánico y nitrógeno totales	36
<i>Entrevistas</i>	37
3.3 <i>Morfometría de los frutos de Capsicum annuum</i>	38
3.4 <i>Gradiente de domesticación</i>	39
3.5 <i>Intensificación de manejo</i>	41
3.6 <i>Análisis estadísticos</i>	43
<b>IV Resultados</b>	<b>45</b>
4.1 <i>Variedades de Capsicum annuum encontradas</i>	45
4.2 <i>Descripción general de las variedades de chile</i>	46
<i>Generalizaciones de las condiciones socioeconómicas</i>	46
4.3 <i>Los rasgos fenotípicos y las condiciones ambientales</i>	47
4.4 <i>Relaciones entre las características socioeconómicas</i>	50
4.5 <i>El consumo y el manejo de los chiles en el proceso de selección y de siembra</i>	51
4.6 <i>Propuesta de gradiente de domesticación para las variedades encontradas</i>	53
<i>Descripción de las variedades a partir del gradiente de domesticación y las categorías propuestas</i>	55
Chile de monte	55
Nanche, zopilote, mirasol y piquín	55
Nanchita, solterito, chiltepe y achilito	56
Guiña danhi, taviche, de árbol, puya, tusta, de agua, costeño y huacle	56
<b>V Discusión</b>	<b>58</b>
5.1 <i>Las variedades de Capsicum annuum</i>	58
5.2. <i>Rasgos fenotípicos y ambiente</i>	60
5.3 <i>Manejo, consumo y selección</i>	64
5.4 <i>Propuesta de gradiente de domesticación</i>	67
<b>VI Conclusiones y perspectivas</b>	<b>73</b>
<b>Referencias</b>	<b>76</b>
<b>Apéndices</b>	<b>91</b>
Apéndice 1. Mapas de Oaxaca	91

Apéndice 2. Número de localidades y parcelas visitadas y número de plantas y frutos medidos por variedad	93
Apéndice 3. Carta de presentación del proyecto	94
Apéndice 4. Fichas de las entrevistas	95
Apéndice 5. Fichas de las variedades de <i>Capsicum annuum</i>	97

## Índice de figuras

### II. Marco teórico

Figura 2.1. Foto de <i>Capsicum annuum</i> var <i>glabrusculum</i>	25
Figura 2.2. Fotos de <i>Capsicum annuum</i> var <i>annuum</i>	26
Figura 2.3. Desarrollo de las diferentes formas del fruto de <i>C. annuum</i> a partir de <i>C. annuum</i> var <i>glabrusculum</i>	27

### III. Método

Figura. 3.1. Mapa de las ocho regiones económicas de Oaxaca	30
Figura. 3.2. Mapa del estado de Oaxaca, las regiones de estudio y las localidades en las que hicimos los muestreos y las entrevistas.	34
Figura. 3.3. Medidas tomadas a los 1073 frutos de chile	39
Figura 3.4. Fotos de los distintos niveles de intensificación de manejo	42

### IV Resultados

Figura 4.1. Análisis de redundancia (RDA) de las variables ambientales y de suelo (variables explicativas) y las variables fenotípicas de las variedades de chile (variables de respuesta)	49
Figura. 4.2. Coeficientes de correlación de Spearman ( $\rho$ ) entre las variables de manejo y de consumo	50
Figura 4.3. Formas buscadas de los chiles que suelen ser vendidos en los mercados	52
Figura. 4.4. Gradiente de domesticación propuesto para las variedades encontradas en la regiones de estudio del estado de Oaxaca	54
Figura. 4.5. Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) de las características fenotípicas medidas para cada una de las variedades de chile	54
Figura. 4.6. Síntesis de las características socioeconómicas asociadas a cada una de las variedades por grado de domesticación	57

### IV Conclusiones y perspectivas

Fotos de campesinos y campesinas entrevistadas	75
--	----

# Índice de cuadros

## III. Método

Cuadro 3.1. Variedades de chile encontradas en cada una de las localidades y las parcelas de muestreo. Número de plantas medidas y frutos colectados y medidos en cada una de las parcelas visitadas.	33
---	----

## IV Resultados

Cuadro 4.1 Variedades encontradas en cada una de las regiones de estudio	45
Cuadro 4.2. Variedades finales con las que trabajamos	45
Cuadro 4.3. Condiciones ambientales y características del suelo de los sitios en los que encontramos <i>Capsicum annuum</i>	48
Cuadro 4.4 Propuesta de gradiente de domesticación a partir del tamaño de los frutos (promedio del perímetro), la posición de los frutos dentro de la planta y el número de colores de los frutos al madurar	53

# I. Introducción

La domesticación de las plantas y, junto con ella el desarrollo de la agricultura, fue un proceso que revolucionó no sólo nuestra forma de vivir, sino también nuestra forma de entender el mundo (López Austin y López Luján, 2001; Matos Moctezuma, 2013). La domesticación comienza con el aprovechamiento de algunas plantas (y animales y microorganismos) en estado silvestre, las cuales posteriormente son manejadas bajo diferentes formas e intensidades y, posteriormente, cultivadas. Al hacerlo, los seres humanos seleccionan distintas características de los organismos que manejan, y en el caso de las plantas, cuida de éstas, evitando que se estresen y se adapten a los ambientes construidos por los seres humanos para mantenerlas. En este proceso, la diversidad genética de la gran mayoría de las plantas domesticadas se reduce, pues del total de individuos de una población, tan sólo algunas de ellas entran dentro de la relación con los seres humanos (Gepts, 2004; Pickersgill, 2007). Sin embargo, conforme el ser humano las maneja en ambientes heterogéneos y va seleccionando distintas características de ellas a lo largo del tiempo, las plantas van desarrollando una variedad de tipos o rasgos muy rica y extensa (Brush, 2004; Zeder, 2015). Es importante entender no solamente los factores físicos del medio ambiente o la manera en la que influyen los genes o distintas frecuencias alélicas en el proceso de domesticación de las plantas, sino que es necesario, ante todo, entender los factores sociales, culturales, tecnológicos y económicos que motivan su dinámica y cómo operan tales factores (Brush, 2004).

Las plantas domesticadas suelen compartir algunas características que las diferencian de sus parientes silvestres, tales como la pérdida de mecanismos de dispersión, el aumento de tamaño de semillas, los frutos y las hojas, la variedad de colores y formas, entre otras. A estas características se le conoce, en su conjunto, como el síndrome de domesticación. Analizar la divergencia entre las plantas silvestres y las domesticadas a partir de su síndrome de domesticación es fundamental para entender su proceso de domesticación (Gepts, 2004; Long-Solis, 2013; Pickersgill, 2016). Conocer la naturaleza de la diversidad de cultivos ahora es indispensable para adoptar prácticas agrícolas más sustentables, pues conocerla nos puede ayudar a atender distintas necesidades técnicas, adaptativas, culturales y nutricionales relacionadas con ellos. Esto cada vez se vuelve más importante debido a dos principales factores: la creciente migración del campo a la ciudad y el cambio climático (Fowler y Mooney, 1990; Brush, 2004; Gepts, 2004).

En América se reconoce actualmente que existen cuatro principales regiones de domesticación: el noreste de los Estados Unidos, Mesoamérica, la región andina y las tierras bajas de la Amazonia (Vavilov, 1994; Diamond, 2002; Smith, 2006; Piperno, 2011). Mesoamérica es considerada el centro

de origen y de domesticación de muchas plantas de gran importancia económica y cultural, entre las cuales se encuentran el maíz (*Zea mays*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*), el algodón (*Gossypium hirsutum*) y el chile (*Capsicum annuum*). Actualmente en México existen alrededor de 100 variedades de *Capsicum annuum* (Katz, 2009).

En el estado de Oaxaca es particularmente interesante estudiar el proceso de domesticación de *Capsicum annuum*, pues presenta una gran variedad de condiciones ambientales (Trejo, 2004). Esto permite estudiar la domesticación del chile bajo distintos escenarios, siendo además, un estado con una inmensa diversidad cultural y una larguísima historia agrícola (De Ávila Blomberg, 2004; Perry y Flannery, 2007). La variedad de condiciones ambientales y la diversidad cultural han dado como resultado un gran número de variedades locales de chile, muchas de las cuales son endémicas del estado e incluso de regiones particulares (Aguilar Rincón *et al.*, 2010). Dadas estas condiciones, es de esperar que en Oaxaca se pueda documentar un gradiente de domesticación de esta especie, desde su estado silvestre, pasando por algunas variedades semidomesticadas hasta variedades completamente domesticadas.

## **1.1 Objetivo general**

El objetivo del siguiente trabajo es estudiar cómo algunos rasgos de domesticación de distintas variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) son seleccionados y se relacionan con las condiciones ambientales y socioeconómicas de cuatro regiones del estado de Oaxaca: Cañada, Valles Centrales, Istmo y Costa.

## **1.2 Objetivos particulares**

A partir de este objetivo se desprenden los siguientes objetivos particulares:

1. Identificar las variedades de *Capsicum annuum* que se siembran en cada una de las regiones de estudio.
2. Hacer una descripción general de las variedades encontradas en cuanto a su rasgos fenotípicos y las condiciones ambientales, sociales y económicas bajo las cuales se cultivan.
3. Conocer la relación entre algunos rasgos fenotípicos de las variedades de *Capsicum annuum* con las condiciones ambientales en donde crecen.
4. Conocer las relaciones entre las características socioeconómicas bajo las cuales se cultiva

*Capsicum annuum*.

5. Conocer cómo influyen y cómo se relacionan el consumo y el manejo de los chiles en su proceso de selección y de siembra.
6. Proponer un gradiente de domesticación de las variedades encontradas a partir de algunos rasgos fenotípicos del síndrome de domesticación y relacionarlo con las variables económicas y de manejo estudiadas.

## II. Marco teórico

### 2.1 Origen de la agricultura

El tránsito hacia la agricultura fue un proceso muy gradual que se dio desde finales del Pleistoceno y a lo largo del Holoceno, hace entre 15,000 y 10,000 años en distintas partes del mundo (Gepts *et al.*, 2012). En éste, los seres humanos empezaron a manipular algunas plantas y animales silvestres para incrementar la cantidad de alimentos que obtenían de éstas y poco a poco se fueron volviendo más dependientes de algunas de ellas (Gepts *et al.*, 2012; Harris, 2012).

Es asombroso el hecho de que la agricultura haya surgido en lugares tan diferentes del mundo en más o menos el mismo momento en la historia de la humanidad. Una de las principales explicaciones que se ha dado sobre la *sincronía* del cambio cultural que dio origen a la agricultura bajo contextos diferentes es que hubo una reducción de la disponibilidad de recursos, ocasionada por el crecimiento demográfico de estas sociedades y/o la modificación del clima a finales del Pleistoceno (Piperno y Pearsall, 1998; Piperno, 2006). Sin embargo, los procesos mediante los cuales la agricultura se estableció son mucho más variados y complejos de lo que suele pensarse. Es posible identificar algunos patrones comunes entre ellos, particularmente en ecosistemas parecidos, pero es importante tener presente que esta transición no se dio de la misma manera en todas partes del mundo y que muchas veces las analogías entre regiones y en distintos momentos de la historia pueden ser peligrosas (Piperno, 2006; Zeder y Smith, 2009; Bar Yosef, 2012; Harris, 2012, Zeder, 2013). Sobre todo, hay que tener cuidado de no dar explicaciones de los orígenes de la agricultura basadas en nuestra manera de entender el trabajo, las relaciones sociales y la vida en la actualidad (Harlan, 1992).

A pesar de las discusiones que existen sobre el tema, la cantidad y calidad de la información que se ha logrado obtener en las últimas décadas a partir del desarrollo de la arqueología, la antropología, la paleobotánica y otras ciencias, ha permitido estudiar el fenómeno desde diferentes perspectivas. En particular, ha habido un esfuerzo importante por explicar este fenómeno a nivel regional, y considerar e integrar distintos factores ambientales, demográficos, sociales y biológicos implicados en este proceso (Harris y Hillman, 1989; Piperno, 2006; Smith, 2006; Zeder *et al.*, 2006; Fuller, 2007; Bar-Yosef, 2012). Además, muchas de estas explicaciones han comenzado a poner énfasis en el papel activo de los seres humanos en la manipulación de los ambientes. Esto ha permitido reconstruir de manera profunda las trayectorias de un amplio número de plantas domesticadas en contextos culturales y ambientales distintos, lo cual hace posible compararlos y contrastarlos y entonces así identificar las generalidades y las particularidades de ellos (Zeder y Smith, 2009; Piperno, 2012; Zeder, 2013; Zeder, 2015).

La caza-recolección y la agricultura implican distintas formas de organización social y económica, y sobre todo, diferentes formas de relaciones entre los seres humanos y el medio que los rodea (Rindos, 1984). Desde el punto de vista de la ecología y la biología evolutiva, algo que define a cada uno de estos sistemas sociales es el nivel de dependencia del ser humano de distintos tipos de plantas y animales, así como la intensidad de esta interacción (Rindos, 1984; Harris, 1998; Piperno 2006; Harris, 2012). Así, en la caza-recolección hay un predominio del uso de plantas y animales silvestres, que son aquellos cuya supervivencia y reproducción no dependen del manejo de los seres humanos, y cuyos genotipos y fenotipos no han sido modificados por la intervención humana. Por otro lado, la agricultura es un sistema en donde los seres humanos basan su alimentación *mayoritariamente* en las plantas y los animales domesticados (Rindos, 1984, Harris, 1898, Clement, 1999; Smith, 2001; Piperno, 2006; Winterhalder y Kennett, 2006). Hablaremos más adelante del proceso de domesticación, pero a grandes rasgos, las plantas y animales domesticados son formas nuevas que se crean a partir de la selección consciente o inconsciente por parte de los seres humanos, y cuya reproducción y supervivencia es manejada directamente por éstos (Smith, 1998; Winterhalder y Kennett, 2006).

Al principio, las plantas y los animales domesticados probablemente no jugaron un papel muy importante en la supervivencia y las economías de las sociedades que seguían dependiendo de la recolección y la caza, aunque lo más seguro es que, al ser una base de subsistencia más predecible, sí fueran un amortiguador ante las incertidumbres ambientales. Esto, a su vez, permitió que las sociedades humanas pudieran crecer en tamaño y expandirse a nuevos ambientes (Zeder *et al.*, 2006).

A pesar de que mucho tiempo se pensó que el paso de la caza-recolección a la agricultura fue algo más o menos abrupto (Childe, 1951; Hunn y Williams, 1982 y para una revisión ver Smith, 2001), hoy en día se ha reconocido que hay un amplio espectro de sistemas y estrategias entre uno y otro, dependiendo el momento en la historia y los contextos ambientales, sociales y culturales de cada sociedad (Layton *et al.*, 1991; Casas *et al.*, 1997; Harris, 2012). Es así que lo que hay entre uno y otro se puede entender como un gradiente continuo muy amplio de estrategias variables de manejo de los recursos naturales y de obtención de alimentos, con diferentes niveles de dependencia y formas de interacción entre el ser humano y las plantas y animales, ya sean silvestres o domesticados (Rindos, 1984; Harris, 1989).

De acuerdo con Piperno y Pearsall (1998) y Piperno (2006), en el caso particular de las tierras bajas de los trópicos americanos, durante el Pleistoceno, las condiciones ambientales parecen haber sido muy diferentes a las actuales. En general, la Tierra no solamente era más fría, sino que también era más seca. En las zonas tropicales del continente americano, en muchos de los lugares en donde ahora

existen selvas bajas caducifolias, antes había sabanas y matorrales. Conforme la Tierra se fue calentando poco a poco y la vegetación se fue transformando lentamente, los recursos disponibles comenzaron a ser otros. Con todos estos cambios, la conducta humana también fue modificándose para lograr adaptarse y sobrevivir. Según la reconstrucción hecha por Piperno y Pearsall (1998), fue en las selvas bajas donde se dio el cambio más dramático en la distribución y abundancia de recursos, y donde dejó de ser provechoso sólo depender de la recolección y de la caza. Las presas disponibles para la caza se redujeron de tamaño, lo cual pudo ayudar a que la dieta de los humanos se ampliara y éstos comenzaran a manipular a las plantas de maneras diferentes. Antes del establecimiento de la agricultura como tal, en los trópicos americanos se fueron destinando pequeñas parcelas de plantas cultivadas cerca de las zonas donde se asentaban las comunidades (para el caso específico de Mesoamérica ver MacNeish, 1967 o Flannery, 1976). En estas parcelas se tenían plantas medicinales y alimenticias de distinto uso, sin que necesariamente predominaran las plantas domesticadas.

El ser humano llegó a lo que hoy en día es México hace entre 31,000 y 35,000 años (López Austin y López Luján, 2001; Ardelean *et al.* 2020). Las condiciones ambientales del actual territorio mexicano eran (y son) muy heterogéneas y, por lo tanto, las maneras en las que los seres humanos se han abastecido de recursos han sido muy variadas, tanto temporal como espacialmente. Es así que algunas comunidades del norte del país, donde predominan los climas más secos, mantuvieron la economía de caza recolección incluso hasta el siglo XX, mientras que otras comunidades del centro y sur del país cambiaron su sistema de subsistencia a uno basado en el cultivo de plantas domesticadas desde hace más de 9,000 años (Decker, 1988; Pickersgill, 2007).

En Mesoamérica, al igual que en el resto del mundo, esta transición fue larga, y en este caso tomó entre 5,000 y 6,000 años (Casas *et al.*, 1997; López Austin y López Luján, 2001; Harris, 2012). En este proceso, tan sólo unas pocas especies de plantas fueron domesticadas, dejando fuera de esta relación a la gran mayoría de ellas. Esto se puede deber a distintas razones, como por ejemplo, las características biológicas de las diferentes plantas, la preferencia por el sabor de algunas de ellas, su nivel de nutrición o el hecho de que pudieran o no sobrevivir fácilmente sin el cuidado humano (Piperno y Pearsall, 1998). En Mesoamérica fueron domesticadas algunas especies de frijol, calabaza y chile, así como el guaje, el nopal, el tomate, el maíz, el aguacate, el algodón, los zapotes negro y blanco y el amaranto (López Austin y López Luján, 2001, Khoury *et al.*, 2015).

## **2.2 Centros de origen**

A principios del siglo XX, el ruso Nikolai Vavilov retomó el concepto de centros de origen de los

cultivos de De Candolle, quien por primera vez lo sugirió en 1883. Vavilov identificó ocho centros de origen de domesticación de plantas a partir de algunas características tales como alta diversidad de los cultivos, la presencia de los parientes silvestres y la historia de uso de los cultivos (Vavilov, 1926; Harlan, 1971). Es difícil delimitar la extensión de los centros de origen, y las propuestas iniciales de Vavilov se han ampliado y reflexionado mucho, particularmente con respecto al concepto mismo y a los criterios utilizados para definirlos (Harlan, 1971; Harlan, 1992; Smith, 2006). Actualmente se han identificado más de 12 de centros de origen de domesticación independientes. Cada uno de éstos varía con respecto a la extensión geográfica, el número y la diversidad de las especies domesticadas y su aportación a la alimentación humana, la velocidad y forma en las que estas sociedades basaron su economía y alimentación en plantas domesticadas, entre otras (Doebley *et al.*, 2006). De estos 12 centros de origen, sabemos que seis fueron particularmente importantes: 1) Mesoamérica; 2) los Andes y las tierras bajas de Sudamérica; 3) el sudoeste asiático (Creciente Fértil); 4) África (Etiopía y el Sahel); 5) el sur de China y 6) el sureste asiático (Gepts, 2004; Clement *et al.*, 2010). En cada uno de estos centros, se domesticaron al menos una planta con aporte alto de carbohidratos (cereales, raíces o tubérculos) y una planta con alto contenido de proteínas (leguminosas) (Gepts, 2004). Muchos de los centros están en áreas tropicales entre las latitudes 35° N y 35° S, en regiones montañosas y con estacionalidad de lluvia marcadas. El contraste entre temporada de lluvias y de secas parece haber promovido la llegada de la agricultura, pues durante la temporada de secas los recursos alimentarios se reducen y por lo tanto era indispensable almacenar comida producida en la temporada de lluvias para sobrevivir durante los periodos secos (Gepts y Papa 2002).

Vavilov identificó que muchos de los centros de origen corresponden a áreas montañosas, pues en éstas se dan una variedad de condiciones climáticas y de suelos (Vavilov, 1926). La heterogeneidad ambiental de las montañas provoca el aislamiento de las comunidades, así como también una gran variedad de presiones de selección que favorecen la diversificación. Dentro de un mismo valle o sistema montañoso, por ejemplo, puede haber ambientes muy distintos ante los cuales los grupos humanos y las plantas estaban expuestos y en los cuales se tenían que adaptar (Brush, 2004).

Como ya dijimos, uno de estos centros de origen es Mesoamérica, también conocido como Centro América (Engels *et al.*, 2006). En este trabajo llamaremos a esta región Mesoamérica, como la llamó Jack Harlan (1971), retomando el término propuesto por Paul Kirchhoff en 1943. Mesoamérica es un superárea cultural que ocupa parte del actual territorio mexicano y los actuales países de Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica. Son tres los elementos de los cuales parte la definición de Mesoamérica: es un territorio en el cual 1) la alimentación basada en el cultivo del maíz; 2) hay una tradición compartida entre los agricultores y 3) sus habitantes tienen una historia

común, y por lo tanto hay intensas relaciones entre los pueblos (López Austin y López Luján, 2001). Mesoamérica se caracteriza por la gran diversidad de plantas y culturas que tiene. Los más de 50 grupos étnicos de esta súper área cultural manejan e interactúan en distintos niveles con más de 5,000 especies de plantas (Caballero, 1994; Casas *et al.*, 1997), aunque se considera que este número está subestimado y se podría esperar que hasta 12,000 tengan algún uso hoy en día (Casas *et al.*, 2017). Se calcula que en el actual territorio mexicano existen al menos 500 especies de plantas cultivadas y domesticadas, de las cuales aproximadamente 200 son especies nativas (Casas *et al.*, 2017). Durante mucho tiempo se pensó que el cultivo de las plantas en Mesoamérica se desarrolló por primera vez hacia el centro de este territorio, sin embargo, es probable que hubiera procesos independientes de cultivo de plantas más o menos simultáneos en distintos lugares (McClung de Tapia y Zurita Noguera, 2000; Aguilar-Melendez *et al.*, 2009).

Muchas de las especies domesticadas no han tenido solamente un evento de domesticación, y por lo tanto, no han seguido una única y misma trayectoria. Estas trayectorias han variado enormemente dependiendo de muchos factores, tales como las características biológicas propias de las plantas, los órganos de interés que han sido seleccionados por los seres humanos (frutos, tallos, raíces, hojas), los ambientes en donde se han manejado y cultivado y los contextos culturales donde se han desarrollado (Fuller, 2012). Se dice que un cultivo tiene un solo origen de domesticación cuando fue domesticado en un solo lugar a partir de su ancestro silvestre y a partir de ahí posteriormente fue dispersado a otras regiones y ecosistemas. Se dice, por otra parte, que las especies tienen múltiples orígenes de domesticación cuando ésta se da de manera independiente de un mismo pariente silvestre pero en diferentes lugares o momentos en la historia. Se utilizan distintos tipos de datos (principalmente arqueológicos, genéticos y lingüísticos) para determinar el número de orígenes de domesticación de una especie (Meyer *et al.*, 2012).

### **2.3 Domesticación**

De manera general, con el establecimiento gradual de la agricultura, se fueron creando parches de vegetación en donde predominaban las especies de las que los seres humanos obtenían la mayor parte de su alimentación y con las cuales aseguraban su supervivencia. Del total de plantas existentes en los distintos ecosistemas, sólo una proporción pequeña contribuyó al patrón de subsistencia de estos seres humanos, y el cuidado y la explotación de éstas implicó la reducción de la diversidad de plantas de los lugares donde se iban asentando estas poblaciones (Harris, 1989 y Piperno, 2006).

De acuerdo con Nikolai Vavilov (1994), el proceso de domesticación de las plantas es, y ha sido desde su inicio, un proceso evolutivo paulatino, constante y dinámico que actúa en las plantas

silvestres, cultivadas (que de aquí en adelante llamaremos semidomesticadas) y domesticadas. La domesticación es una relación mutualista que se lleva a cabo a lo largo de muchas generaciones, en donde un organismo influye sobre otro en cuanto a su reproducción y cuidado para así asegurar la provisión de recursos. El segundo organismo gana una ventaja sobre otros individuos de su misma especie que quedan fuera de esta relación, y por lo tanto, las probabilidades de supervivencia y reproducción (adecuación) de ambos organismos aumentan (Zeder, 2015). La domesticación no es un evento instantáneo en donde una planta silvestre es transformada en una planta domesticada de un momento a otro. Por el contrario, es un proceso acumulativo, marcado por cambios en los dos lados de la relación mutualista y en el cual ambas poblaciones se van volviendo más y más interdependientes una de la otra conforme pasa el tiempo (Zeder *et al.*, 2006).

A pesar de que la domesticación no es una relación exclusivamente llevada a cabo por los seres humanos (ver, por ejemplo, la relación entre algunos hongos y hormigas en los trabajos de Mueller *et al.*, 1998 y de Schultz y Brady, 2007), éstos cuentan con dos características que los distingue de la gran mayoría del resto de los seres vivos: la capacidad de transmitir conocimiento y comportamientos aprendidos a otros, y la facultad de tomar decisiones y darles una dirección, como por ejemplo, elegir unas variedades de la especie domesticada sobre otras para alcanzar un objetivo (Jardón, 2015; Zeder, 2015). Es decir, los seres humanos tienen la capacidad de inventar o adoptar comportamientos nuevos, o modificar unos viejos con una finalidad específica. A través del aprendizaje social, también son capaces de pasar esas innovaciones a otras generaciones de distintas maneras, una de las cuales es la cultura. Esta capacidad del ser humano hace que la domesticación sea una relación de mutualismo asimétrica, pues a pesar de que la adecuación de ambos organismos implicados aumenta a partir de la relación, hace que los seres humanos sean la parte dominante de la pareja (Zeder, 2013). En el caso de la domesticación de las plantas, algunos identifican que una planta se puede considerar como domesticada en el momento en el que ésta pierde su capacidad de sobrevivir sin el manejo y cuidado humanos como consecuencia de una fuerte alteración de su ciclo de vida (Winterhalder y Kennett, 2006).

En la definición que damos de domesticación, Zeder retoma a Rindos (1984), que fue el primero en explicar la domesticación como una relación de coevolución entre el ser humano y las plantas y animales, en donde los organismos involucrados responden, sobre todo, a fuerzas de selección. Zeder y Smith (2009), posteriormente agregan que no fueron solamente las fuerzas de selección las que determinaron el cambio de comportamiento humano para que se estableciera la agricultura. Para ellos, los seres humanos tienen un papel activo, dotado de intencionalidad, en la transformación de los ecosistemas orientada a la producción de recursos alimentarios. Con las aportaciones de Zeder y Smith,

el ser humano no es solamente transformador y transformado por la naturaleza, sino que, además, tiene la conciencia de que esto sucede y la capacidad de dirigir esa transformación, lo cual hace que la domesticación que practican los humanos sea muy diferente a la que es llevada a cabo por otras especies.

Esto no quiere decir que todos los rasgos de las plantas domesticadas hayan sido seleccionados de manera consciente por el ser humano a lo largo del tiempo. Durante la domesticación, las plantas y los animales están sujetos a selección, tanto consciente como inconsciente (Gepts y Papa, 2002). En la selección consciente (o selección metódica, como la llamó Darwin) se hace una elección intencional y dirigida de algunos rasgos fenotípicos de las plantas cultivadas para sus usos y propagación. Por otro lado, Darwin llamó selección inconsciente a la selección no intencional o no dirigida que llevan a cabo los agricultores o criadores y que se desarrolla bajo las prácticas de manejo (Darwin, 2010: 214).

En las primeras etapas de la domesticación, la diversidad genética de las plantas se reduce a través de al menos dos fases o cuellos de botella (Gepts y Papa, 2002). Las poblaciones silvestres contienen el acervo genético inicial de las plantas cultivadas. De la totalidad de plantas de una especie, solamente unas pocas de ellas son sembradas y cultivadas, y por lo tanto también sólo una parte pequeña de todo su acervo genético está representado. Éste es el primer cuello de botella. En los centros de origen, en donde las plantas silvestres siguen presentes, puede haber flujo génico entre las poblaciones de plantas silvestres y domesticadas, y por lo tanto hay una contribución a la diversidad genética de las poblaciones domesticadas. Sin embargo, hay un segundo cuello de botella cuando, posteriormente, una parte de las poblaciones domesticadas es dispersada de los centros de origen a distintas partes del mundo, pues pasan dos cosas: a) hay otra reducción del acervo genético ya que solamente una parte de éste es trasladado al nuevo lugar, y b) estas poblaciones introducidas ya no están en contacto con las poblaciones de plantas silvestres, y por lo tanto no hay una contribución al acervo genético por parte de éstas. Esto puede tener un efecto en escalera, en donde conforme se va dispersando la especie a nuevas regiones del mundo se va reduciendo más y más la diversidad genética (Gepts y Papa, 2002). Además, en muchos casos, al guardar semillas para sembrarlas posteriormente, éstas son seleccionadas sólo de las mejores plantas y son éstas las que conforman la siguiente generación (Doebly *et al.*, 2013).

En la domesticación de las plantas, al mismo tiempo que están actuando estas fuerzas que necesariamente implican una reducción drástica de su diversidad genética, otras fuerzas de diversificación están actuando simultáneamente, tales como las mutaciones, el entrecruzamiento y el flujo génico. En el proceso continuo y dinámico de domesticación, el ser humano ha movido plantas de un ecosistema a otro, las ha manejado y cuidado durante miles de años. Así, las plantas han sido

forzadas a sobrevivir, crecer y reproducirse en ambientes heterogéneos, en donde la altitud, la temperatura, la precipitación, los tipos de suelo, la presencia de patógenos, la organización social y las características culturales, entre muchos otros factores, han variado inmensamente. Estas adaptaciones han dado como resultado una rica diversidad de plantas domesticadas y cultivadas (Brush, 2004; Gepts, 2004; Pickersgill, 2007; Harris, 2012; Zeder, 2015).

Sin embargo, en las últimas décadas mucha de esta diversidad de plantas domesticadas se ha perdido, a tal grado que Gepts y Papa (2002) identifican un tercer cuello de botella de pérdida de diversidad. Son muchas las razones por las que esto ha sucedido, pero una de las más importantes tiene que ver con las formas que ha adoptado la agricultura desde inicios del siglo XX, en donde solamente se siembran aquellas variedades que son rentables bajo un manejo industrial y cuya venta está garantizada en el mercado, dejando de lado un sin fin de variedades que aparentemente no cumplen con estas características (Gepts y Papa, 2002; Brush, 2004; Harris, 2012). El resultado de esto es que en la actualidad, el 95 % de las calorías que consumimos vienen de 30 especies de plantas. Esta pérdida no solamente ha sido con respecto a las especies y variedades de plantas que son cultivadas, sino que también hemos perdido diversidad genética dentro de estas principales plantas cultivadas (Brush, 1992a; Martínez Castillo *et al.*, 2008; Perfecto *et al.*, 2009; Martínez Castillo *et al.*, 2012; Holt-Giménez, 2017).

### *Síndrome de domesticación*

Conforme los seres humanos fueron sembrando, cosechando y almacenando semillas de manera más intensiva y durante periodos de tiempo más largos, los ecosistemas se fueron transformando y se crearon ambientes selectivos ante los cuales las poblaciones de plantas manejadas fueron desarrollando cambios genéticos y fenotípicos que les permitieron adaptarse a aquellas transformaciones (Allaby, 2013; Zeder, 2013). La mayoría de estas plantas comparten algunos rasgos y características que las distinguen de sus parientes silvestres. En su conjunto, estas características son conocidas como el *síndrome de domesticación* y caracterizan a la domesticación como una forma de evolución de las plantas bajo cultivo (Fuller, 2007; Harris y Fuller, 2013). Saber cómo surgieron estos rasgos y conocer la pluralidad de procesos implicados en ello es una pieza clave para entender la domesticación de las plantas (Gepts y Papa, 2002; Doebley *et al.*, 2006; Allaby, 2013), así como para pensar estrategias de conservación de la agrobiodiversidad *in situ* que permitan la reproducción de los procesos que han dado lugar a la agrobiodiversidad.

Jack Harlan y colaboradores (Harlan *et al.*, 1973) fueron los primeros en hablar de los rasgos que comparten algunos cereales domesticados y que los diferencian de sus parientes silvestres.

Después, Hammer (Hammer, 1984) identificó a este conjunto de rasgos como *síndrome de domesticación* y se convirtió en un concepto clave para los estudios sobre domesticación. Es así que este concepto fue adoptado en muchas investigaciones posteriores, pero habiendo sido construido con base en las características de algunas gramíneas y generalizado para otros tipos de plantas (Meyer *et al.*, 2012). Conforme se ha ido sabiendo más sobre los procesos de domesticación de otras plantas, ha quedado claro que es necesario prestar atención a las particularidades de cada una de ellas para poder comprender mejor su evolución (Gepts y Papa, 2002; Fuller, 2007; Fuller, 2012; Meyer *et al.*, 2012; Harris y Fuller, 2013). De igual manera, algunos de los rasgos que fueron identificados en un inicio para las gramíneas pueden estar presentes en otras plantas domesticadas pero de manera diferente (Fuller, 2012; Harris y Fuller, 2013).

Estos rasgos no aparecieron de forma abrupta en las plantas, sino que cada uno de ellos para cada tipo de planta se ha ido fijando a distintas velocidades y ha sido resultado de distintas presiones de selección, así como de restricciones del propio desarrollo de las plantas (Smith, 1997; D'Andrea *et al.*, 2006; Kislev *et al.*, 2006; Fuller, 2007; Fuller *et al.*, 2014). Es decir, no todas las especies siguieron la misma trayectoria de domesticación. Conforme ha habido nuevos avances de la arqueología y al ver las particularidades de las distintas plantas, ha quedado claro que la variación en el tiempo que tomó que se fijaran los distintos rasgos en las diferentes plantas es muy grande. Algunos cambios en algunas especies pueden haber sido muy rápidos y pueden haberse dado en tan solo una o pocas centenas de años (Fuller, 2012, Fuller *et al.*, 2014). Algunos otros pudieron haber sido moderadamente rápidos, como el crecimiento de los granos de algunas leguminosas que tomó aproximadamente 1000 años, y finalmente algunos pudieron haber sido muy lentos y tomar más de 2000 años, como algunos de los rasgos del trigo, el arroz, las lentejas y los chícharos (Zach y Lee, 2003; Fuller y Harvey, 2006; Tanno y Willcox, 2006; Fuller, 2007; Purugganan y Fuller, 2010; Fuller, 2012). Es así que la domesticación es un proceso continuo, vigente y también muy diverso.

Las plantas que todavía no se pueden considerar como completamente domesticadas pueden presentar sólo algunos de estos rasgos o éstos pueden sólo estar parcialmente expresados (Gepts y Papa, 2002). Meyer *et al.* (2012) identifican distintos niveles de domesticación. Llamamos domesticadas a aquellas plantas que no suelen crecer fuera del cultivo y manejo humanos y que morfológica y genéticamente se han diferenciado de sus parientes silvestres debido a la constante selección artificial a la que han sido sometidas. Para ellos, las plantas semidomesticadas son aquellas que son cultivadas y que por lo tanto también están sujetas a presiones de selección artificial o consciente, pero que no necesariamente se diferencian morfológica o genéticamente de sus parientes silvestres. Finalmente, consideran que las plantas no domesticadas son aquellas que se cosechan pero no son cultivadas y por

lo tanto suelen estar sujetas a una menor presión de selección artificial. Estas plantas no suelen presentar cambios genéticos o morfológicos que las distinguan (Meyer *et al.*, 2012). A pesar de que estas categorías pueden resultar muy útiles para entender el proceso de domesticación en relación a las presiones de selección y las diferentes formas de manejo humano, es importante mencionar que son categorías generales, y que existen casos en donde, por ejemplo, las formas silvestres que son cosechadas o manejadas *in situ* presentan rasgos claros de domesticación (Casas *et al.*, 1999).

El síndrome de domesticación varía en las diferentes plantas cultivadas dependiendo sobre todo de cómo se reproducen, el órgano de interés de la planta que es blanco de la selección humana (semilla, fruto, tubérculo, hoja, etc.) (Harris y Fuller, 2013; Gepts, 2014) y la historia de vida de las plantas (perenes vs anuales) (Gepts, 2014).

En general, se identifican seis principales rasgos típicos en el síndrome de domesticación en las plantas:

- 1) La pérdida de dispersión natural de las semillas. Éste suele ser visto como el rasgo más importante de la domesticación, pues esta modificación hace que la variedad o especie ahora dependa del ser humano para poder reproducirse (Gepts y Papa, 2002; Gepts, 2004; Fuller, 2007; Harris y Fuller, 2013).
- 2) La reducción de tamaño o desaparición de los órganos que favorecen la dispersión de semillas. Estos pueden incluir pelos y alas, por ejemplo, así como la forma general de las espigas. Este rasgo parece cambiar gradualmente (Gepts y Papa, 2002; Fuller, 2007; Harris y Fuller, 2013).
- 3) La sincronía de la floración y la maduración de los frutos (Gepts y Papa, 2002; Doebley *et al.*, 2006, Fuller, 2007; Harris y Fuller, 2013). Estos rasgos se dan por constantemente plantar y cosechar en momentos específicos.
- 4) El crecimiento compacto y robusto de las plantas y otros cambios en su forma de crecimiento, por ejemplo, plantas trepadoras que se vuelven erectas, la predominancia del crecimiento apical en contra del lateral y la poca presencia de brotes no productivos (Gepts y Papa, 2002; Doebley *et al.*, 2006; Fuller, 2007; Harris y Fuller, 2013; Larson *et al.*, 2014).
- 5) La pérdida de la dormancia de las semillas. Este carácter parece estar relacionado con el hecho de que las semillas se entierran en el suelo al sembrarlas, a diferencia de las plantas silvestres cuyas semillas se quedan en la superficie del suelo. Además, las semillas de las plantas silvestres muchas veces germinan sólo después de que pasaron algunas condiciones ambientales, y en el caso de las plantas cultivadas o domesticadas esto está controlado por el manejo humano. Estas características de las semillas se han ido seleccionando ya que las semillas que se siembran pero no germinan durante el periodo de siembra y cosecha no pasan a la siguiente generación. Las semillas que sí pasan a la

siguiente generación son las que tienen ciertas características que les permiten germinar fácil y rápidamente como cubiertas más delgadas o menos ornamentos que dificultan su germinación (Gepts y Papa, 2002; Gepts, 2004; Doebley *et al.*, 2006; Fuller, 2007; Harris y Fuller, 2013).

6) El aumento del tamaño de la semilla o el fruto. Estos caracteres están relacionados con el rasgo anterior, pues se ha visto que las semillas más grandes germinan más rápido y por lo tanto es un rasgo que se selecciona en la labranza y el cultivo de las plantas en general (Doebley *et al.*, 2006; Fuller, 2007).

Además, se han identificado otros rasgos importantes. Uno de ellos es la reducción de las defensas físicas y químicas, como por ejemplo, la reducción de la amargura o el picor de las estructuras comestibles (Doebley, *et al.*, 2006; Larson *et al.*, 2014; Pickersgill, 2016). Otro es el cambio en las formas de reproducción, pues se ha visto que muchas plantas domesticadas aumentan su capacidad de autopolinización a diferencia de sus parientes silvestres (Gepts y Papa, 2002). Algunos otros están relacionados con el desarrollo de las plantas, como la presencia de inflorescencias más grandes en comparación con sus parientes silvestres (Larson *et al.*, 2014; Pickersgill, 2016) y un menor número de frutos por planta (Doebley *et al.*, 2006). Finalmente, también se ha visto el aumento del tamaño de los órganos de interés (las semillas, los frutos y/o las hojas) y la variación de colores y formas de los frutos (Gepts y Papa, 2002; Pickersgill, 2014). Estas últimas características pueden estar relacionadas con las condiciones ambientales y los procesos del desarrollo de las plantas, pero también están íntimamente relacionadas con los distintos usos que se les ha dado en la cocina y las preferencias de los consumidores (Gepts y Papa, 2002).

Así, en el proceso de domesticación actúan distintas fuerzas evolutivas, y estos cambios han sido resultado de distintos tipos de selección. Algunos de ellos, como la germinación simultánea de las semillas (pérdida de dormancia), la retención de semillas (la pérdida de mecanismos de dispersión), el aumento del tamaño de las semillas y la maduración simultánea de los frutos, parecen ser resultado de la selección no intencional o inconsciente. Esta selección está relacionada con la repetición constante de las actividades humanas asociadas con el cultivo de las plantas, pero no con intentos deliberados de cambiar directamente la morfología o fisiología de los organismos (Zeder *et al.*, 2006). Algunos otros rasgos del síndrome sí han sido seleccionados conscientemente como el tamaño de los órganos de interés, la toxicidad o los sabores amargos (Fuller, 2012).

## 2.4 Plasticidad fenotípica

Los ambientes naturales varían constantemente, tanto espacial como temporalmente. Las plantas son organismos muy particulares, pues han desarrollado evolutivamente la habilidad de sobrevivir ante condiciones ambientales cambiantes sin tener la capacidad de moverse para protegerse o responder a cambios. Algunos ejemplos de esto son la tolerancia a temperaturas fluctuantes a lo largo de un día o en las diferentes estaciones del año, la capacidad de combatir plagas mediante, por ejemplo, cambios morfológicos en sus hojas, o de defenderse de depredadores al producir metabolitos secundarios (Raven *et al.*, 2005). En la domesticación, las plantas se han adaptado a distintos ecosistemas y a ambientes modificados por el ser humano durante miles de años. En este proceso, las plantas han expresado diversas de respuestas morfológicas y fisiológicas (Zeder, 2015).

Como vimos anteriormente, lo que define a una planta domesticada con respecto a las poblaciones silvestre es una serie de rasgos particulares de las plantas domesticadas que conocemos como síndrome de domesticación (Harris y Fuller, 2013). Se suele pensar que todos estos nuevos rasgos surgen en el momento en el que se da un cambio genético, y por lo tanto, muchas de las investigaciones han estado dirigidas a conocer qué gen o grupos de genes están determinando cada uno de los rasgos. Sin embargo, también se ha visto que en muchos casos algunos de los cambios fenotípicos de los organismos no necesariamente están relacionados con respuestas genéticas (Zeder, 2015). A la capacidad de un mismo genotipo de producir diferentes fenotipos (ya sea modificando su comportamiento, morfología o fisiología) en su interacción con distintos ambientes se le conoce como plasticidad fenotípica (Sultan, 1995; Pigilucci *et al.*, 2006; Levis y Pfennig, 2016).

La plasticidad juega un papel crucial en la Evolución, pues permite la expresión de variación fenotípica que suele estar escondida. Esta variación, llamada también variación críptica u oculta, es parte del acervo genético y del desarrollo de la planta pero, al no expresarse, no está sujeta a selección (Sulan 1995). Ante un cambio ambiental, esta variación se puede reorganizar y puede haber cambios en la expresión de genes (ya existentes pero ocultos) y dar lugar a cambios fenotípicos sin que haya mutaciones genéticas de por medio (Gremillion y Piperno, 2009).

A grandes rasgos, en la *evolución guiada por plasticidad* (*plasticity-first evolution* en inglés, Pfennig *et al.*, 2010) algunas variantes fenotípicas surgen a partir de la plasticidad en una población que está sujeta a unas condiciones ambientales determinadas. Si este rasgo fenotípico nuevo favorece la adaptación a ese ambiente, los individuos que lo presenten sobrevivirán y se reproducirán. Si, además, esto se repite durante varias generaciones, la probabilidad de que el rasgo se fije aumenta. Esto, a la larga, permitirá que los fenotipos que se generaron en un ambiente dado sean asimilados

genéticamente, y que se mantengan a pesar de que las condiciones climáticas cambien posteriormente (Waddington, 1942; Schmalhausen, 1949; West-Eberhard, 2003).

Es importante aclarar que no toda la plasticidad fenotípica es adaptativa, en el sentido que aumente la adecuación (supervivencia y reproducción) de un organismo en el ambiente. Puede ser que un mismo genotipo crezca bajo condiciones ambientales desfavorables, por ejemplo, un suelo muy delgado o con pocos nutrientes o bajo temperaturas muy extremas, lo cual provoque la expresión de un fenotipo dado que no sea ventajoso para su supervivencia. Aquellos rasgos que sí sean beneficiosos son los que tendrán más probabilidad de reproducirse, pero eso no quiere decir que todos los rasgos que surgen a partir de la plasticidad fenotípica lo sean (Sultan, 1995).

Además, los rasgos fenotípicos de un organismo pueden responder de manera distinta a un cambio ambiental. Ya que la selección opera en un conjunto de rasgos, no solamente en uno, la plasticidad de un rasgo puede influir en la selección de rasgos que están ligados o correlacionados, de tal manera que un cambio en la morfología puede ir acompañado de cambios fisiológicos. Es así que la expresión de un fenotipo puede influir en la expresión de otros rasgos fenotípicos, y así quedar también expuestos a nuevas presiones de selección (Sultan, 1995; Pfennig *et al.*, 2010).

A partir de la plasticidad fenotípica, los organismos se pueden adaptar a través del desarrollo y de la fisiología, y no solamente a partir de cambios en la frecuencias genéticas (Sultan, 1995), por lo que entender la plasticidad fenotípica de las plantas domesticadas puede explicar una parte importante del proceso de domesticación (Zeder, 2015). Los estudios genéticos sobre domesticación de las plantas son clave para entender una parte importantísima del proceso. Sin embargo, la domesticación es un proceso muy complejo y para poder entenderlo en su cabalidad es necesario abordarlo desde una perspectiva integral, la cual incorpore, entre otras cosas, la plasticidad fenotípica (Zeder, 2015; Benítez, 2018).

## ***2.5 Selección, manejo y consumo en el proceso de domesticación***

La agricultura no es sólo un sistema de producción, un sistema económico y la principal manera en la que los seres humanos aseguran su alimentación desde hace miles de años, sino que también es una forma de uso de suelo, es decir, un sistema de manejo humano de la cobertura vegetal de la Tierra (Turner, 1993). El manejo de los recursos naturales en general influyen constantemente en la evolución de los organismos, sobre todo pensando en la compleja relación que existe entre los genotipos y la plasticidad fenotípica de éstos (Gremillion y Piperno, 2009). Conocer las formas particulares en las que se ha manejado las plantas es muy importante para comprender los procesos de domesticación de las

diferentes especies.

El manejo agrícola no solamente implica las actividades humanas relacionadas con la manipulación del crecimiento y ciclo de vida de las plantas, sino que también se refiere a las maneras en la que se transforma el ambiente para hacerlo (Zeder, 2013). En el mundo han existido distintas formas de manejo las cuales han variado mucho tanto espacial como temporalmente. Se tiene registro de que en el actual territorio mexicano existe un amplio abanico de formas de manejo e interacción con las más de 5,000 plantas que son utilizadas (Caballero, 1994; Ramos, 2020).

Existen distintos grados de interacción y de intensidad de manejo de las plantas. Casas *et al.* (1997, 2007) distinguen cuatro formas incipientes de manejo. La primera es la recolección, la cual implica cosechar aquello que es provechoso de las poblaciones silvestres y arvenses. En esta categoría el impacto sobre las poblaciones es bajo, pues no las manejan como tal más que al seleccionar algunos fenotipos sobre otros o rotar las áreas donde se recolecta, aunque es importante aclarar que la magnitud del impacto depende también de la intensidad de la recolección. La segunda forma es la tolerancia. Esta práctica consiste en mantener las plantas útiles dentro de los ambientes antropogénicos, como por ejemplo, algunos quelites en las parcelas. La siguiente forma incipiente de manejo es el fomento o la inducción de algunas poblaciones. En esta forma se sigue una serie de actividades para aumentar la densidad de las especies consideradas útiles. Esto se puede hacer a partir de quemas o talas, eliminando competidores para promover el crecimiento de algunas especies, o dispersando de manera consciente las semillas de algunas arvenses dentro de los campos de cultivo, por ejemplo. Finalmente la última categoría es la de protección, la cual implica un mayor número de cuidados como la eliminación directa de competidores o depredadores, la aplicación de fertilizantes, podas de las plantas para dirigir su crecimiento, protección contra temperaturas muy altas o bajas, entre muchas otras (Casas *et al.*, 2007). Estas formas de manejo ocurren en el sitio en donde originalmente se encuentran los organismos y por lo tanto se le llama manejo *in situ*. Es importante aclarar que estas formas incipientes de manejo no son etapas que necesariamente siguen una secuencia dirigida hacia la domesticación. Además, una misma especie puede ser manejada de distintas formas de manera simultánea (Casas *et al.*, 2017).

Por otro lado, existen formas de manejo que se dan fuera de los sitios donde originalmente crecen los organismos, en lugares antropogénicos como los traspatios, los huertos o los campos de cultivo. A este tipo de manejo se le llama manejo *ex situ*. La intensidad de manejo de estos sitios depende de muchos factores como las características biológicas y ecológicas de las especies cultivadas, así como aspectos culturales, sociales, económicos y tecnológicos que definen las interacciones entre el ser humano y las plantas (Casas *et al.*, 2017). Se le llama propiamente *cultivo* de las plantas a la serie de actividades en las que los seres humanos interfieren directamente en el ciclo de vida de las plantas,

ya sean silvestres o domesticadas, con el propósito de aumentar su productividad y rendimiento. El cultivo de las plantas suele implicar la manipulación del suelo, la alteración de la composición de las comunidades de plantas y, en general, una mayor transformación de los ecosistemas que en las formas de manejo incipientes antes mencionadas. Algunas actividades relacionadas con el cultivo de las plantas son la labranza del suelo con el uso de distintas herramientas, la fertilización (agregar nutrientes al suelo ya sea con abono o con plantas fijadoras de nitrógeno), la rotación de cultivos, la calendarización de las temporadas de siembra y de cosecha, el control del agua a partir de sistemas de distinto nivel de complejidad de riego o de drenaje, entre otros (Clement, 1999; Harris y Fuller, 2013).

Todos los sistemas de manejo, tanto los *in situ* como los *ex situ* contienen biodiversidad, no sólo de plantas sino que también de un sin fin de organismos. Sin embargo, la cantidad y los tipos de diversidad biológica y cultural que albergan los distintos sistemas de manejo varía mucho entre sitios y entre sistemas (Brush, 2004). Existen distintos niveles de intensificación de manejo, dependiendo de tres principales características: 1) la cantidad de diversidad que contienen (policultivo vs monocultivo, por ejemplo); 2) las actividades que llevan a cabo para mantener o eliminar la diversidad (uso de maquinaria, plaguicidas, fertilizantes, etc.) y la extensión que ocupan (Perfecto *et al.*, 2009).

Según Brush (2004), en el manejo de un cultivo o grupo de cultivos, los campesinos constantemente están llevando a cabo un proceso de selección a distintos niveles y escalas, y que tiene que ver principalmente con la adaptabilidad de las plantas a las condiciones ambientales dadas, con la mitigación de los riesgos implicados en las actividades agrícolas y con la búsqueda de una serie de cualidades de uso y consumo, las cuales se definen individual y colectivamente (Bellon, 1996; Brush, 2004). Algunos factores ambientales y agronómicos son, por ejemplo, la altitud, el suelo y la disponibilidad de agua, pero también lo son algunas formas de reaccionar ante las amenazas de la producción, como por ejemplo, las heladas, la sequía, las plagas o las enfermedades. Las maneras en las que se resuelve cada uno de estos factores, en caso de ser problemáticos, también es parte del manejo. Un ejemplo de esto puede ser la forma en la que se fertiliza un suelo degradado. La selección de qué cultivos se siembran, la forma en la que se hace y las particularidades que se buscan en los cultivos está influida por el acceso que se tiene a algunos recursos como el riego o la mano de obra, así como por las características biológicas de las plantas, como por ejemplo, la dificultad de conservar las semillas y el tiempo que éstas se mantienen viables (Brush, 2004).

El riesgo relacionado con sembrar un cultivo o grupo de cultivos específicos se refiere a la inestabilidad del rendimiento de éstos y, por lo tanto, la capacidad de los campesinos de asumir esa inestabilidad. El riesgo se puede manejar de diferentes maneras. Una de ellas puede ser sembrando más de una variedad cuyas semillas germinen o sus frutos maduren en distintos momentos a lo largo del

ciclo agrícola (Brush, 2004).

Finalmente, la selección y el manejo están determinados por los usos que se le da a las diferentes especies y variedades cultivadas y por el acceso que se tiene a los mercados y a los apoyos institucionales. Las preferencias culinarias, medicinales, religiosas o rituales buscadas tanto a nivel individual o familiar como a nivel colectivo son presiones de selección muy importantes (Brush, 1992b; Ankli *et al.*, 1999; Jarvis *et al.*, 2000). El acceso a los mercados también puede determinar mucho los rasgos que se busquen, pues muchas veces los intereses personales quedan relegados por la necesidad de vender las cosechas con ciertas características, determinadas por los consumidores a distintas escalas (local, regional, nacional e incluso internacional) (Brush, 2004). Esto último varía mucho en función del papel que tiene cada cultivo en la economía campesina, pues los cultivos de subsistencia familiar suelen ser vendidos sólo cuando hay excedentes, a diferencia de los cultivos que desde un principio son incorporados como cultivos para el valor de cambio (Bellon, 2011).

## **2.6 Variedades locales**

El principal acervo genético de un cultivo está compuesto de diferentes poblaciones de plantas, en su mayoría variedades locales y sus parientes silvestres, con los cuales puede haber intercambio genético. Se ha propuesto un gran número de definiciones de *variedades locales* (conocidas en inglés como *landraces*) (Zeven, 1998). Muchas de estas definiciones hacen hincapié en tres cuestiones: 1) su adaptabilidad ante las condiciones ambientales locales, tales como el suelo; 2) sus características morfológicas o fisiológicas y 3) su alta variación genética (por ejemplo, Harlan, 1975). Sin embargo, en la mayoría de estas definiciones, el papel de los campesinos en su constante reproducción es una cuestión secundaria. Fue hasta finales del siglo XX cuando Teshome y colaboradores (1997) y Stephen Brush (1996), entre otros, incorporaron la importancia del trabajo campesino en el concepto de variedad local. Así, retomando a Brush (2004), las variedades locales son las miles de poblaciones de variedades de plantas domesticadas adaptadas localmente y que son nombradas, seleccionadas y mantenidas por campesinos en distintas regiones del mundo, y las cuales se caracterizan por tener una gran variación genética y fenotípica. Son muchas las características que hacen que los campesinos en México distinguan entre variedades locales, entre ellas la forma de la semilla, el color y tamaño del fruto, entre muchas otras (Brush, 1996).

Ha habido muchas clasificaciones de las variedades locales, ya sea por su tipo de variación genética y fenotípica (entre y dentro de poblaciones), por su origen, por el tiempo que llevan siendo utilizadas, entre muchas otras (Zeven, 1998). Hay quienes llaman a las variedades locales variedades

tradicionales o ancestrales (Marchenay, 1987; Oldfield y Alcorn, 1987). El llamarlas así puede deberse a diferenciarlas claramente de las variedades conocidas como variedades modernas (*variety* o *cultivar* en inglés) (Brush, 2004), que son aquellas variedades que son seleccionadas de manera intensiva y mejoradas específicamente para dar rendimientos muy altos (por ejemplo, líneas puras o variedades híbridas), que están muy bien definidas en términos comerciales y tienen un bajo nivel de heterogeneidad genética y fenotípica (Brown, 1978; Zeven, 1998; Bellon *et al.*, 2003). Sin embargo, las variedades locales están constantemente sujetas a selección (tanto natural como artificial) y por lo tanto su transformación es dinámica y continua, y el llamarlas tradicionales o ancestrales puede darnos la idea de que son variedades estáticas (Brush, 2004). Los campesinos suelen llamar a estas poblaciones variedades criollas (Perales *et al.*, 2005).

Camacho Villa *et al.* (2005) hacen una revisión de aquellas características con las que se suele asociar a las variedades locales e identifican principalmente seis :

- 1) Origen histórico y geográfico. Las variedades locales suelen ser cultivadas durante un determinado periodo de tiempo, relativamente largo. A pesar de que no hay un consenso sobre la cantidad de tiempo necesario, suele no ser menor a 30 años, o una generación de campesinos. Además, éstas suelen estar asociadas a una localidad geográfica, a diferencia de las variedades modernas que pueden seleccionar para posteriormente ser sembradas en varios lugares. Zeven (1998) hace una clasificación entre variedades autóctonas, que son aquellas que han sido sembradas por más de 100 años en una región específica, y alóctonas que son aquellas que son autóctonas en una región y después son introducidas a otra en donde después se adaptan localmente.
- 2) Identidad reconocible. Las variedades locales, a pesar de ser muy variables genéticamente, deben ser reconocidas como una variedad distinguible al compartir algunos rasgos morfológicos (Harlan, 1975; FAO, 1998). También, las variedades locales deben tener nombres específicos, aunque puede pasar que una misma variedad local se llame de distintas maneras (Fowler y Mooney, 1990, Jarvis *et al.*, 2000) o que distintas variedades locales tengan un mismo nombre (FAO, 1998; Jarvis *et al.*, 2000).
- 3) Ausencia de mejoramiento genético *formal*. Se suele reconocer que las variedades locales están sujetas a distintos tipos de selección a lo largo del tiempo. Sin embargo, lo más importante es *quién* lleva a cabo esta selección. En el caso de las variedades locales, es la misma gente que las cultiva la que está constantemente haciendo el proceso de selección como parte de la reproducción de su vida, a diferencia de las variedades modernas en donde suelen ser técnicos los que la hacen (Brush, 2004).

- 4) Alta diversidad genética. Las variedades locales suelen tener una alta variación genética y alélica (Harlan, 1975; FAO, 1998; Brush, 2004) y, agregaríamos nosotros, alta variación fenotípica (Harlan, 1975).
- 5) Adaptación local. Ya que las variedades locales suelen tener un origen geográfico e histórico específico, están adaptadas a las condiciones ambientales, agroecosistémicas y de prácticas de manejo locales (Zeven, 1998; Brush, 2004).
- 6) Sistemas tradicionales de manejo. Se suele asociar a las variedades locales con sistemas de cultivo, conservación de semillas, usos y prácticas más tradicionales, a pesar de que esta definición puede ser problemática, sobre todo con respecto a sus límites, los cuales son difusos. Además, hay que tener presente que los sistemas tradicionales son a su vez dinámicos en sí mismos (Brush, 1995). Esto tal vez sea más claro si lo contrastamos con las variedades modernas, las cuales están asociadas a formas de cultivo más intensivas (mayores extensiones, mayor uso de insumos externos, menos diversidad planeada y menos diversidad asociada, etc. Ver Pertecto *et al.*, 2009).

Estas seis características no son absolutas para todas las especies de plantas ni para todas las regiones, y por lo tanto no se puede aplicar a tabla rasa. Sin embargo sí pueden ser una guía para identificar o clasificar variedades locales, siempre y cuando se tengan en consideración las particularidades biológicas de las plantas, su proceso de domesticación, el manejo, el propósito para el cual se siembren y el contexto en el que se produce cada variedad local. Puede haber variedades locales que pueden no presentar alguna de estas seis características, pero la combinación de algunas de ellas puede ser una guía importante (Camacho Villa *et al.*, 2005).

Impulsada por la tendencia de la revolución verde y con ayuda de los avances biotecnológicos, a principios de la década de 1960, el mejoramiento de plantas se enfocó en producir variedades modernas de alto rendimiento de los principales cultivos del mundo como el trigo, el maíz y el arroz. En muchos casos, el éxito de algunas de estas variedades modernas significó la sustitución de variedades locales y por lo tanto hubo una pérdida brutal de la diversidad de estos cultivos y muchos otros (Engels *et al.*, 2006). Una de las soluciones a esta creciente pérdida de variedades locales y diversidad genética fue la creación de bancos de germoplasma para así resguardar parte de la diversidad genética existente hasta ahora (Dávila-Aranda *et al.*, 2016; ver Svalbard International Seed Vault y Millennium Seed Bank Project). Si bien esto se puede considerar necesario y resuelve, hasta cierto punto, el resguardo de la agrobiodiversidad, es insuficiente y lleva consigo varios problemas que consideramos graves. De particular importancia y en relación con el tema central de este trabajo, es la manera en la que se entiende la diversidad fenotípica y genética de las plantas cultivadas y su

conservación. Como hemos visto, la diversificación de las plantas cultivadas es un proceso continuo y dinámico, no algo estático y puntual que sucedió una sola vez hace miles de años. Las plantas domesticadas se han ido adaptando a distintas condiciones ambientales y sociales y son productos biológicos y culturales (Brush, 2004; Engels *et al.*, 2006; Casas *et al.*, 2007; Jardón Barbolla, 2015; Casas *et al.*, 2017). Además, desde el punto de vista de la biología del desarrollo, los organismos no nada más contienen información genética sino que constantemente se van recreando generación tras generación, y esto lo hacen a lo largo de su desarrollo y en interacción con las condiciones ambientales, sociales y culturales en las que están inmersos y que, a su vez, son dinámicas. Su cultivo y uso depende del conocimiento local, los usos y la constante adaptación a las condiciones ambientales. Es así que la conservación de la diversidad genética y fenotípica de las variedades locales de distintas especies está lejos de ser resguardada solamente en los bancos de germoplasma (Bellon, 1996; Tin *et al.*, 2001; Benítez, 2017).

Además, las variedades locales juegan un papel fundamental en la identidad de los pueblos y la diversidad cultural, no sólo culinaria sino también religiosa, medicinal, etc. (Brush, 2004; Casas *et al.*, 2007; Jardón Barbolla, 2015). La defensa de las variedades locales y la agrobiodiversidad también va de la mano con la lucha por la diversidad cultural y la soberanía alimentaria, es decir, por el derecho de los pueblos a controlar y decidir sobre sus sistemas alimentarios, incluyendo los mercados, los recursos naturales y los modos de producción, y propiamente su vida y su reproducción (La Vía Campesina, 2003; Chappell, *et al.*, 2013).

Finalmente, la capacidad que han tenido las variedades locales de adaptarse a ambientes particulares a lo largo de miles de años, así como por la diversidad genética que albergan hace que la conservación de estas poblaciones sea de vital importancia con respecto al amenazante cambio climático, pues se ha visto que estas dos características son particularmente importantes para la estabilidad de las poblaciones y su posible respuesta ante crisis climáticas, enfermedades y plagas (Bellon, 1996; Brush, 2004).

## **2.7 *Capsicum annuum***

Existen al menos 36 especies del género *Capsicum*, de las cuales cinco han sido domesticadas: *C. annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L. y *C. pubescens* Ruiz & Pav (Pickersgill, 1969; Esbarough, 2012, Carrizo García *et al.*, 2016). Se piensa que el género se originó en lo que hoy en día es Bolivia, y antes de la llegada de los seres humanos a los trópicos americanos, las semillas de los ancestros silvestres de las cinco especies domesticadas fueron dispersadas por aves y

otros animales a distintas partes de América (Eshbaugh, 1970). Estas cinco especies se domesticaron en diferentes centros de origen, *C. annuum* en Mesoamérica, *C. chinense* en el norte de la Amazonía, *C. frutescens* en el Caribe, *C. baccatum* en las tierras bajas de Bolivia y *C. pubescens* en los Andes (Eshbaugh, 1970; Perry, 2012). El género *Capsicum* es miembro de la familia Solanaceae, de la cual también forman parte otros cultivos importantes tales como la papa, el jitomate y el tabaco (Knaap, 2007).

Hoy en día, las cinco especies domesticadas de *Capsicum* forman parte de las costumbres culinarias de muchas culturas, pero sin duda la especie que mayor importancia y presencia tiene en el mundo es *Capsicum annuum* (Andrews, 1992; De, 2003; Katz, 2009). Se estima que esta especie se empezó a cosechar hace aproximadamente 8,000 años y que se domesticó hace más o menos 6,000 años cerca de las cuevas Coxcatlán en el Valle de Tehuacán y Ocampo en Tamaulipas y hace aproximadamente 1400 años en las cuevas Silvia y Guilá Naquitz en los Valles Centrales de Oaxaca (Perry y Flannery, 2007; Perry, 2012; Kraft *et al.*, 2014).

### *Breve historia de Capsicum annuum*

Algunas de las plantas en las que estaba basada la dieta de los mesoamericanos hace al menos 4,000 años son principalmente el maíz, diferentes frijoles, calabazas, el chile y el aguacate. Los amarantos, los zapotes blanco y negro, los agaves y los nopales también eran importantes (McClung de Tapia y Zurita Noguera, 2000; Sahagún, 2000). Durante el dominio del imperio mexica, uno de los principales productos que se tributaba era el chile (Berdan, 1976; Mazzetto, 2018), ya que al poder ser consumido en seco y tener un alto contenido de vitamina C, se podía guardar durante mucho tiempo (Andrews, 1992). Además, el chile tenía también un papel religioso y medicinal importante en Mesoamérica (López Austin, 1969; Long-Solis, 2013). Hay registro de que era frecuente otorgarle ofrendas a la diosa mesoamericana del chile, Tlatlahuqui, que era hermana de Tlaloc, dios de la lluvia, para pedir por buenas cosechas y protección de los cultivos (Long Towell, 2009; Long-Solis, 2013; Long Towell, 2014). De acuerdo con los datos arqueológicos y las crónicas del siglo XVI, el cultivo del chile ya se había extendido por todo Mesoamérica antes de la llegada de los aragoneses y castellanos a este territorio, y ya existía un gran número de variedades de esta planta (Perry y Flannery, 2007; Long Towell, 2009; Rosenswig *et al.*, 2013).

Durante miles de años, los habitantes de lo que se conoce como *el viejo mundo*, es decir, Europa, Asia y el norte de África, intercambiaron entre sí tecnologías, conocimientos, enfermedades y alimentos (Fuller *et al.*, 2011; Boivin *et al.*, 2012). Este intercambio se dio dentro de un periodo de tiempo muy grande, y fue lento y paulatino, sobre todo si lo comparamos con la velocidad a la que se

dio el intercambio entre el *viejo mundo* y el *nuevo mundo*, es decir, América, a partir de su colonización (Boivin *et al.*, 2012). Para principios de la década de 1490, el intercambio de productos era tan importante, que Cristóbal Colón salió de la península ibérica en 1492 en búsqueda de rutas alternas de comercio con Asia, que permitieran evitar las rutas que en ese momento se encontraban controladas por el imperio otomano (Fusi, 2012). Con esto en mente, Cristóbal Colón se topó con un continente con plantas y animales desconocidos para los europeos. Desde su primer viaje y a partir de su primer contacto con las islas del caribe, Cristóbal Colón se llevó algunas de las plantas y especias que ahí encontró, entre las cuales se encontraban la vainilla y el chile (o ají, como era nombrado por los indígenas taínos), al cual llamaron pimienta, por su semejanza con la pimienta ya conocida para ellos (Crosby, 1991; Andrews, 1995, Katz, 2009; Fusi, 2012).

De acuerdo con Long Solis (2013), a pesar de que el chile se exportó a Europa desde los primeros contactos con el continente americano, no se volvió parte importante de la dieta europea hasta el siglo XVII. El chile poco a poco se fue introduciendo a distintas partes del mundo, como por ejemplo, la India, en donde empezó a ser parte fundamental de la dieta y la cocina a partir de los siglos XVIII y XIX (De, 2003; Katz, 2009; Long Solis, 2013). Para el siglo XX, el chile, junto con muchas de las plantas cultivadas en América, ya se encontraban presentes en los cinco continentes (Long Solis, 2013).

### *Capsicum annuum* var *glabiusculum*

El pariente silvestre de *Capsicum annuum* (Figura 2.2) ha sido tratado taxonómicamente como distinto a las plantas domesticadas a nivel de variedad. La variedad silvestre hoy en día es conocida como *Capsicum annuum* var. *glabiusculum*, aunque también puede ser encontrada bajo los nombres *minimum* o *aviculare* (Eshbrough, 2012). La distribución de esta variedad va desde el sur de Estados Unidos hasta Centroamérica, y suele estar en altitudes menores a los 1000 m s.n.m. aunque se ha encontrado hasta a más de 2,000 m s.n.m. en la Sierra Gorda en México (Kraft *et al.*, 2013, Pickersgill, 2016). Suele crecer debajo de la sombra de los árboles en los bosques, y en las orillas de los caminos o de los acahuales (campos de cultivo abandonados) (Pickersgill, 2016).

Los individuos de esta variedad suelen ser arbustos no muy altos (2 m de altura), que pierden sus hojas en condiciones secas o frías, y rebrotan cuando las condiciones ambientales mejoran (Eshbrough, 2012; Pickersgill, 2016). Sus flores son blancas y pequeñas, y generalmente crece una por nodo (Eshbrough, 2012). Cada planta tiene numerosos frutos erectos pequeños redondos u ovalados de color verde que, conforme van madurando, se van tornando rojos, pasando por tonos verde oscuro y negros, y cuyas semillas son pequeñas y color crema (Andrews, 1995, Eshbrough, 2012). Los frutos al

madurar se separan fácilmente del cáliz y su posición erecta y color rojo permite que sean detectables para las aves, que son las principales dispersoras (Andrews, 1992; Andrews, 1995; Tewksbury y Nabhan, 2001; Eshbrough, 2012) . Las aves no tienen receptores para la capsaicina, que es un metabolito secundario desarrollado por estas plantas y muchas otras de este género, el cual les da su característico *picor* y protege a las semillas de ser consumidas por animales cuyo tracto digestivo destruye las semillas, como los mamíferos (Andrews, 1995; Tewksbury, 2001; De, 2003; Levey *et al.*, 2006; Knaap, 2007). Las aves pueden dispersar las semillas a largas distancias y éstas no pierden su capacidad de germinar después de ser defecadas por estos animales (Levey *et al.*, 2006; Kraft *et al.*, 2014). Los frutos también suelen ser cosechados por los humanos, tanto para el consumo de las familias como para su venta en los mercados (Andrews, 1995; Knaap, 2007; Eshbrough, 2012; Pickersgill, 2016). Esta variedad es exógama, con índices de consanguinidad bajos y presenta tasas altas de polinización cruzada llevada a cabo por insectos (Luna-Ruíz *et al.*, 2018; Pérez Martínez 2018).



Figura 2.1. Foto de *Capsicum annuum* var *glabiusculum*. Foto de Cristina Alonso.

### *Capsicum annuum* var *annuum*

A pesar de que todas las plantas domesticadas comparten una serie de características que las distingue de su pariente silvestre, cada especie tiene su propio síndrome de domesticación particular, dependiendo de sus características biológicas y los contextos ambientales y culturales en los que se han desarrollado (Gepts y Papa, 2002; Harris y Fuller, 2013). En el caso de *C. annuum*, los tipos domesticados que corresponden a la categoría taxonómica *C. annuum* var *annuum* (Figura 2.3), presentan un conjunto de rasgos muy diversos, principalmente en los frutos, que es el órgano de interés

para los seres humanos y por lo tanto han estado sujetos a mayor presión de selección. Las diferentes características físicas y químicas de los frutos de los chiles hacen que sea posible consumirlo de múltiples maneras y que haya una gran diversidad de formas, colores, consistencias, aromas y sabores (Cazáres-Sánchez *et al.*, 2005; Vera-Guzmán *et al.*, 2011). Los tipos domesticados se encuentran distribuidos en los cinco continentes del planeta y tienen una gran importancia comercial y cultural (De, 2003). En este trabajo, nos referiremos a los distintos tipos de *C. annuum* var *annuum* como variedades locales o variedades domesticadas de *C. annuum*.



Figura 2.2. Fotos de *Capsicum annuum* var *annuum*. A) Chile huacle de la Cañada, Oaxaca; B) Chile solterito de los Valles Centrales, Oaxaca. Fotos de Cristina Alonso.

En general, las plantas de *C. annuum* var *annuum* suelen ser plantas de menor tamaño y con flores blancas más grandes que las de *C. annuum* var *glabriusculum*. Sus frutos también son de mayor tamaño y presentan una gran variedad de formas (Figuras 2.3 y 2.4) y colores al madurar: rojo, naranja, amarillo, café oscuro, negro y morado. Aunque no siempre, éstos suelen encontrarse en posición colgante en las plantas y al madurar no se separan con facilidad del cáliz (Pickersgill, 2016). Las distintas variedades domesticadas de *C. annuum* presentan diferentes niveles de capsaicina dentro y entre variedades, por lo que, aunque la mayoría son picantes, pueden no serlo, como los pimientos dulces (Pickersgill, 2016; Luna-Ruíz *et al.*, 2018).

Los frutos de esta especie (tanto la variedad silvestre como las variedades domesticadas) se pueden consumir maduros o inmaduros, al igual que en fresco o en seco. Para secarlos, éstos se cosechan ya maduros y se suelen secar al sol durante varios días, o en hornos en el caso de la producción más industrial. Debido a esto, a lo largo del proceso de domesticación se han ido seleccionando distintos grosores del pericarpio, dependiendo cómo se han desarrollado en las distintas

localidades en las que se han cultivado y los diferentes usos que se les ha dado. Los chiles cuyo pericarpio es más delgado se secan con mayor facilidad y rapidez, y por lo tanto su consumo en seco y almacenamiento es más frecuente (Kraft *et al.*, 2010; Pickersgill, 2016; Luna-Ruíz *et al.*, 2018).

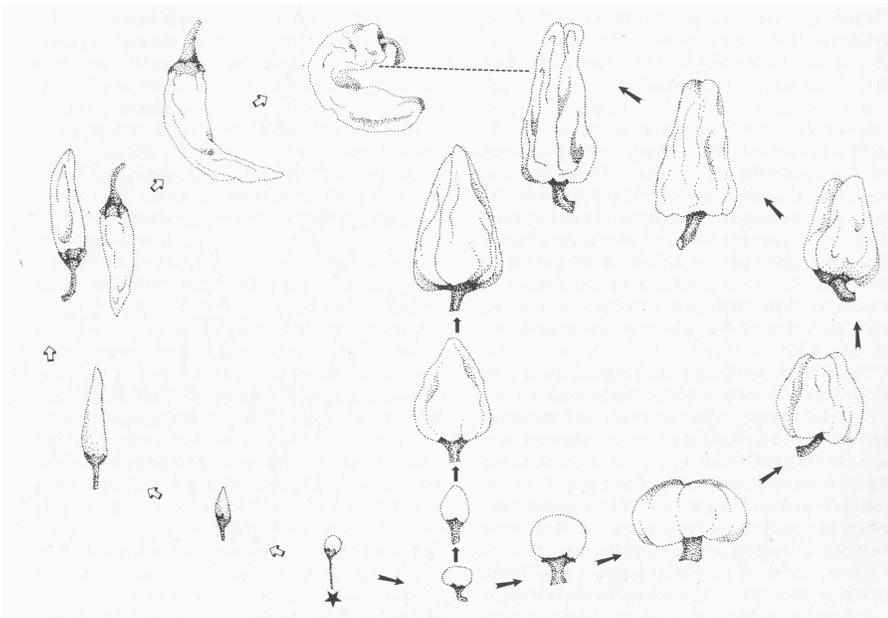


Figura 2.3. Desarrollo de las diferentes formas del fruto de *C. annuum* a partir de *C. annuum* var *glabriusculum* (★). (Tomado de Andrews, 1995)

A diferencia de la variedad silvestre, las variedades domesticadas son autógamas, y presentan una menor tasa de polinización cruzada, en parte debido a que la longitud del estigma es mucho más variable en comparación con la de los estigmas de la forma silvestre (Pickersgill, 2016). En cuanto a sus semillas, éstas también son más grandes y pueden ser de color más oscuro, generalmente café claro. Una característica dominante de las variedades domesticadas es que sus semillas presentan una pérdida de dormancia y una mayor tasa de germinación que la variedad silvestre (Pickersgill, 2016; Luna-Ruíz *et al.*, 2018).

Hoy en día se puede encontrar un espectro amplio de grados de domesticación de esta especie, y esto hace que sea particularmente interesante estudiar los procesos que se involucran. Las formas que podemos encontrar van desde aquellas cuyo grado de domesticación es muy incipiente, las cuales apenas presentan de manera sutil uno que otro de los rasgos aquí mencionados, hasta las formas muy domesticadas en las que podemos encontrar todas estas características, pasando por un gran número de variedades cultivadas y semidomesticadas que presentan una mezcla de rasgos típicos tanto de *C. annuum* var *glabriusculum* como de *C. annuum* var *annuum* (Pickersgill, 2016). *C. annuum* es por todo esto un excelente sistema para estudiar la diversidad fenotípica de una especie domesticada en

Mesoamérica, así como las condiciones ambientales, socioeconómicas y de manejo a las que esta diversidad está asociada. Ahondar en su estudio permitirá comprender mejor los procesos que han generado y reproducen la agrobiodiversidad en esta región.

## III. Método

### 3.1 *Sitio de estudio*

#### *Oaxaca*

Desde 1915, N. Vavilov observó que hay una fuerte relación entre la diversidad de cultivos y los entornos de ambientes montañosos. En ellos, las distintas variedades de plantas cultivadas requieren adaptarse a ambientes heterogéneos debido a variaciones altitudinales, climáticas y de tipos de suelo, entre otras (Vavilov 1994; Brush, 2004). El estado de Oaxaca se caracteriza por tener una gran heterogeneidad ambiental con una alta diversidad de climas, lo cual se debe, entre otras cosas, a su posición geográfica y a su relieve montañoso (Apéndice 1). Oaxaca tiene una enorme riqueza de ecosistemas y más de 12,500 especies de plantas y animales (Trejo, 2004; Ordóñez y Rodríguez, 2008). A su vez, Oaxaca tiene una enorme diversidad cultural. Esto se puede ver reflejado en que es el estado de México con mayor número de grupos indígenas reconocidos (16), y una gran diversidad lingüística, tanto de lenguas como de dialectos (De Ávila Blomberg, 2004). Esta heterogeneidad ambiental, biótica y cultural ha dado como resultado un gran número de variedades locales de diversos cultivos, muchas de las cuales son endémicas del estado e incluso de regiones particulares (Pickersgill, 1997; Long-Solís y Vargas, 2005; Long-Solís, 2013). Es así que en el estado de Oaxaca se puede estudiar la domesticación del chile bajo distintos escenarios.

El estado de Oaxaca se suele dividir en ocho regiones socioeconómicas (Figura 3.1; Gobierno del Estado de Oaxaca), 30 distritos, 570 municipios y más de 10,000 localidades. Limita al norte con Veracruz y Puebla, al este con Chiapas, al sur con el Océano Pacífico y al oeste con Guerrero. Las coordenadas extremas de Oaxaca son: al norte 18°39' y al sur 15°39' de latitud norte: al este 93°52' y al oeste 98°32' de longitud oeste. Tiene una superficie de 95,364 km<sup>2</sup> (el 4.8 % del territorio nacional) (García Mendoza, 2004; INEGI, 2004). A pesar de tener cierta integridad socioeconómica, cultural y ambiental, cada una de las ocho regiones en las que está dividido el estado tiene a su vez una gran diversidad geográfica, ecológica, económica y cultural (García Mendoza, 2004; Figura 3.1).

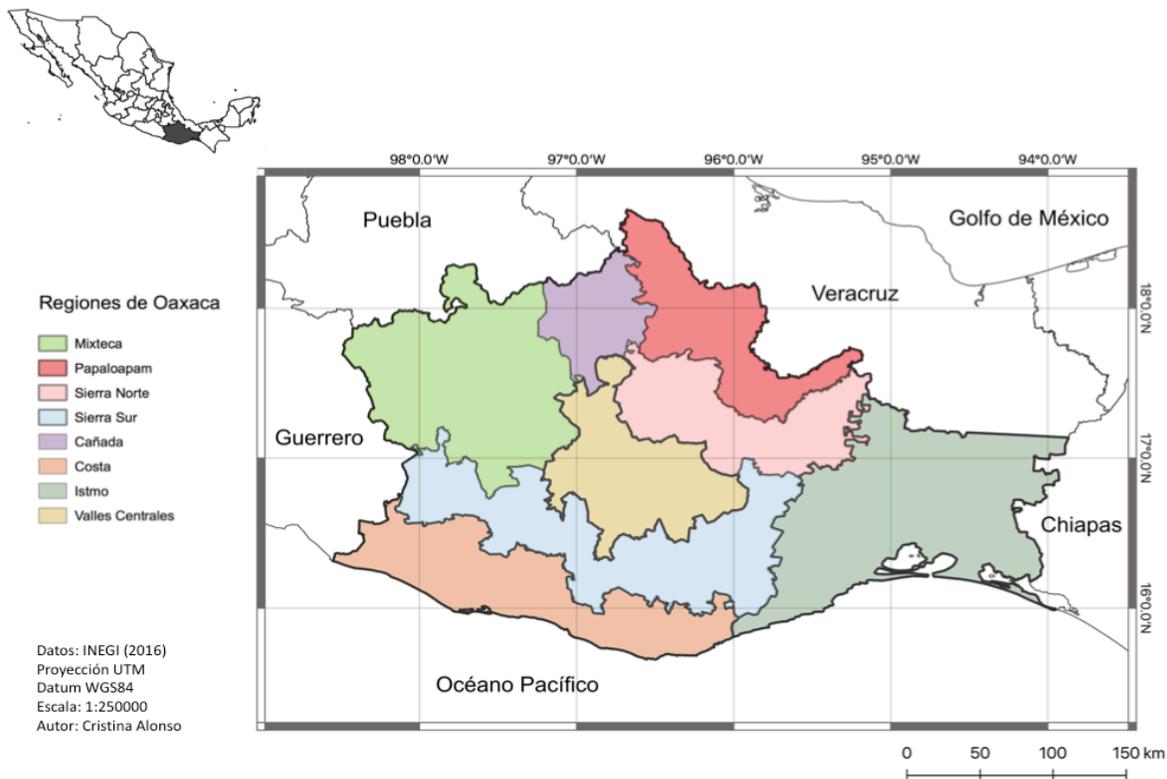


Figura. 3.1. Mapa de las ocho regiones económicas de Oaxaca.

### *Regiones de estudio del estado de Oaxaca*

De las ocho regiones de Oaxaca, este estudio se llevó a cabo en cuatro: Cañada, Valles Centrales, Costa e Istmo (Figura 3.1). Estas cuatro regiones fueron seleccionadas ya que el grupo de trabajo realizó muestreos previos en ellas, por lo que ya había contacto con algunos campesinos productores de chile. Por ello, sabíamos que en estas cuatro regiones había tanto variedades domesticadas de gran interés cultural, como por ejemplo, el chile huacle de la Cañada, el chile de agua de los Valles Centrales, el chile costeño de la Costa y el guiña danhi del Istmo, y algunos arvenses. Además, Costa e Istmo forman un transecto cuyas altitud y características ambientales son más o menos homogéneas, mientras que Cañada y Valles Centrales forman otro transecto cuyos cambios altitudinales son marcados y sus características ambientales son heterogéneas.

### Cañada

La región Cañada se encuentra en el Norte del estado. Está dividida en 45 municipios distribuidos en dos distritos: Teotitlán y Cuicatlán. Los innumerables arroyos alimentan ríos como el Huhetlán y el

Petalpa, los cuales alimentan la presa Miguel Alemán y la cuenca del Papaloapan. La región presenta diferencias muy grandes de altitudes que van desde los 200 m.s.n.m. hasta los 3000 m.s.n.m. , y una gran variedad de microclimas en pocos kilómetros (CONABIO, 1998; Millán, 2008). Las temperaturas medias anuales en esta región fluctúan entre los 10 y 26° C, y la precipitación total anual va de entre 300 y más de 4500 mm (Gracia, E. - CONABIO, 1998a; Gracia, E. - CONABIO, 1998b).

El 87 % de la población es indígena. Entre los principales pueblos indígenas que habitan este territorio se encuentran los mazatecos, los cuicatecos y los mixtecos. También habitan grupos de nahuas, chinantecos y popolacas (Álvarez, 1994; Millán, 2008). De la región Cañada trabajamos en tres localidades: San José del Chilar, San Juan Bautista Cuicatlán y Buenavista Pochotepec.

### Costa

La Costa se encuentra en la parte Sureste del estado, desde el Istmo hasta los límites estatales de Guerrero. Tiene un total de 50 municipios en los distritos de Jamiltepec, Juquila y Pochutla. En esta región existen distintos pisos ecológicos entre la franja costera y lomeríos que forman parte de la Sierra Madre del Sur, con altitudes que van desde los 0 hasta los 2400 m s.n.m. Los tipos de vegetación predominantes son las selvas bajas y medianas caducifolias (Álvarez, 1994; CONABIO, 1998; Millán 2008). Las temperaturas medias anuales en esta región fluctúan entre los 16 y los más de 28° C a lo largo del año, y la precipitación total anual va de entre 800 y 2000 mm (García, E. CONABIO, 1998a; García, E. CONABIO, 1998b).

El 43 % de la población es indígena. Los principales pueblos originarios son zapoteco, chatino y mixteco de la costa, aunque también hay mestizos, afrodescendientes amuzgos y chontales. Al oriente de la región está la zona zapoteca de Los Loxichas, en el distrito de Pochutla. En la parte central, en el distrito de Juquila, se encuentra la zona chatina y al poniente está la zona de la mixteca de la costa, en el distrito de Jamiltepec. Es una región con mucha migración, sobre todo a los centros turísticos como Huatulco y Puerto Escondido (Álvarez, 1994; Millán, 2008). De esta región, trabajamos en las siguientes localidades: El Carrizo, El Coyul, Guzmán San Pedro Pochutla, San Juan Diegal y El Tomatal.

### Istmo

El Istmo de Tehuantepec se encuentra en la parte Este del estado, entre el límite estatal de Veracruz y el Golfo de Tehuantepec y presenta llanuras en la costa del Pacífico y lomeríos y montañas que forman parte de la Sierra Madre del Sur y de la Sierra Atravesada en el resto de la región, por lo que encontramos altitudes desde los 0 hasta los 2200 m s.n.m (CONABIO, 1998). Su temperatura media

anual fluctúa entre los 14 y los 28° C y su precipitación anual fluctúa entre 500 y 3500 mm (García, E. CONABIO, 1998a; García, E. CONABIO, 1998b). Esta región tiene cuatro principales tipos de clima: cálido subhúmedo, semicálido subhúmedo, templado húmedo y semicálido húmedo (Trejo, 2004; CLICOM, 2016).

Esta región está dividida en dos distritos, Tehuantepec y Juchitán y tiene un total de 48 municipios. Los principales centros urbanos son Salina Cruz, Juchitán, Ixtepec y Matías Romero, en los cuales vive el 71 % de la población. El 29 % restante vive en 532 localidades. El 50.7 % de la población es indígena (Millán, 2008). En su territorio habitan principalmente los pueblos zapoteco, mixe, zoque, chontal y huave, y hay una fuerte migración de grupos mazatecos, chinantecos, mixtecos y tzotziles, principalmente hacia Salina Cruz (Álvarez, 1994; Ordóñez, 2004; Millán, 2008). De la región Istmo, trabajamos en tres localidades: El Coyul, Rancho Llano y Santo Domingo Ingenio.

### Valles Centrales

Los Valles Centrales se localizan en la parte del centro del estado y es aquí donde se encuentra la mayor concentración humana de todo el estado. Esta región está dividida en cuatro distritos: Centro, Tlacolula, Etna y Ocotlán y tiene en total 113 municipios (Millán, 2008). Los Valles Centrales presentan una topografía irregular con altitudes que van desde los 600 m s.n.m. hasta los 3200 m s.n.m (CONABIO, 1998). Su temperatura media anual fluctúa entre los 10 y los 26° C y su precipitación anual fluctúa entre los 400 y 2500 mm (García, E. CONABIO, 1998a; García, E. CONABIO, 1998b). Los valles que lo componen (Etna, Zimatlán-Ocotlán, Ejutla-Miahuatlán y Tlacolula) presentan ecosistemas parecidos entre sí, sin embargo, también tienen diferencias de vegetación, hidrología, suelos y relieve, formando, así, microclimas. Esta región presenta una gran variedad de climas de los cuales predominan el semicálido subhúmedo, el semifrío húmedo, el semiárido cálido y el semiárido templado. El grupo étnico predominante es el zapoteco, seguido por el mixteco y el mestizo (Álvarez, 1994; Ordóñez, 2004; Trejo, 2004; CLICOM, 2016). En esta región trabajamos en las localidades de San Juan Bautista Guelache, San Andrés Niño, Santa María Vigallo y Villa de Zaachila.

En total, visitamos 17 localidades (Cuadro 3.1) y trabajamos en 15 de ellas (Figura 3.2). Tomamos muestras de 24 parcelas (Cuadro 3.1). Las regiones de estudio tienen cierta contigüidad, y la ausencia de localidades provenientes de la región Sierra Sur tiene que ver tanto con las dificultades de acceso, como con la menor densidad del cultivo del chile en dicha zona (Figuras 3.1 y 3.2).

Cuadro 3.1. Variedades de chile encontradas en cada una de las localidades y las parcelas de muestreo. Número de plantas medidas y frutos colectados y medidos en cada una de las parcelas visitadas. Las parcelas en las que no hicimos un perfil de suelo y/o no pudimos coleccionar frutos están marcados con un \*.

<b>Región</b>	<b>Localidad</b>	<b>Parcela</b>	<b>Variedad</b>	<b>No. de plantas</b>	<b>No. de frutos</b>
<b>Cañada</b>	San José del Chilar	Chil1	Achilito	5	26
		Chil1	Huacle	7	19
	San Juan Bautista Cuicatlán	Cui1	Huacle	8	23
		Cui1	Achilito	10	44
		Cui3	Huacle	10	30
	Buena Vista Pochotepec	Poch2	Chiltepe	15	82
	Teotitlán de Flores Magón	Cui5	Huacle	10	30
Valerio Trujano	*V.Truj2	Cascabel	3	0	
<b>Valles Centrales</b>	San Juan Bautista Guelache	Guel1	Nanchita	4	15
		Guel1	Piquín	1	3
		Guel1	Solterito	8	23
	San Andrés Niño	SAnd1	Taviche	9	45
	Santa María Vigallo	Vig1	De agua	10	30
	Villa de Zaachila	Zaach1	De árbol	2	14
		Zaach1	Jalapeño	2	7
		Zaach2	Nanchita	3	14
		Zaach2	Solterito	10	32
		Zaach3	Solterito	8	38
<b>Costa</b>	El Carrizo	Carr1	Costeño	15	45
	Guzmán San Pedro Pochutla	Guz1	Tusta	10	63
		Guz2	Mirasol	2	25
		Guz2	Nanche	2	35
		Guz2	Tusta	1	6
		Guz3	Mirasol	3	30
		Guz4	Costeño	5	20
		Guz4	Tusta	5	31
	Guz4	Serrano	3	9	
	San Juan Diegal	JuanD2	De monte	2	22
		*JuanD1	Nanchita	1	0
	El Tomatal	Tom1	Costeño	13	59
		Tom1	Puya	10	41
		Tom4	Costeño	9	26
		Tom5	Piquín	2	21
<b>Istmo</b>	El Coyul	Coy1	Piquín	1	7
		Coy1	Tusta	2	59
		*Coy2	Payaso	1	0
	Rancho Llano	RL11	Guiña danhi	12	31
		RL12	Zopilote	2	13
	Santo Domingo Ingenio	SDI1	De monte	3	53
	Juchitán de Zaragoza	*Zaach1	Chocolate	2	4

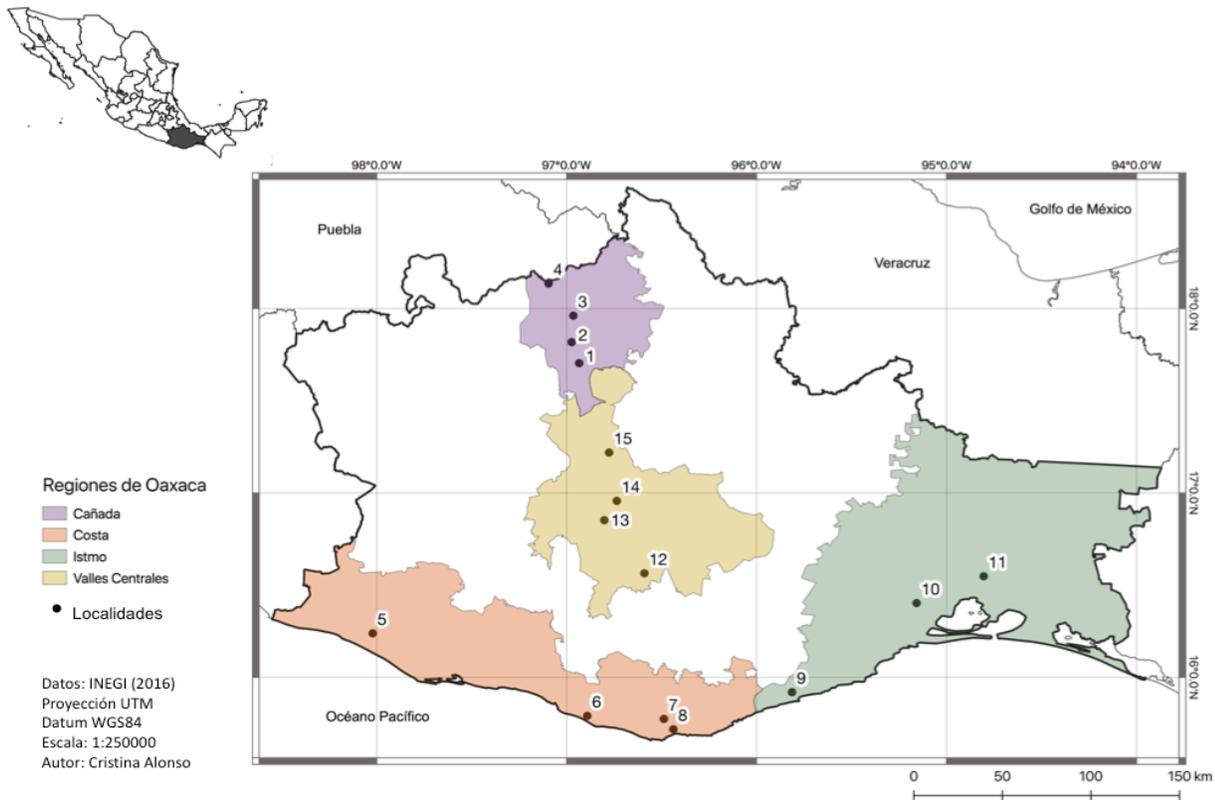


Figura. 3.2. Mapa del estado de Oaxaca, las regiones de estudio y las localidades en las que hicimos los muestreos y las entrevistas. Región Cañada: 1. San José del Chilar 2. San Juan Bautista Cuicatlán 3. Buenavista Pochotepec 4. Teotitlán de Flores Magón; Región Costa: 5. Carrizo 6. El Tomatal 7. Guzmán 8. Juan Diegal; Región Istmo: 9. El Coyul 10. Rancho Llano 11. Santo Domingo Ingenio; Región Valles Centrales: 12. San Andrés Niño 13. Santa María Vigallo 14. Villa de Zaachila 15. San Juan Bautista Guelache.

### 3.2 Toma de datos y muestreo

Como ya explicamos previamente, este trabajo pretende aportar al conocimiento del proceso de domesticación de *C. annuum* e integrar distintas variables ambientales y sociales y relacionarlas con algunas variables fenotípicas de *Capsicum annuum*. Para esto realizamos entrevistas, colectas y registramos diversas variables ambientales (ver detalles abajo). Las variables ambientales físicas que registramos fueron la altitud, la temperatura máxima, la mínima y la promedio, y la precipitación promedio y la anual. En cuanto al suelo, hicimos perfiles de 30 cm de profundidad y las variables de interés fueron la textura (porcentajes de arena, limo y arcilla), el color, el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica y los carbonatos. Las variables sociales que documentamos fueron el nivel de intensificación de manejo (traspatio, solar, parcela en policultivo o parcela en monocultivo), la forma de consumo, es decir, el destino de la producción (autoabasto, venta en los distintos mercados),

la presencia de plagas, el uso de maquinaria, plaguicidas y fertilizantes. Además, en las entrevistas también indagamos sobre el proceso de selección de las semillas y de las características buscadas para cada una de las variedades, así como el uso general que se le daba a cada variedad. Finalmente, para cada una de las variedades, las variables fenotípicas que medimos fueron la altura de las plantas, el número de frutos por individuo y el perímetro, el ancho y el largo de los frutos. En el estudio se consideraron solamente las variedades que encontramos cultivadas, no las que encontramos en venta en los distintos mercados.

El trabajo de campo de este proyecto consistió en viajar por algunas localidades de las cuatro regiones de Oaxaca en las que sabíamos que es común la siembra de *C. annuum*, y buscar traspatios, huertos, solares y parcelas en donde se sembraran las distintas variedades de esta especie. Debido a las características de este trabajo, a la limitación del tiempo disponible y a la extensión geográfica que se recorrió, el muestreo se realizó en un solo mes, de mediados de octubre a mediados de noviembre de 2016. A pesar de que el chile se suele sembrar en junio en Oaxaca, no todas las variedades encontradas ni las plantas muestreadas fueron sembradas al mismo momento. Es importante considerar esto a lo largo del trabajo, lo cual es particularmente importante con respecto a las medidas realizadas a las plantas de chile y a las variables morfológicas de los frutos, pues sus características varían dependiendo del tiempo que lleven sembradas.

### *Datos ambientales físicos*

Obtuvimos los datos de temperatura y precipitación de cada localidad utilizando la versión 1.4 de WorldClim, que cuenta con datos mensuales promedio de clima para los años entre 1960 y 1990. De estos, utilizamos los datos de temperatura máxima, mínima y promedio así como los datos de precipitación promedio y anual correspondientes a los meses de junio a noviembre, que son los meses en los que suele sembrarse chile en las localidades que visitamos. Los datos de altitud los tomamos utilizando un GPS map 64 de Garmin en cada uno de los sitios.

### *Colecta de frutos y medidas de plantas*

En total visitamos 14 localidades (Figura 3.2) y tomamos muestras en 24 sitios. En cada uno de los sitios tomamos entre tres y cinco frutos de entre 10 y 15 plantas. También registramos la altura y el número de frutos por planta. En total tomamos medidas de 259 plantas y obtuvimos un total de 1055 frutos (Apéndice 2).

## *Suelo*

Para cada uno de los sitios de muestreo hicimos un perfil de suelo de la profundidad fisiológica relevante para las plantas de *Capsicum annuum*, que es de 30 cm. En campo, tomamos datos de textura, color, pedregosidad, estructura, número y tipo de poros y densidad aparente para cada uno de los horizontes identificados utilizando el “Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo” (Siebe *et al.*, 2006). Además, tomamos muestras de cada uno de los horizontes para hacer análisis de pH, conductividad eléctrica, salinidad y contenido de carbono orgánico e inorgánico en el laboratorio. En total se realizaron 24 perfiles de suelo con un total de 51 horizontes.

## *Laboratorio*

pH y conductividad eléctrica: para cada una de las muestras, deshicimos los agregados de suelo utilizando un mortero de ágata y las tamizamos con un tamiz de 2 mm. Pesamos 10 g y agregamos 25 ml de agua destilada. Posteriormente, las muestras se pusieron en una removedora durante una hora y se dejaron asentar entre 30 y 60 minutos. Tomamos dos medidas de pH utilizando un medidor Hanna HI255 Combined Meter. Después, filtramos las muestras utilizando filtros circulares Whatman #1 de 150 mm durante entre 18 y 24 horas y tomamos dos medidas de conductividad eléctrica con el mismo medidor. Los datos utilizados, tanto de pH como de conductividad eléctrica, fueron los promedios de las dos medidas tomadas para cada una de las muestras.

Carbono orgánico e inorgánico y nitrógeno total: evaluamos el contenido de carbonatos para cada una de las muestras de suelo humedeciéndolas y agregándoles una gota de HCl al 10 %, registrando si se observaba una efervescencia así como la intensidad y duración de la misma de acuerdo con el Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo (Siebe *et al.*, 2006). Se hicieron análisis de nitrógeno total y carbono total para todos los horizontes (51 en total) y de carbono inorgánico para aquellos horizontes que tuvieron una reacción positiva a la prueba con HCl (37 horizontes) en el Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM. Se utilizó un analizador elemental CNHS/O Perkin Elmer 2400 series II, en el modo CHN con un gas acarreador de helio, a una temperatura de combustión de 975° C, una temperatura de reducción de 640° C, utilizando conductividad térmica como detector, acetanilida como compuesto de calibración y LECO soil calibration sample for CNS part 502-309 como material de referencia. Todos los análisis se hicieron por duplicado y el dato que utilizamos fue el promedio de ellos para cada muestra.

## *Entrevistas*

En las 15 localidades visitadas realizamos un total de 19 entrevistas semiestructuradas a los productores de las distintas variedades de *Capsicum annuum*. En todos los casos, se informó a los entrevistados sobre los objetivos del estudio y se les preguntó si podíamos tomar algunas muestras en su parcela y si podían platicar con nosotros sobre el cultivo del chile. A cada uno de los entrevistados le entregamos una carta de presentación del proyecto en donde garantizamos su anonimato (no dar a conocer sus nombres ni las coordenadas exactas de su ubicación) (Apéndice 3). En general los entrevistados fueron varones, de entre 50 y 60 años de edad, dedicados principalmente a la agricultura y a algunas actividades complementarias como la construcción. Todos hablaban español, y algunos de ellos también hablaban alguna lengua indígena dependiendo de la región (mazateco, mixteco, zapoteco). Las entrevistas se organizaron en torno a cinco ejes principales:

1. Datos del entrevistado: información sobre el entrevistado, por ejemplo, su sexo, edad, ocupación, lengua materna, etc.
2. Variedades: cuáles son las variedades de chile cultivadas y por qué.
3. Uso y selección: para qué son utilizadas las variedades de chile sembradas y cuáles son las cualidades buscadas en cada una de las variedades y por qué.
4. Forma de consumo (comercialización o autoabasto): si la siembra de chile se hace para vender en el mercado o para autoabastecer a la familia. En caso de que se venda en el mercado, en qué tipo de mercado se vende, es decir, local, regional o nacional. Consideramos mercado local cuando la venta se da dentro de la misma localidad donde se produce el chile. Por mercado regional nos referimos a la venta del chile en las grandes poblaciones cercanas a las localidades donde se produce. Finalmente, consideramos mercado nacional cuando la venta de chile se da más allá de los estados colindantes a Oaxaca, como por ejemplo, la Ciudad de México.
5. Tipo de manejo: cómo son obtenidas las semillas para sembrar chile y si las intercambia con otros campesinos, el nivel de intensificación en la que se siembra cada una de las variedades (parcela en monocultivo, parcela en policultivo, solar o traspatio), si usa riego, si se utiliza fertilizante, si suele tener muchas plagas y si sí, la forma en la que éstas se combaten.

Por parcela en monocultivo nos referimos a parcelas de al menos una hectárea de extensión en donde solamente se siembre chile, es decir, no haya otros cultivos asociados. Es importante decir que en todos

los casos en los que encontramos chile sembrado en monocultivo había también sembradas plantas altas (maíz o caña de azúcar, por ejemplo) en los bordes de la parcela para intentar controlar mejor las plagas. Sin embargo las plantas de chile no estaban en asociación con ninguna otra planta. Las parcelas en policultivo también son parcelas de al menos una hectárea pero en ellas se siembra chile asociado a otras plantas, como por ejemplo maíz, jamaica, papaya, entre otras. El solar es una pequeña parcela (menos de una hectárea) que suele encontrarse atrás de las casas de los campesinos o a unas cuantas cuadras. Los solares suelen tener otras plantas además de chile. Finalmente, los traspatios son los patios traseros de las casas donde suelen tener una o dos plantas de distintas especies, entre ellas chile, y tienen una función importante para el autoabasto familiar.

Al finalizar las entrevistas, pasamos la información a unos formatos de encuesta para poder recopilar y sistematizar la mayor cantidad de información posible (Apéndice 4). A partir de esta sistematización de lo observado, pudimos hacer una descripción general de las condiciones socioeconómicas y el proceso de selección y siembra de esta especie en las regiones de estudio de Oaxaca.

### **3.3 Morfometría de los frutos de *Capsicum annuum***

Estudiamos las diferencias morfológicas de los frutos de las distintas variedades locales de *Capsicum annuum* con morfometría clásica usando el programa Tomato Analyser v. 3.0 y siguiendo Tomato Analyzer User Manual versión 3 (Rodríguez *et al.*, 2010). Las medidas que obtuvimos fueron: el perímetro, el área, el ancho máximo, el ancho a la longitud media del fruto, la longitud máxima, la longitud en el ancho medio del fruto, la longitud curva, la proporción entre la longitud máxima y el ancho máximo, la proporción entre la longitud en el ancho medio del fruto y el ancho a la longitud media del fruto y la proporción entre la longitud curva y el ancho en la longitud media curva de los frutos.

Existen algunos estudios (Atchley *et al.*, 1976; Anderson y Lydic, 1977; Jasiński, y Bazzaz, 1999), en donde se ha visto que el uso de proporciones altera la estructura de los datos, cambia la desviación estándar, la covariación y el coeficiente de variación. Es por eso que de todas las medidas obtenidas con el Tomato Analyzer, decidimos no trabajar con las proporciones entre las medidas de longitud y ancho de los frutos.

Por otro lado, decidimos no utilizar la medida de ancho máximo y largo máximo, pues al no utilizar puntos homólogos en las distintas variedades para hacer las medidas puede ser problemático hacer comparaciones (Adams *et al.*, 2004).

Finalmente, decidimos trabajar con el perímetro y no con el área debido a que, por un lado, es más fácil trabajar con las unidades del perímetro (cm), que son las mismas que para las otras medidas y, por el otro, el Tomato Analyzer no distingue profundidad por lo que el área no nos da más información con respecto al tamaño de los chiles que el perímetro.

Para resumir, las características fenotípicas de las plantas y los frutos que consideramos en este trabajo fueron el perímetro, el ancho a la longitud media del fruto y la longitud curva de los frutos y el número de frutos y la altura de las plantas (Fig. 3.3).

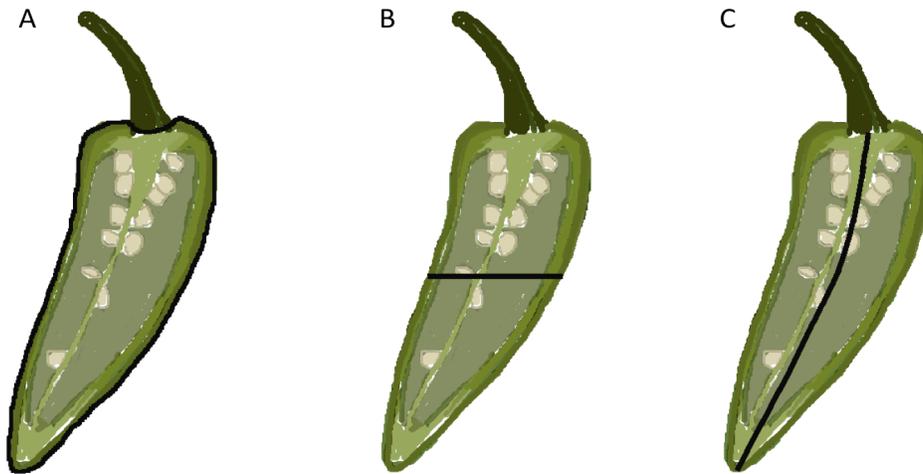


Figura. 3.3. Medidas tomadas a los 1073 frutos de chile: (A) perímetro, (B) ancho a la longitud media y (C) longitud curva.

### ***3.4 Gradiente de domesticación***

De acuerdo con Pickersgill (2016), en el caso de los chiles, el fruto es el principal órgano en el cual actúan las presiones de selección artificial, y por lo tanto donde se manifiesta el síndrome de domesticación. Es así que para proponer un gradiente de domesticación de las variedades encontradas se consideraron las siguientes características de los frutos, asignando valores para ponderar su posición dentro de éste:

1. La posición del fruto en la planta. Las variedades silvestres tienen el fruto erecto y las variedades más domesticadas tienen el fruto colgante, entre otras cosas, debido a que los frutos suelen ser más grandes y por lo tanto pesan más y cuelgan. Las variedades semidomesticadas pueden presentar algunos frutos erectos y otros colgantes (Pickersgill, 2016). En este caso hicimos tres categorías, erecto, colgante y mixto, y le asignamos una a cada variedad de acuerdo con lo observado en campo. A las variedades con frutos erectos se les dio un valor de 0, a las

variedades con frutos mixtos se les dio un valor de 0.5 y a las variedades con frutos colgantes se les dio el valor de 1.

2. Colores de frutos maduros. Otro de los rasgos que presentan las variedades más domesticadas es una mayor cantidad de colores y formas (Pickersgill, 2016<sup>1</sup>). Es así que para esta característica, las variedades que presentan un solo color de frutos maduros (rojo) obtuvieron un valor de 0 mientras que las variedades que tienen más de un color de frutos (naranja, amarillo, negro, o varios) obtuvieron un valor de 1.
3. El tamaño. De acuerdo con el síndrome de domesticación, las variedades silvestres tienen un menor tamaño de fruto que las variedades domesticadas (Pickersgill, 2016). Hicimos un promedio del perímetro de los frutos de cada una de las variedades y ordenamos las 17 variedades de acuerdo a su tamaño de fruto de menor a mayor. Posteriormente, se le otorgó un valor a cada variedad de uno a 17. A la variedad con los frutos más pequeños, chile de monte en este caso, se le otorgó un valor de 1, mientras que a la variedad con los frutos más grandes, es decir el huacle, se le otorgó un valor de 17. Para hacer equivaler el peso del tamaño del fruto con el de los otros rasgos considerados para hacer la propuesta del gradiente de domesticación antes mencionados, normalizamos los valores otorgados dividiendo cada uno de ellos entre el valor mayor, es decir, 17. De esta manera, otorgamos valores de entre 0 y 1 a cada una de las variedades (0.06 al chile de monte y 1 al huacle).

Así, cada variedad obtuvo un valor para cada una de las características. Para obtener un gradiente de domesticación, sumamos todos los valores obtenidos para cada una de las variedades y las ordenamos de menor a mayor (Cuadro 4.4). Con este gradiente intentamos representar la manera en la que se van modificando algunos rasgos de la domesticación en los frutos. Esto no significa que pensemos que la domesticación sea una línea continua progresiva que va, en este caso, desde la variedad silvestre, el chile de monte, hasta la más domesticada, el chile huacle. Simplemente es una manera de mostrar cómo algunos rasgos fenotípicos han ido cambiando e intentar darles un orden a partir de lo que se conoce sobre el proceso de domesticación de esta especie. Hay variedades que pueden tener grados de domesticación muy parecidos entre sí, por lo que pensamos que las variedades se pueden agrupar en niveles de domesticación, más que en una secuencia específica. Para determinar estos grupos o categorías nos fijamos en cambios importantes en su morfología de acuerdo con el

1 Aunque para Pickersgill esta característica es propia del proceso de diversificación de esta especie, en este trabajo entendemos la domesticación y la diversificación como procesos simultáneos. Ver marco teórico y discusión de este trabajo.

síndrome de domesticación, pero también analizamos aspectos de su comercialización y, sobre todo, de su manejo, el cual sintetizamos en el nivel de intensificación de manejo el cual explicamos más adelante. De esta manera proponemos cuatro principales categorías en las que se pueden agrupar las variedades encontradas: silvestre, semisilvestre, semidomesticado y domesticado.

### **3.5 Intensificación de manejo**

Basándonos en lo propuesto por Ivette Perfecto y colaboradores (2009), y John Vandermeer (2011), por *intensificación de manejo* nos referimos, por un lado, a la extensión de tierra cultivada, y por el otro, al manejo que se le da a la biodiversidad planeada (las plantas y animales que intencionalmente se incorporan a la parcela) y a la biodiversidad asociada (todo aquello que llega a la parcela sin que el campesino lo planee así) en una parcela. Consideramos que el nivel de intensificación crece conforme el tamaño de la parcela aumenta y la biodiversidad total (tanto la planeada como la asociada), disminuye.

Así, se puede identificar un gradiente entre los manejos más tradicionales, en donde se favorece una alta diversidad planeada y el mantenimiento y uso de al menos una parte de la biodiversidad asociada, y los manejos más industrializados, en donde suele haber una menor biodiversidad total. Los primeros implican un bajo uso de insumos externos, mientras que los segundos suelen sustituir las funciones y servicios de la biodiversidad que es eliminada con plaguicidas, herbicidas y fertilizantes (Vandermeer, 2011; González González, 2018). En este trabajo consideramos que el orden de nivel de intensificación de manejo, de menor a mayor, es el siguiente: 1) traspatio; 2) solar; 3) parcela en policultivo y 4) parcela en monocultivo (Figura 3.4).

Finalmente, considerando los valores finales obtenidos en el gradiente de domesticación, y un análisis por variedad del nivel de intensificación de siembra en el cual encontramos cada una de las variedades y el destino que se le da a la producción (autoabasto o venta en los mercados local, regional o nacional) propusimos cuatro categorías de nivel de domesticación: a) silvestre, b) semisilvestre, c) semidomesticado y d) domesticado.

Para ello nos basamos en lo propuesto por Meyer y colaboradores (2012), quienes identifican tres grados de domesticación dados por los cambios fenotípicos (y genéticos) de las plantas, así como por algunas de las características de manejo. Para ellos, las plantas no domesticadas son aquellas que crecen de manera silvestre y que no son cultivadas aunque si son cosechadas; las plantas semidomesticadas son aquellas que son cultivadas y por lo tanto están sujetas a presiones de selección artificial, y que algunos casos son nombradas e identificadas por la gente, a pesar de no presentar

características morfológicas o genéticas distintas de las planas no domesticadas; y por último, las plantas domesticadas son aquellas que morfológica y genéticamente son distintas de las no domesticadas y las cuales no se pueden encontrar si no son cultivadas.

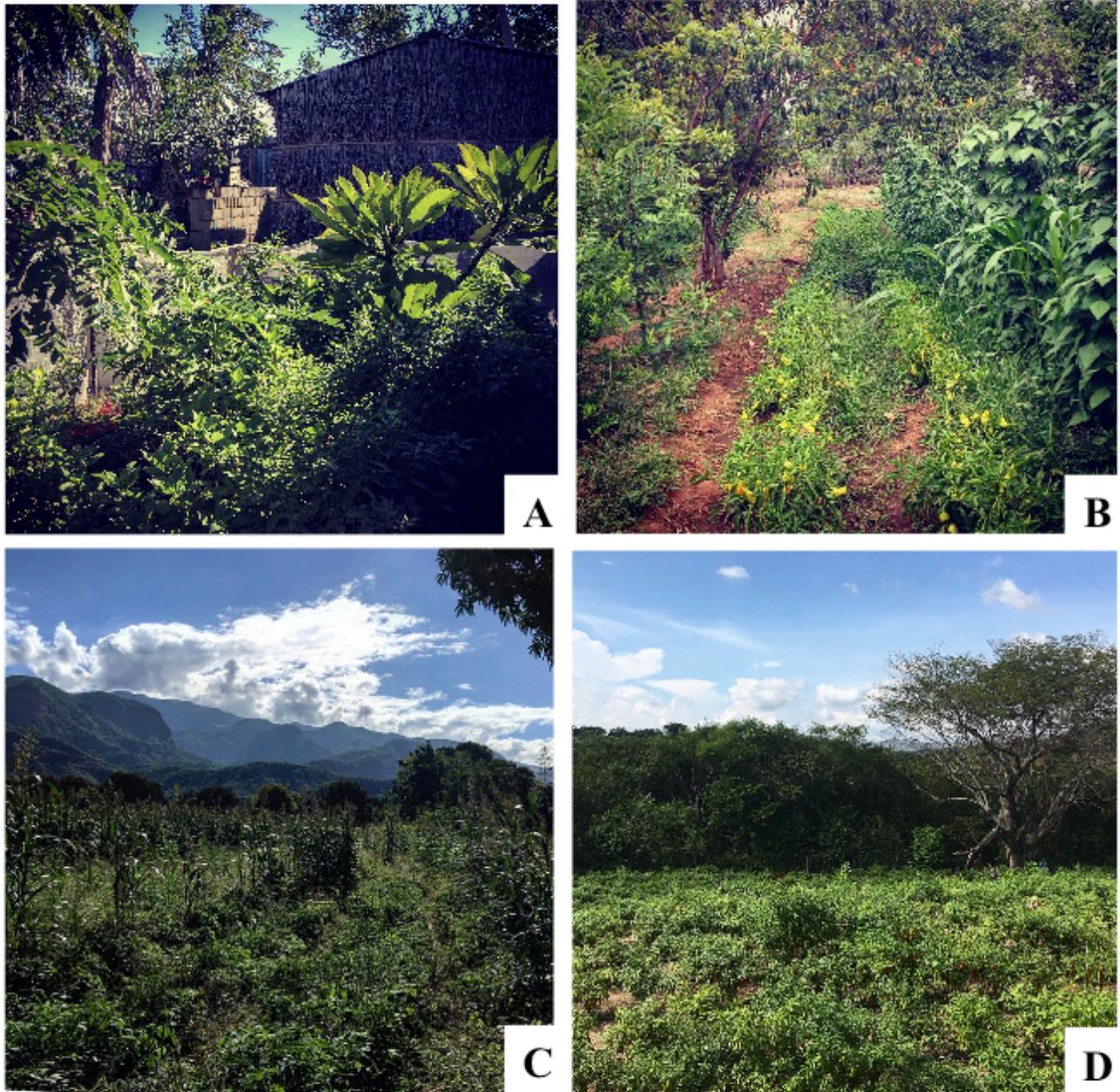


Figura 3.4. Fotos de los distintos niveles de intensificación de manejo. (A) Traspatio; (B) solar; (C) parcela en policultivo y (D) parcela en monocultivo

En nuestro caso, lo que Meyer y colaboradores llaman *no domesticadas* es para nosotros la variedad silvestre de *C. annuum*, es decir, *C. annuum* var *glabriusculum*, o chile de monte, y la cual, al igual que lo definen Meyer y colaboradores, no es cultivada pero sí es recolectada y tolerada (ver formas incipientes de manejo en Casas *et al.*, 2007). Dada la plasticidad de esta especie, agregamos una categoría, la cual denominamos *semisilvestre*, que incluye a aquellas variedades que son arvenses y que son cuidadas y manejadas, y que aún comparten muchos rasgos con el chile de monte, pero que comienzan a ser distinguibles de éste al presentar modificaciones en el tamaño y forma de los frutos. Para nosotros, las variedades *semidomesticadas* son aquellas que son cultivadas y que presentan sólo algunos rasgos del síndrome de domesticación de esta especie. Finalmente, las variedades *domesticadas* son aquellas que son cultivadas de manera más intensiva que las semidomesticadas, y que ya presentan claramente rasgos del síndrome de domesticación de esta especie.

### **3.6 Análisis estadísticos**

Hicimos un análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) para explorar cómo se agrupaban las distintas variedades de chile de acuerdo con los rasgos fenotípicos medidos utilizando los paquetes *FactoMineR* (Lê *et al.*, 2008), *factoextra* (Alboukadel y Mundt, 2017) y *ggplot2* (Wickham, 2016) para R versión 1.1.456. EL PCA es una herramienta de ordenamiento que nos ayuda a simplificar descripciones de variación entre individuos, en este caso frutos o plantas de chile. Con el PCA se produce una nueva serie de variables que son combinaciones lineales de las variables originales. Con ellos también obtenemos nuevas coordenadas para cada uno de los individuos y de esta manera podemos ordenarlos y graficarlos e identificar de manera visual algunos patrones. Así, los individuos que se encuentran cerca unos de otros tienen valores similares y los lejanos tienen valores diferentes. Las variables de las formas de los chiles no son biológica ni estadísticamente independientes, pues describen características de ellos que están íntimamente relacionadas durante el proceso de desarrollo. A través del PCA podemos simplificar y visualizar los patrones de variación y nos ayuda a interpretarlos (Zelditch *et al.*, 2004). Los colores otorgados a las variedades en el PCA fueron de acuerdo al orden de los colores en el arcoiris y el gradiente sugerido para poder ver de manera clara su agrupación.

Mientras que el PCA es un método de ordenación no constreñido, el Análisis de Redundancia, de aquí en adelante llamaremos RDA por sus siglas en inglés (Redundancy Analysis), es un método de ordenación constreñida. La diferencia radica en que en las técnicas no constreñidas, sólo se examina un conjunto de variables y el resultado refleja la varianza de esos datos exclusivamente. Por su parte, las

técnicas constreñidas intentan explicar la variación de un conjunto de variables de respuesta a partir de la variación en un conjunto de variables explicativas, en donde ambos conjuntos de medidas fueron tomados del mismo lugar, por ejemplo, parcelas o localidades. La matriz de variables explicativas constriñe el análisis multivariado del conjunto de datos de la variable de respuesta y en el resultado se expone sólo la variación que puede ser explicada por las variables constreñidas (Zelditch *et al.*, 2004).

El RDA entonces es un método de ordenación constreñida que nos dice cuánto de la variación de un conjunto de variables puede ser explicada por la variación de otro conjunto de variables, extendiendo la lógica de los modelos de regresión lineal múltiple (donde una sola variable de respuesta es planteada como resultado de múltiples variables explicativas). En él, la combinación de dos conjuntos de datos son necesarios: el primer conjunto de datos contiene las variables de respuesta (en este caso las de los rasgos fenotípicos de los chiles); el segundo conjunto de datos contiene las variables explicativas (en este caso las variables ambientales). La *redundancia* es la varianza en el conjunto de variables de respuesta explicada por el conjunto de variables explicativas. El resultado es una ordenación que se suele mostrar en una gráfica bidimensional, en donde las dimensiones constreñidas son utilizadas como ejes (Paliy y Shankar 2016).

Por lo tanto, realizamos un RDA para conocer cómo las variables de las características fenotípicas de los chiles estaban relacionadas y se ordenaban con respecto a las variables ambientales físicas y las de suelo. Lo que más nos interesaba saber era cómo se ordenaban y relacionaban unas con otras, más que la magnitud de esta relación. Las variables explicativas utilizadas fueron: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura promedio, precipitación anual, precipitación promedio altitud, porcentajes de arena, limo y arcilla, pH, sales, materia orgánica (mo) y  $\text{CaCO}_3$  de cada una de las 24 parcelas de muestreo. Las variables de respuesta utilizadas fueron altura de planta, número de frutos por planta y perímetro, ancho a la altura media y altura curva de los frutos para los 1056 frutos medidos. Ya que los análisis de redundancia son apropiados cuando las variables de respuesta tienen una relación lineal (Legendre y Legendre, 1998), el número de frutos, que es un conteo, lo utilizamos con logaritmo.

También hicimos algunas pruebas de correlación de Spearman para conocer las relaciones entre las distintas variables socioeconómicas y tener una idea de cómo estas variables estaban comportándose. Éstas las hicimos utilizando el paquete *corrplot* (Wei y Simko, 2017) para R.

## IV. Resultados

### 4.1 Variedades de *Capsicum annuum* encontradas

Encontramos cinco variedades de chiles de la especie *Capsicum annuum* en la Cañada, siete en los Valles Centrales, nueve en la Costa y seis en el Istmo (cuadro 4.1). En total 22 variedades diferentes.

Cuadro 4.1 Variedades encontradas en cada una de las regiones de estudio.

Cañada	Valles Centrales	Costa	Istmo
Achilito	De agua	Costeño	Chocolate
Cascabel	De árbol	De monte	De monte
De monte	Jalapeño	Mirasol	Guiña danhi
Chiltepe	Nanchita	Nanche	Payaso
Huacle	Piquín	Nanchita	Tusta
	Solterito	Piquín	Zopilote
	Taviche	Puya	
		Serrano	
		Tusta	

Sin embargo, para considerar las variedades dentro del estudio utilizamos sólo aquellas variedades de las que tuvimos más de 10 frutos en total por variedad y al menos cinco plantas. Las variedades que quedaron fuera del estudio bajo este criterio fueron: cascabel y el chile de monte, de la Cañada; nanchita y serrano de la Costa; chocolate y payaso del Istmo y jalapeño de Valles Centrales. El piquín se repite en los Valles Centrales y la Costa y el chile de monte se repite en la Costa y el Istmo, por lo que en total trabajamos con 17 variedades distintas (Cuadro 4.2). El chile de monte pertenece a la variedad *C. annuum* var *glabriusculum* y el resto a *C. annuum* var *annuum*.

Cuadro 4.2. Variedades finales con las que trabajamos.

Cañada	Valles Centrales	Costa	Istmo
1. Achilito	1. De agua	1. Costeño	1. De monte
2. Chiltepe	2. De árbol	2. De monte	2. Guiña danhi
3. Huacle	3. Nanchita	3. Mirasol	3. Tusta
	4. Piquín	4. Nanche	4. Zopilote
	5. Solterito	5. Piquín	
	6. Taviche	6. Puya	
		7. Tusta	

De las 17 variedades estudiadas de *C. annuum*, encontramos el chile de monte (*C. annuum* var *glabriusculum*) en la Costa y el Istmo, y una planta en la Cañada que quedó fuera del estudio por no

haber podido recolectar frutos ni tomarle medidas a la planta. Sin embargo, sabemos que las distintas formas de *C. annuum* var *annuum* conviven con su pariente silvestre en estas tres regiones, lo cual permite dos cosas. La primera es que dada esta distribución, en principio puede haber cruza entre los individuos de *C. annuum* var *glabriusculum* y *C. annuum* var *annuum*, lo cual puede contribuir a la diversidad genética de las variedades locales en estas regiones (Gepts y Papa, 2002). En segundo lugar, el chile de monte es manejado y usado constantemente, lo cual explica la presencia de todas las variedades *semisilvestres* en estas dos regiones. Las cuatro variedades *semidomesticadas* las encontramos en la Cañada y los Valles Centrales. Por último, las mayor cantidad de variedades *domesticadas* las encontramos en los Valles Centrales, aunque éstas las encontramos en las cuatro regiones.

#### **4.2 Descripción general de las variedades de chile**

Realizamos una ficha que resume las condiciones ambientales y algunas características del manejo agrícola bajo las cuales encontramos cada una de las variedades. En ellas presentamos los promedios de los rasgos fenotípicos medidos (altura de la planta, número de frutos por planta, y perímetro, ancho a la altura media y longitud curva de los frutos) y su coeficiente de variación. Finalmente, en las fichas mostramos un mapa con las localidades en donde fue encontrada cada una de las variedades y una foto de la variedad (Apéndice 5).

##### *Generalizaciones de las condiciones socioeconómicas*

De acuerdo a la información que recabamos en las entrevistas, dentro de una misma región, las variedades que se elige sembrar son las que mejor precio tienen en el mercado, ya sea local, regional o nacional. Los mercados que concentran la mayor parte de la venta son los de las grandes poblaciones cercanas a cada región:

- Cañada: Tehuacán (Puebla), Nochixtlán y la ciudad de Oaxaca.
- Valles Centrales: la ciudad de Oaxaca, Zaachila, Zimatlán, Ejutla de Crespo y Tlacolula.
- Costa: Pinotepa Nacional, Puerto Escondido y Pochutla
- Istmo: Juchitán y Tehuantepec.

En cuanto al manejo, el nivel de intensificación fue dividido en cuatro categorías: parcela en monocultivo, parcela en policultivo, solar y traspatio. Los niveles de intensificación más comunes vistos en campo fueron las parcelas en monocultivo y en policultivo (Cuadro 4.4). Todos tienen riego

todo el año o al menos en la temporada de secas, excepto para el chile de monte, que es cuidado y protegido por los campesinos, más no sembrado (es decir, es una arvense) en las orillas de las parcelas o los acahuals, y el chiltepe, de la Cañada, que solamente se siembra en temporada de lluvias. La mayoría de las variedades de chile que encontramos tienen muchas plagas. Notamos que las plagas de los chiles son muy fuertes y su presencia e intensidad parecen depender mucho del número de plantas que se tiene y del grado de domesticación de las variedades. Es decir, las formas más silvestres tienen muy pocas plagas, mientras que las variedades más domesticadas presentan una gran variedad de plagas. Los productores que tienen este problema usan plaguicidas para combatirlas. En todos los casos, en la siembra del chile no se usa maquinaria, se hace a mano.

Los productores de chile comentaron que intercambian poco las semillas y esto se puede deber a que muchos de ellos son celosos con su semilla, fueron pocas las ocasiones en las que nos informaron que sí regalan sus semillas para que otros empiecen a producir chile, o que las intercambian con otros productores. En casos como el del chile huacle de la Cañada, son realmente pocas las familias que tienen semillas de variedad local de chile y, según nos cuentan, hace algunos años éstas estuvieron a punto de perderse por completo.

### **4.3 *Los rasgos fenotípicos y las condiciones ambientales***

Las condiciones ambientales en las que encontramos a las distintas variedades de *Capsicum annuum* están sintetizadas en el Cuadro 4.3. Las encontramos en altitudes que van de los 11 hasta los 1715 m s.n.m., temperaturas mínimas que van de los 11.9 a los 23.2 °C, temperaturas máximas que van de los 24.4 a 35.2 °C y temperaturas promedio que van de los 20.9 hasta los 28.4 °C. En cuanto a la precipitación, encontramos chiles que crecen con una precipitación promedio que va desde los 66.5 hasta los 185.66 mm, y con una precipitación anual que va de los 442 a los 1472 mm. Es importante aclarar que todas las variedades encontradas, excepto el chiltepe y el chile de monte, reciben agua de riego en caso de necesitarla (Fig. 4.6)

Con respecto a los suelos, las texturas predominantes en las que encontramos a los chiles fueron las franco arcillosas (CA) y francas (C) (Cuadro 4.3). El pH de éstos varió de entre 5.81 y 7.95, aunque el 60 % de ellos tuvieron un pH ligeramente alcalino (entre 7.13 y 7.95). Con respecto a la conductividad eléctrica (C.E.) ésta varió entre 0.054 y 0.380 dS/m, con excepción de un sitio en el que encontramos el chile huacle en la Cañada, cuya C.E. fue de 2.635 dS/m. El porcentaje de materia orgánica (m.o.) encontrado en los perfiles de suelo realizados varió entre 0.54 y 5.97 %, y, finalmente, el porcentaje de carbonatos no fue mayor a 0.7 % en ninguno de los casos, excepto en un sitio en los

Valles Centrales, en donde encontramos chiles piquín, nanchita y solterito, en donde hubo 2.72 % de éstos.

Cuadro 4.3. Condiciones ambientales y características del suelo de los sitios en los que encontramos *Capsicum annuum*. VC= Valles Centrales, AC=arenosa franca, CRL=franco arcillo limosa; RL=arcillo limosa, C=franca, CA=franco arenosa, CL= franco limosa, CR=franco arcillosa, CRA=franco arcillo arenosa C.E.=conductividad eléctrica, m.o.=materia orgánica.

Región	Sitio	Varietades	Altitud (m s.n.m.)	Temp. min. (°C)	Temp. máx. (°C)	Temp. prom. (°C)	Prec. prom. (mm)	Prec. anual (mm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura	pH	C.E. (dS/m)	m.o (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
Cañada	Chil1	Achilito, huacle	666	18.4	30.9	24.6	70.5	493	5	15	80	AC	7.64	0.240	2.32	0
Cañada	Cui1	Huacle	651	18.2	30.6	24.4	82.33	575	35	55	10	CRL	7.42	0.139	1.01	0.64
Cañada	Cui3	Achilito, huacle	590	19.4	31.7	25.5	72.33	496	35	51	14	CRL	7.75	0.143	0.72	0.69
Cañada	Cui5	Huacle	874	16.7	30.6	23.7	65.5	465	42	40	18	RL	7.13	2.635	1.12	0.36
Cañada	Poch2	Chiltepe	1365	13.7	26.1	19.9	185.66	1305	24	46	30	C	7.77	0.187	5.97	0
Costa	Carr1	Costeño	22	21.7	35.2	28.4	231	1472	29	56	15	CRL	5.98	0.261	0.81	0.03
Costa	Coy1	Piquín, tusta	18	21.8	33.6	27.6	65.83	442	5	15	80	AC	6.66	0.146	0.8	0.07
Costa	Guz1	Tusta	133	20.2	32.9	26.5	137.5	911	12	23	65	CA	7.63	0.140	1.28	0.06
Costa	Guz2	Nanche, mirasol, tusta	130	20.3	33	26.6	133.66	884	19	46	35	C	5.81	0.054	0.54	0
Costa	Guz3	Mirasol	129	20.3	33	26.6	133.66	884	16	63	22	CL	6.78	0.116	1.01	0.01
Costa	Guz4	Costeño, tusta	147	20.2	32.9	26.5	137.5	911	23	48	29	C	6.66	0.314	3.81	0.01
Costa	Juand2	De monte	121	20.8	33.3	27	122.66	810	30	41	29	CR	6.92	0.089	2.84	0.07
Costa	Tom1	Costeño, tuya	25	21.3	34.3	27.8	122.83	815	16	37	47	C	6.9	0.237	4.1	0
Costa	Tom4	Costeño	11	21.5	34.4	27.9	125.5	832	18	33	49	C	6.37	0.101	0.74	0.11
Costa	Tom5	Piquín	11	21.4	34.4	27.9	125.83	834	24	29	48	CRA	7.49	0.380	1.36	0.11
VC	Guel1	Piquín, nanchita, solterito	1715	11.9	25.5	18.7	98.33	717	35	34	31	CR	7.9	0.274	2.33	2.72
VC	Sand1	Taviche	1678	13.1	25.4	19.2	76	567	18	41	41	C	7.85	0.149	2.11	0.08
VC	Vig1	De agua	1562	14.1	27.9	21	97.83	726	45	5	50	CR	7.18	0.186	0.97	0
VC	Zaach1	De árbol	1518	14	27.8	20.9	91.33	672	29	50	21	CR	7.82	0.143	1.3	0
VC	Zaach2	De monte, nanchita, solterito	1507	14.1	27.8	20.9	91	670	35	34	31	CR	7.86	0.220	1.47	0.22
VC	Zaach3	Solterito	1523	14	27.9	20.9	92.66	683	35	34	31	CR	7.95	0.145	1.48	0.1
Istmo	Rll1	Guiña danhi	14	23.2	32.8	28	138.83	904	35	34	31	CR	7.35	0.307	1.55	0.1
Istmo	Rll2	Zopilote	28	23.2	32.9	28	140.66	915	35	34	31	CR	7.64	0.373	1.87	0.04
Istmo	Sdi1	De monte	29	22.7	31.6	27.1	143.66	947	35	55	10	CRL	6.82	0.143	1.51	0.05

Para conocer cómo se relacionaban las variables ambientales y de suelo (variables explicativas) con las variables fenotípicas (variables de respuesta) hicimos un análisis de redundancia, o RDA, por sus siglas en inglés (Figura 4.1). Las distancias entre los objetos son las aproximaciones de sus distancias euclidianas. Las variables explicativas se explican de la misma manera que en un análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés), en donde los objetos se ordenan de acuerdo a la similitud de sus valores (Legendre y Legendre, 1998; Zelditch et al 2004). Por otro lado, las relaciones entre las variables de respuesta y las explicativas en el RDA no se miden con respecto a sus proximidades, sino que la proyección de cada una de las variables de respuesta en ángulo recto sobre las distintas variables explicativas es una aproximación de la relación entre ambas (Legendre y Legendre, 1998).

Así, podemos ver (Figura 4.1) que en cuanto al número de frutos de *Capsicum annuum*: 1) hay una relación positiva con las temperaturas máxima, mínima y promedio, las precipitaciones anual y

promedio y los porcentajes de arena y de limo; 2) no hay relación con la materia orgánica (mo) y 3) hay una relación negativa con respecto a los carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ), la altitud, el porcentaje de arcilla, el pH y las sales.

En cuanto al perímetro, el ancho a la altura media y la altura curva de los frutos, podemos ver que: 1) hay una relación positiva con los carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ), el porcentaje de arcilla, el pH y las sales y 2) hay una relación negativa con las temperaturas máxima, mínima y promedio, las precipitaciones anual y promedio y el porcentaje de arena en el suelo. Hay una relación negativa entre el ancho a la altura media de los frutos y el porcentaje de limo en el suelo, y parece no haber relación entre el perímetro y la altura curva de los frutos con respecto al porcentaje de limo.

Con respecto a la materia orgánica, hay una relación positiva con el perímetro de los frutos, la altura curva de los frutos y el número de frutos, una relación negativa con la altura de las plantas y no hay relación con el ancho a la altura media de los frutos (Figura 4.1).

Finalmente, la altura de las plantas tiene: 1) una relación negativa con las sales, la materia orgánica, las precipitaciones promedio y anual y el limo; 2) una relación positiva con la arena, la temperatura máxima, el porcentaje de arcilla y los carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) y 3) parece no haber relación ni con las temperaturas mínima y promedio y el pH.

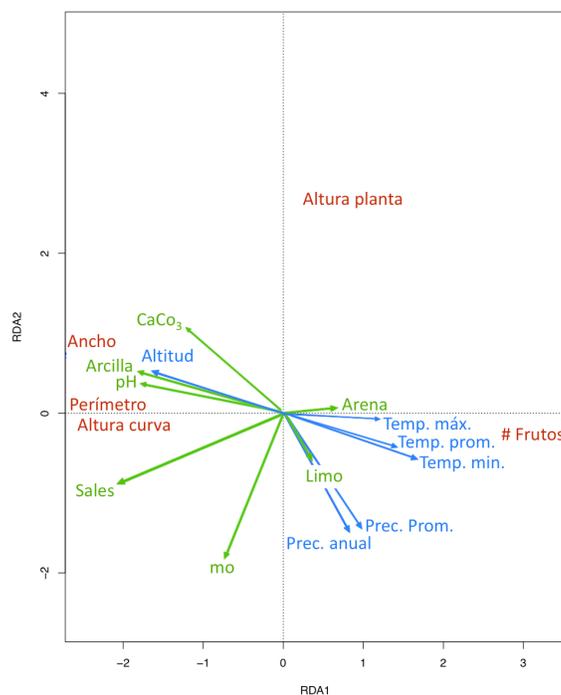


Figura 4.1. Análisis de redundancia (RDA) de las variables ambientales y de suelo (variables explicativas) y las variables fenotípicas de las variedades de Chile (variables de respuesta). Las variables ambientales se muestran en color azul, las de suelo en color verde y las fenotípicas en color rojo.

#### 4.4 Relaciones entre las características socioeconómicas

Para poder conocer algunas relaciones entre las prácticas de manejo y las distintas formas de consumo y la manera en la que éstas estaban asociadas, calculamos correlaciones de Spearman, las cuales se pueden ver representadas en la Figura 4.2.

De todas las correlaciones mostradas, es importante resaltar que hay una correlación negativa entre la siembra en traspatio y la venta en mercados regionales ( $\rho = -0.49$ ,  $p = 0.002$ ), la presencia de plagas ( $\rho = -0.49$ ,  $p = 0.002$ ) y el uso de plaguicidas ( $\rho = -0.49$ ,  $p = 0.002$ ). Por otro lado, hay una correlación positiva entre la siembra en parcelas en policultivo y la venta de los chiles en los mercados locales ( $\rho = 0,58$ ,  $p = 0.0004$ ), la presencia de plagas ( $\rho = 0.45$ ,  $p = 0.007$ ) y el uso de plaguicidas ( $\rho = 0.45$ ,  $p = 0.007$ ).

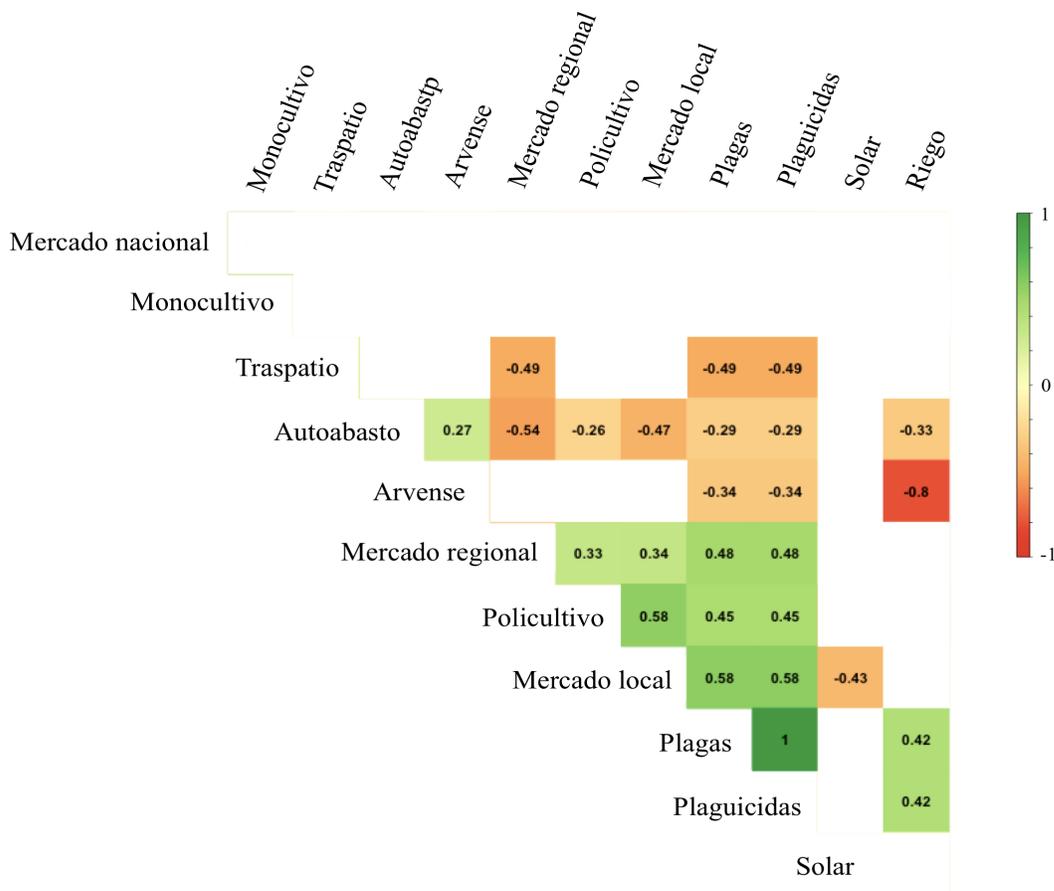


Fig. 4.2. Coeficientes de correlación de Spearman ( $\rho$ ) entre las variables de manejo y de consumo. Sólo se muestran los valores significativos. Los colores naranjas están asociados a las relaciones negativas y los colores verdes a las relaciones positivas. En ambos casos, conforme más obscuro es el color, más fuerte es la relación entre las variables.

Observamos correlaciones negativas entre la siembra de chile para autoabasto y su venta en los mercados regionales y locales ( $\rho = 0.54$ ,  $p = 0.001$  y  $\rho = -0.47$ ,  $p = 0.005$  respectivamente), al igual que con la presencia de plagas y el uso de plaguicidas ( $\rho = -0.29$ ,  $p = 0.000$  en ambos casos). Por otro lado,

observamos correlaciones positivas entre la venta de los chiles en mercados locales y la presencia de plagas y el uso de plaguicidas ( $\rho = 0.58$ ,  $p = 0.0003$  en ambos casos), y entre la venta de los chiles en los mercados regionales y la presencia de plagas y uso de plaguicidas ( $\rho = 0.48$ ,  $p = 0.004$  en ambos casos). Finalmente, hay una correlación positiva entre la presencia de plagas y el uso de plaguicidas ( $\rho = 1$ ,  $p = 0$ ).

Todas las relaciones mostradas en la Figura 4.2 son relaciones estadísticamente significativas, considerando un valor de  $p \leq 0.05$ . Sin embargo, ya que la misma hipótesis se repite varias veces (11), la probabilidad de cometer un error de Tipo 1 aumenta (suponer que lo que vemos no se debe al azar, cuando en realidad sí) (Zelditch, 2004). Por lo tanto, aplicamos la corrección de Bonferroni, con la cual el valor de  $\alpha$  se divide entre el número de pruebas realizadas ( $0.05/11$ ), por lo que consideramos un valor de significancia de  $p \leq 0.0045$ . Tomando en cuenta esto, todas las correlaciones mencionadas son significativas, excepto la correlación entre la siembra en policultivo y la presencia de plagas ( $\rho = 0.45$ ,  $p = 0.007$ ) y la correlación entre siembra en policultivo y el uso de plaguicidas ( $\rho = 0.45$ ,  $p = 0.007$ ).

Al analizar estas correlaciones con los distintos grados de domesticación de los chiles, podemos empezar a conocer algunos patrones entre las variables socioeconómicas estudiadas y los distintos tipos de chiles.

#### ***4.5 El consumo y el manejo de los chiles en el proceso de selección y de siembra***

De acuerdo con los productores que entrevistamos, los frutos que suelen buscar son los más grandes, por lo que las semillas que se guardan son las de los frutos de mayor tamaño. La mayoría de los campesinos selecciona los frutos desde la planta (selección a pie de planta), y elige los frutos de las plantas más grandes y menos afectadas por las plagas. Unos pocos cosechan todos los frutos juntos y posteriormente eligen los frutos de los que sacarán semillas después de la cosecha, sin importar de qué planta provengan (selección post-cosecha).

Las entrevistas revelaron que la selección de los frutos de los cuales se guarda semilla también depende mucho de si la producción será destinada mayormente a su venta en el mercado o al autoabasto. Lo que más varía en la selección, dependiendo de si el producto está destinado a su venta o al autoabasto, es la importancia que se le da a buscar la forma deseada del fruto. En general, se buscan las formas más características de las variedades, pero cuando la producción está destinada para la venta, obtener las formas establecidas o formas más típicas es imprescindible. Las variedades de las que más se espera un color o una forma determinados son: el huacle de la Cañada, el de agua de los Valles Centrales, el costeño y el tusta de la Costa y el guiña danhi del Istmo. Del huacle se busca que

tenga la forma acampanada típica de este chile, sobre las formas más alargadas y cuadradas (Figura 4.3). En el chile de agua se busca que sean grandes y con la punta larga (Figura 4.3). Los frutos del chile costeño pueden ser amarillos o rojos. Hay quienes le dan un mayor valor a los frutos amarillos, pero en general los campesinos con los que platicamos buscaban que todos los frutos fueran rojos (Figura 4.3). Del guiña danhi se busca que los frutos tengan una forma “bolsadita”, en contraparte con los frutos alargados (Figura 4.3).

Finalmente, el chile tusta puede tener frutos verde oscuro o verde claro. Los frutos que se buscan son los color verde claro (Figura 4.3). En todos los casos, la explicación que nos dieron sobre por qué se buscaban estas formas sobre las otras es que es así como mejor se vende en los distintos mercados.

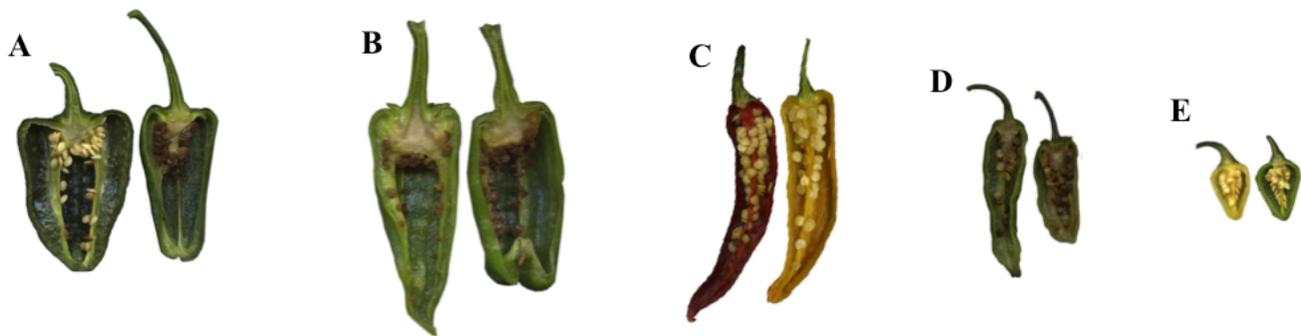


Figura 4.3. Formas buscadas de los chiles que suelen ser vendidos en los mercados. De cada pareja de chiles, el fruto de la izquierda representa la forma que suele ser buscada por los campesinos de acuerdo con las entrevistas. (A) Huacle; (B) Chile de agua; (C) Costeño; (D) Guiña danhi y (E) Tusta.

Las razones que se dan de por qué se siembran unas variedades sobre otras sugieren que esto depende de las condiciones ambientales, la facilidad de cuidado y de venta en el mercado. Por otro lado, el rasgo que se busca independientemente de si la cosecha será destinada a la venta o al autoabasto es el tamaño. En ambos casos se seleccionan los frutos de mayor tamaño.

El principal uso que se le da al chile es para la cocina. Estos usos pueden ser muchos y muy diversos, sin embargo, la mayoría de las entrevistas fueron realizadas a los productores de chile, que suelen ser hombres, y quienes tienen poca relación con la preparación de los platillos. El formato de las entrevistas, y la centralidad en la producción de chile más que en sus usos no nos permitió ahondar en la diversidad de usos culinarios.

Muchas veces los chiles se ponen a secar porque esto le permite a los campesinos venderlos a lo largo de un tiempo más prolongado y a los compradores consumirlo también en un mayor tiempo. El que se consuma el chile en fresco o en seco también depende de para qué será utilizado y parece haber mucha relación con el color del resto de los ingredientes utilizados para los guisos. Esto sucede con el

huacle y el costeño particularmente y se puede ver muy claramente en la preparación del mole, en donde dependiendo del color del mole se usan las variedades de chile cuyos frutos al madurar se tornan negros, rojos o amarillos.

En las entrevistas, los campesinos no profundizaron en la selección a partir del sabor o el picor de los chiles. Solamente en uno de los casos, Guel1 en los Valles Centrales, en donde sembraban solterito y nanchita, nos especificaron que el nanchita lo utilizaban en la comida que preparaban para los niños, ya que tiene menor pungencia y ellos no aguantan comer mucho picante, y el solterito lo utilizaban para la comida de los adultos, porque tiene mayor pungencia.

#### **4.6 Propuesta de gradiente de domesticación para las variedades encontradas**

A partir de los rasgos fenotípicos de los chiles de acuerdo con el síndrome de domesticación (Pickersgill, 2016) (Cuadro 4.4), el gradiente de domesticación que proponemos se puede ver en la Figura 4.4.

Cuadro 4.4 Propuesta de gradiente de domesticación a partir del tamaño de los frutos (promedio del perímetro), la posición de los frutos dentro de la planta y el número de colores de los frutos al madurar. A= Arvense; M= Parcela en monocultivo; P= parcela en policultivo; S= solar y T= traspatio. Au= Autoabasto; ML= mercado local; MR= mercado regional y MN= mercado nacional.

Variedad	Promedio perímetro de los frutos (cm)	Valor otorgado	Valor otorgado normalizado (valor/17)	Posición del fruto	Valor otorgado	Color	Valor otorgado	Total	Nivel intensificación	Destino de la producción
De monte	2.27	1	0.06	Erecto	0	Rojo	0	0.06	A	Au/ML
Nanche	3.12	2	0.12	Erecto	0	Rojo	0	0.12	A/P	Au/ML/MR
Zopilote	3.86	3	0.18	Erecto	0	Rojo	0	0.18	T	Au
Mirasol	4.21	4	0.24	Erecto	0	Rojo	0	0.24	A/P	Au/ML/MR
Piquín	4.88	5	0.29	Erecto	0	Rojo	0	0.29	T/S	Au/MR
Nanchita	7.91	8	0.47	Mixto	0.5	Rojo	0	0.47	S/P	Au/ML/MR
Solterito	10.80	10	0.59	Erecto	0	Rojo	0	0.59	S/P	Au/MR
Chiltepe	5.55	6	0.35	Mixto	0.5	Rojo	0	0.85	M	Au/MR
Achilito	8.94	9	0.53	Mixto	0.5	Rojo	0	1.03	S/P	Au/ML
Guiña danhi	14.85	13	0.76	Mixto	0.5	Rojo	0	1.26	M	MR
Taviche	12.85	11	0.65	Colgante	1	Rojo	0	1.65	S	Au/MR
De árbol	14.24	12	0.71	Colgante	1	Rojo	0	1.71	P	Au
Puya	20.51	15	0.88	Colgante	1	Rojo	0	1.88	M	MR
Tusta	6.46	7	0.65	Mixto	0.5	Rojo/naranja	1	1.91	T/P	Au/ML/MR
De agua	21.74	16	0.94	Colgante	1	Rojo	0	1.94	M	Au/MR
Costeño	18.44	14	0.82	Colgante	1	Rojo/amarillo	1	2.82	P/M	ML/MR
Huacle	21.92	17	1	Colgante	1	Rojo/amarillo/negro	1	3	S/M	Au/ML/MR/MN



Figura. 4.4. Gradiente de domesticación propuesto para las variedades de *Capsicum annuum* encontradas en la regiones de estudio del estado de Oaxaca: 1. Chile de monte, 2. Nanche, 3. Zopilote, 4. Mirasol, 5. Piquín, 6. Nanchita, 7. Solterito, 8. Chiltepe, 9. Achilito, 10. Guiña danhi, 11. Taviche, 12. Chile de árbol, 13. Puya, 14. Tusta, 15. Chile de agua, 16. Costeño y 17. Huacle.

Posteriormente, hicimos un análisis de componentes principales, o PCA por sus siglas en inglés, para explorar cómo se agrupan y ordenan las distintas variedades de chile de acuerdo con los rasgos fenotípicos medidos, es decir: el perímetro, el ancho a la altura media y la longitud curva de los frutos y la altura y el número de frutos de las plantas (Figura 4.5). La primera dimensión explica el 59.5 % de la variación de los datos y las variables que más peso tienen son las características de los frutos: el perímetro, el ancho y la longitud curva de los frutos. La segunda dimensión explica el 20 % de la variación de los datos y la variable que más peso tuvo fue la altura de las plantas.

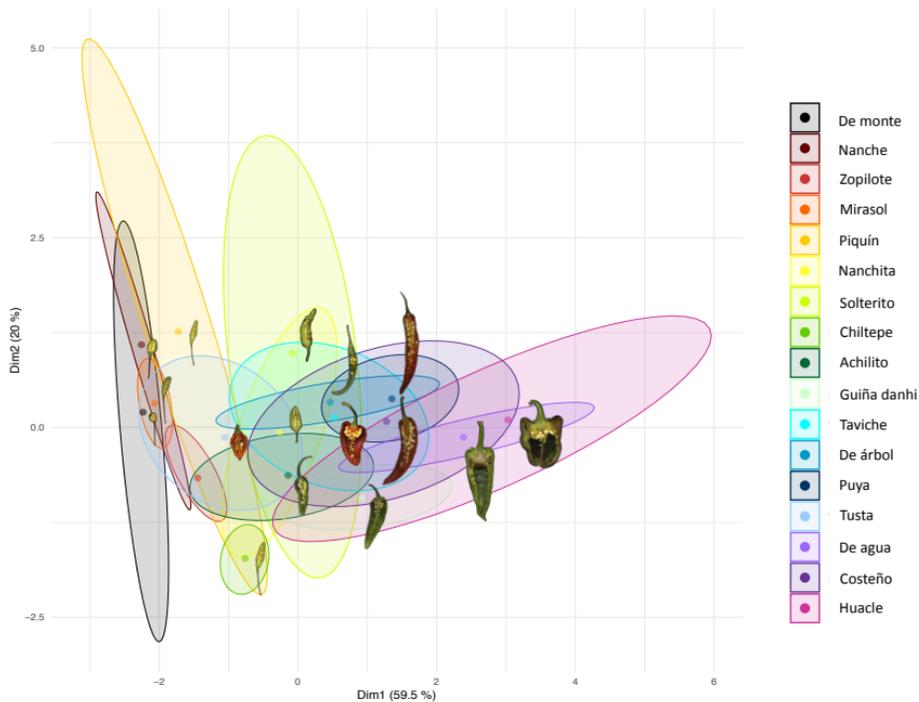


Figura. 4.5. Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) de las características fenotípicas medidas para cada una de las variedades de chile. Las fotos del fruto de cada variedad incluidas en esta figura se colocaron cerca del centroide correspondiente y no están en la misma escala.

Con este gradiente de domesticación intentamos representar y darle un orden a las variedades encontradas a partir de los rasgos fenotípicos característicos del síndrome de domesticación de *Capsicum annuum*. Como dijimos antes, esto no significa que pensemos que la domesticación sea una línea continua progresiva que va, en este caso, desde la variedad silvestre, el chile de monte, hasta el más domesticado, el chile huacle. Por el contrario, hay variedades que pueden tener grados de domesticación muy parecidos entre sí. Al tomar este gradiente como base y complejizarlo con un análisis integral de las características de manejo y consumo, identificamos las siguientes cuatro principales categorías de domesticación para las variedades: *silvestre*, *semisilvestre*, *semidomesticado* y *domesticado*. A continuación exponemos las características que comparten algunas variedades y a partir de las cuales sugerimos las cuatro categorías. Se puede ver un resumen de las características de manejo y uso de la producción (autoabasto o comercialización) en la Figura 4.6.

### *Descripción de las variedades a partir del gradiente de domesticación y las categorías propuestas*

#### Chile de monte

Esta variedad la encontramos en la Costa y el Istmo. Sus frutos son pequeños (2.27 cm de perímetro en promedio), redondos y al madurar son siempre rojos. La posición de éstos es erecta. Suele ser usado principalmente para el autoabasto familiar, aunque algunos lo colectan para posteriormente venderlo en el mercado local. Lo encontramos en las orillas de los campos de cultivo o los acahuales. No suele ser regado y, aunque puede tener herbívoros, éstos no se consideran plagas (Fig. 4.6). Ésta es la variedad silvestre, *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*, y por lo tanto la ubicamos en la categoría de *silvestre* en el gradiente de domesticación propuesto.

#### Nanche, zopilote, mirasol y piquín

Estas variedades las encontramos sobre todo en la Costa y el Istmo. El chile piquín lo encontramos también en los Valles Centrales. Las cuatro variedades tienen frutos erectos con un perímetro que en promedio no pasa los 5 cm, y se usan sobre todo para el autoabasto familiar, aunque a veces se venden en los mercados locales y regionales. Las encontramos en los traspacios de las casas, en donde se siembra o cuida una o dos plantas cuando mucho. También las encontramos en las orillas de las parcelas en policultivo o de los solares, cuidadas o sembradas en pequeñas cantidades (no más de tres plantas). Siempre las encontramos con riego y sin plagas aparentes, por lo que no requieren el uso de plaguicidas (Fig. 4.6). A estas variedades les otorgamos la categoría de *semisilvestre* en el gradiente de domesticación propuesto, pues se parecen más a la forma silvestre de esta especie tanto en su

morfología como en sus características de crecimiento, manejo y uso. Sobre todo, estas variedades tienen frutos pequeños y erectos, se siembran o cuidan pocas plantas y su principal uso es para el autoconsumo familiar.

#### Nanchita, solterito, chiltepe y achilito

Estas variedades las encontramos en la Cañada (chiltepe y achilito) y en los Valles Centrales (nanchita y solterito). A estas variedades las distingue que el promedio del tamaño de sus frutos va entre 5.55 cm y 10.80 cm, es decir, son mayores que los frutos de los que consideramos *semisilvestres*. Además, la posición de los frutos de estas variedades es mixta (excepto el nanchita y el solterito, cuya posición de los frutos es siempre erecta). Es muy diversa la forma en la que se utilizan y manejan estas variedades. Todas las variedades son particularmente importantes para el autoabasto, aunque también es importante su comercialización, pues encontramos que todas se venden ya sea en los mercados locales (nanchita, solterito y achilito) o en los mercados regionales (nanchita, solterito y chiltepe). Estas variedades las encontramos en los solares (nanchita y solterito), parcelas en policultivo (nanchita, solterito y achilito) y sólo en un caso, en parcelas en monocultivo (chiltepe). Todas estas variedades, excepto el chiltepe, se hallaron bajo algún sistema de riego. Estas variedades suelen tener pocas plagas (nanchita, solterito y achilito) o ninguna (chiltepe), y la aplicación de plaguicidas es poco frecuente (Fig. 4.6). A estas variedades les otorgamos la categoría de *semidomesticados* pues sus frutos suelen ya ser más grandes, con algunos frutos colgantes y otros erectos. Además, aunque todas las variedades son utilizadas para el autoabasto familiar, su comercialización comienza a ser más importante que la de los *semisilvestres* o *silvestres*. Asimismo, su manejo también es distinto al de la categoría anterior pues el número de plantas que se siembra de cada una de estas variedades fue siempre mayor a cinco plantas, y en el caso del chiltepe, más de 30. Además, estas variedades presentan una mayor cantidad de plagas y el uso de plaguicidas es mucho más frecuente.

#### Guiña danhi, taviche, de árbol, puya, tusta, de agua, costeño y huacle

Estas variedades crecen en la Cañada (huacle), Costa (puya, tusta y costeño), en el Istmo (guiña danhi y tusta) y los Valles Centrales (taviche, de árbol y de agua). Estas variedades tienen en promedio frutos que van de entre 6.46 cm y 21.92 cm. Todas estas variedades, excepto el tusta (el cual se ha visto que suele comportarse de manera particular<sup>2</sup>), cuyo promedio del perímetro de sus frutos es de 6.46 cm, tienen frutos grandes. Considerando esto, el resto de los frutos tienen en promedio un perímetro de

2 Ver Pérez Martínez (2018). Lo retomaremos en el capítulo de discusión de este trabajo.

entre 12.88 y 21.92 cm. Además, excepto el guiña danhi y el tusta, que tiene algunos frutos erectos y otros colgantes (mixtos), todos tienen frutos colgantes. Vimos que estas variedades son principalmente producidas para su comercialización. Algunos son vendidos en el mercado local (tusta, costeño y huacle) y todos, excepto el chile de árbol, son vendidos en los mercados regionales. El huacle, además, se puede encontrar en unos pocos mercados y en platillos preparados en restaurantes en la Ciudad de México. Además, también suelen ser utilizadas para autoabastecer a las familias que lo producen. Estas variedades las encontramos principalmente en parcelas en monocultivo, excepto el taviचे, el cual encontramos en un solar, y el chile de árbol, que encontramos en una parcela en policultivo. También encontramos el tusta y el costeño en parcelas en policultivo. En una ocasión encontramos también al huacle en un solar y en otra ocasión al tusta en un traspatio. Estas variedades tienen riego todo el año, o al menos en temporada de secas. Suelen tener muchas plagas por lo que el uso de plaguicidas se da en todos los casos excepto con el chile de árbol y con el tusta sembrado en el traspatio. El único caso en el que no vimos la presencia de plagas y por lo tanto no se usaba plaguicida fue con el chile de árbol (Fig. 4.6). Por las características de los frutos (grandes y la mayoría colgantes), la importancia de su comercialización y las condiciones de manejo (sembrados principalmente en parcelas en poli o en monocultivo, la presencia alta de plagas y el uso frecuente de plaguicidas), otorgamos a estas variedades la categoría de *domesticados*. El chile tusta, a pesar de tener frutos pequeños en posición mixta, entra en esta categoría ya que presenta más de un color en la maduración, rasgo importante dentro del síndrome de domesticación.

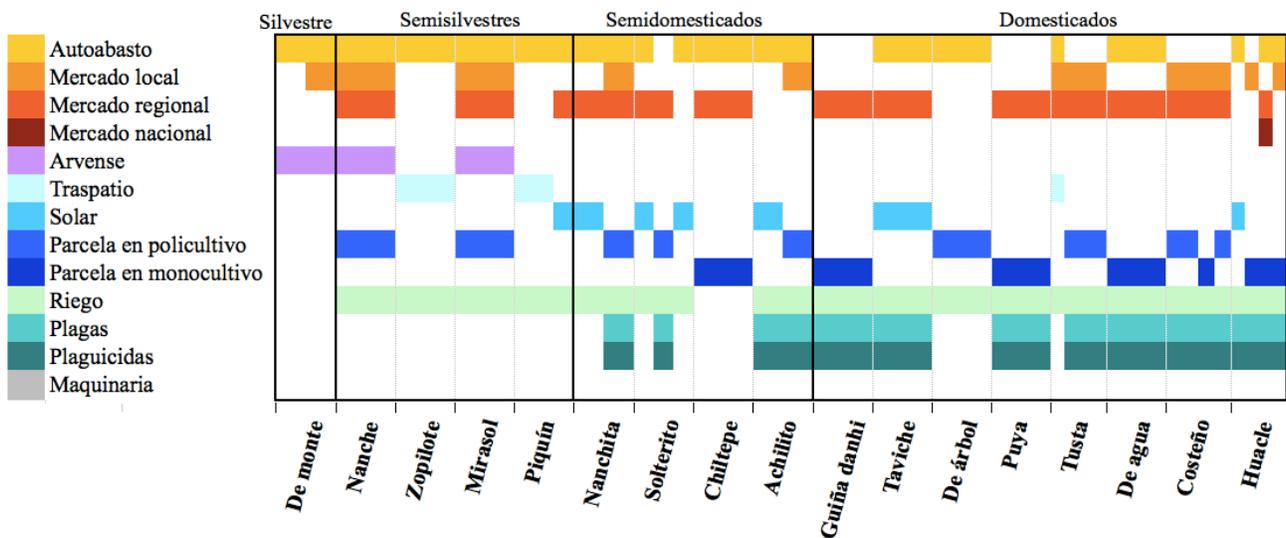


Figura. 4.6. Síntesis de las características socioeconómicas asociadas a cada una de las variedades por grado de domesticación.

## V. Discusión

### 5.1 *Las variedades de Capsicum annuum*

Dos de los sitios donde se han encontrado algunos de los restos arqueológicos más antiguos de *Capsicum annuum* son las cuevas de Coxcatlán, en el Valle de Tehuacán y las cuevas de Guilá Naquitz en los Valles Centrales de Oaxaca (Perry y Flannery, 2007; Kraft *et al.*, 2014), ambos sitios muy cercanos a nuestras zonas de estudio. De las más de 100 variedades locales que se tienen registradas de esta especie en México, podemos encontrar más de 25 en el estado de Oaxaca (López López y Castro García, 2007; Castellón Martínez *et al.*, 2014). Nosotros estudiamos 17 tipos de *C. annuum*, de los cuales 16 corresponden a *C. annuum* var *annuum* (en este trabajo llamadas variedades locales) y uno a la variedad silvestre *C. annuum* var *glabriusculum* (Cuadro 4.2).

Al hablar de variedades locales hay que ser cautelosos, pues entre otras cosas, existen muchas definiciones de ellas (Zeven, 1998). En particular nos parece importante resaltar dos cuestiones. La primera es que una de las características que suele asociarse con las variedades locales es que tengan un origen histórico y geográfico determinado (Camacho Villa *et al.*, 2005). Sin embargo, de la misma manera que no hay un consenso sobre el tiempo que debe de ser cultivada una variedad para ser considerada variedad local, tampoco lo hay con respecto a la escala de su origen geográfico. Es decir, esta cuestión seguramente cambiará de caso en caso, pero no está establecido si una variedad local debe tener un origen geográfico con respecto a una localidad, a una región (un estado de un país, por ejemplo) o a un centro de origen (el cual, además, puede ser difuso, como es el caso de *C. annuum* dentro de Mesoamérica). La segunda cuestión importante es que para que una variedad local sea considerada como tal, debe tener una identidad reconocible, con rasgos distinguibles y nombres específicos. Sin embargo, en muchas ocasiones, algunas variedades que comparten muchas características, o cuyos fenotipos se traslapan en algunos rasgos a causa de la plasticidad, pueden recibir distintos nombres a lo largo de todo el país o incluso dentro de una misma región. Esto último es, hasta cierto punto, un elemento de continuidad con los nombres comunes que las taxonomías populares dan a las plantas y animales en diferentes regiones de un país tan diverso como México. También puede suceder que algunas variedades locales con características muy distintas entre sí reciban el mismo nombre en diferentes regiones (Camacho Villa *et al.*, 2005). En el caso de *Capsicum annuum*, ambas situaciones son comunes, sobre todo para las variedades locales más parecidas a la variedad silvestre, aquí denominadas *semisilvestres* (Figuras 4.4, 4.5 y 4.6).

Para nosotras las variedades locales son aquellas poblaciones de plantas domesticadas (con distinto grado de domesticación) que están adaptadas localmente tanto a los contextos ambientales y culturales, que son nombradas y manejadas (bajo distintos niveles de intensidad) por campesinos, y las cuales presentan una alta variación genética y fenotípica (Brush 2004). En este trabajo, las 16 variedades de *C. annuum* var *annuum* estudiadas (Cuadro 4.2) son consideradas variedades locales.

Con respecto a las características de las variedades locales de acuerdo con Camacho Villa y colaboradores (2016), de las 16 variedades, solamente el chile de árbol y el puya no son variedades endémicas de la región de Oaxaca y de ambas hay registro de tener mejoramiento genético formal (es decir, mejoramiento llevado a cabo por técnicos en centros de investigación agrícola) (INIFAP, 2006). Con respecto al chile huacle, los pocos campesinos que aún siembran esta variedad en la Cañada de Oaxaca, dicen que una de las razones por las que ya no es rentable sembrar chile huacle es que los precios han bajado drásticamente en los últimos años debido a la siembra masiva (y posiblemente a través de mejoramiento genético formal) de esta variedad en los estados del norte del país.

Por otro lado, todas las variedades tienen una identidad reconocible y son nombradas por los campesinos, aunque algunas de ellas, como el de monte y el nanche, el zopilote y el mirasol o el mirasol y el piquín puedan compartir muchas características entre sí. También, a pesar de que la domesticación invariablemente signifique un cuello de botella de la diversidad genética con respecto a su pariente silvestre (Gepts y Papa, 2002), las variedades domesticadas de *C. annuum* del estado de Oaxaca contienen una alta diversidad genética (Pérez Martínez, 2018), sobre todo si las comparamos con algunas otras especies, como por ejemplo, el maíz (Doebley *et al.*, 2006).

Finalmente, ya que todos los chiles estudiados, excepto el chile de árbol y el puya, son de Oaxaca, están adaptados a las condiciones ambientales y las prácticas de manejo locales. En muchas ocasiones hay interés de sembrar algunas de las variedades más comerciales de las distintas regiones. Tal es el caso del chile huacle y el chile de agua. Sobre todo, algunos de los campesinos entrevistados de los Valles Centrales y de la Costa dijeron haber intentado sembrar chile huacle sin éxito. De igual manera, algunos campesinos de la Costa dijeron estar interesados y haber intentado sembrar chile de agua por su alto precio en el mercado, pero haber fracasado. Así, las principales razones que dan los campesinos de sembrar las variedades que siembran es porque crecen bien en sus parcelas (bajo unas condiciones ambientales y de manejo determinadas) y, en muchos casos, por ser las que se venden mejor en el mercado (ya sea local o regional).

Es importante mencionar que algunas de las variedades que quedaron fuera del estudio (Cuadro 4.1) son variedades locales oaxaqueñas. Tal es el caso del chile chocolate y el chile payaso, ambos característicos de la región Istmo de Oaxaca. Los estudios sobre domesticación de *C. annuum* son

particularmente interesantes en el estado de Oaxaca, pues debido a su heterogeneidad ambiental y diversidad cultural, hoy en día podemos encontrar un gran número de variedades locales.

## **5.2. Rasgos fenotípicos y ambiente**

*Capsicum annuum* no sólo llama la atención por su enorme diversidad morfológica, sino también por la gran variedad de ambientes en los que crece (Cuadro 4.3). Una manera de ver la relación entre las variables fenotípicas de *Capsicum annuum* y las condiciones ambientales en las que crece es a través de un análisis de redundancia (RDA por sus siglas en inglés) (Figura 4.1). Éste mostró que hay una relación positiva entre el número de frutos de las variedades de *C. annuum* y las variables ambientales (excepto la altitud), así como una relación negativa entre el número de frutos y las variables del suelo (excepto los porcentajes de arena y limo). Por el contrario, hay una relación positiva entre las tres características morfológicas de los frutos (perímetro, ancho a la altura media y la altura curva) y la mayoría de las variables del suelo (excepto la arena), y una relación negativa entre las características morfológicas de los frutos y las variables ambientales.

Con respecto a las temperaturas (máxima, mínima y promedio) y las precipitaciones (anual y promedio), utilizamos los datos de WorldClim de los años de 1960 a 1990 correspondientes a los meses de junio a noviembre, que son los meses en los que se suele sembrar chile en Oaxaca. Debido a que aún dentro de una misma localidad, las plantas pueden ubicarse en muy distintos microclimas, incluso aquéllos creados por los campesinos en o alrededor de los sitios de cultivo, sería interesante estudiar los efectos de las variables ambientales ya sea con datos más actuales o con mediciones directas en campo. De estas variables, en particular, se ha visto que la temperatura tiene una incidencia importante en la floración (Erickson y Markhart, 2001; Erickson y Markhart, 2002) y en el tamaño (Rylski y Spigelman, 1982; Rylski y Spigelman, 1986; Saha *et al.*, 2010) y forma de los frutos (Ali y Kelly, 1993; Pagamas y Nawata, 2008) de *Capsicum annuum*. Debido a la manera en la que fue hecho nuestro muestreo, es difícil ver la relación entre las temperaturas máximas y mínimas y el tamaño o la forma de los frutos de las variedades con las que trabajamos. Sin embargo, conocer más a fondo el efecto de las temperaturas parece ser indispensable para saber más de los factores que influyen en la morfología de esta especie.

El suelo es un sistema compuesto de una matriz mineral, materia orgánica, agua, aire y microorganismos, y el cual es formado por el clima, el tipo de vegetación, la topografía, el material parental y el tiempo (Vandermeer, 2011). Los suelos agrícolas, además, están formados por el trabajo humano y son constantemente transformados a partir de las distintas prácticas de manejo (Bracamontes Nájera *et al.*, 2018). Es así que, a pesar de que en general en este proyecto consideramos las variables

de suelo como variables ambientales, es importante aclarar que los suelos agrícolas, al igual que los agroecosistemas, son sistemas socialmente construidos (Aguilar *et al.*, 2003; Ford y Nigh, 2016).

Uno de los atributos más estables de los suelos es la textura es, pues sólo se modifica ligeramente con el cultivo de las plantas y las prácticas de manejo (USDA, 1999). Entre los efectos más importantes que tiene la textura sobre los suelos destacan la capacidad de retención de agua, la penetrabilidad de raíces y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Porta *et al.*, 2003). En general, se considera que la textura que más favorece el cultivo de las plantas es la franca, en la que hay aproximadamente 25 % de arcilla, 35 % de limo y entre 40 y 45 % de arena (Duchaufour *et al.*, 2018). Esto coincide con las texturas predominantes en las que encontramos a los chiles en este estudio, que fueron las texturas franco arcillosas (CA) y francas (C) (Cuadro 4.3). En cuanto al pH, la mayor parte de los suelos en los que nosotros encontramos a los chiles tuvieron un pH de entre 7 y 8 (Cuadro 4.3). La acidez y la basicidad de los suelos tienen distintos efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de éstos, y, por lo tanto, sobre el crecimiento de las plantas. El pH en el que los distintos cultivos tienen mayor vigor y productividad varía, aunque suele ser entre 5.5 y 8.5 (Porta *et al.*, 2003). Entre otras cosas, el pH afecta la presencia y la actividad de microorganismos, que, a su vez, afecta la disponibilidad de nutrientes (USDA, 1999).

Una de las características más importantes de los suelos agrícolas es la salinidad. La tolerancia a la salinidad de una planta se define dependiendo del uso y del valor de la planta (Grieve *et al.*, 2012). Por ejemplo, para un ecólogo, lo más importante puede ser la respuesta de una especie a la salinidad en cuanto a su supervivencia y reproducción, mientras que para un jardinero sean más importantes los efectos estéticos y la forma de crecimiento de la plantas ante ésta. En el caso de la agricultura, la tolerancia de una planta a la salinidad suele medirse con respecto a su productividad y la calidad (sabor, olor, nutrientes) del órgano de interés (Grieve *et al.*, 2012). En general, los valores de conductividad eléctrica (C.E.) de entre 0 y 0.8 dS/m son aceptables para el crecimiento adecuado de las plantas (USDA, 1999), pero éstos dependen de varios factores como el clima, las condiciones y características del suelo y las prácticas de manejo (USDA, 1999; Grieve *et al.*, 2012).

En este estudio, todos los valores de C.E. de los perfiles realizados fueron menores a 0.38 dS/m, excepto en uno de los sitios donde encontramos chile huacle (Cui5), y en el cual el valor de C.E. fue de 2.635 dS/m (Cuadro 4.3). Esto se puede deber a que Cui5 era un invernadero, por lo que el agua que reciben las plantas es exclusivamente agua de riego, no de lluvias, y una de las principales razones de salinización de los suelos es la irrigación con agua salina (Grieve *et al.*, 2012). Sin embargo, no tenemos datos del tiempo durante el cual esa parcela ha sido utilizada como invernadero ni sobre la calidad del agua de riego, por lo que pensar esa sea la razón de la salinidad del suelo es una mera

especulación. En todos los casos, excepto el chile chiltepe y el chile de monte, se reportó que las plantas de chile recibían riego en caso de necesitarlo, aunque los chiles suelen ser sembrados en temporada de lluvias, por lo que se esperaría que no tuvieran que utilizar agua de riego de manera frecuente. No sabemos si el resto del año las parcelas son trabajadas y si reciben riego, pero en todo caso, la salinidad de los suelos muestreados no parece ser un problema para la siembra de chile, excepto en el caso de Cui5, pues de acuerdo con Grieve *et al.* 2012, el valor relativo que se considera como límite para el crecimiento adecuado de *Capsicum annuum* es de 1.5 dS/m.

A pesar de que existen algunos estudios que indican que la salinidad puede tener efectos positivos en la calidad de algunos cultivos, como por ejemplo, en el sabor (Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999) o el contenido de carotenoides y la actividad antioxidante (De Pascale *et al.*, 2001) de los jitomates, en general se ha visto que ésta tiene consecuencias negativas en la germinación, el crecimiento y la productividad de los cultivos (Maas *et al.*, 1982; Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999; De Pascale *et al.*, 2001; Grieve *et al.*, 2012; Pessarakli, 2014). En el caso particular del chile, se ha visto que la salinidad aumenta la susceptibilidad a infecciones por patógenos (Sanogo, 2004). Debido a la naturaleza de nuestros datos, nos es imposible saber si los chiles huacle de Cui5 tienen características distintas al resto de los chiles huacle sembrados en los otros sitios (Cuadros 3.1 y 4.3).

Finalmente, la materia orgánica es una de las variables más importantes por el efecto que tiene sobre las otras variables de suelo, así como por su importancia en el desarrollo de las plantas (Magdoff y Weil, 2004). Se ha observado que el contenido de materia orgánica tiene un efecto positivo en el tamaño y peso de los frutos de los chiles, así como en el crecimiento de las plantas (Ahsanur Rahman *et al.*, 2012; Setyowatil *et al.*, 2014; Sumbayak *et al.*, 2019). A partir de lo obtenido en los resultados del RDA, hay una relación positiva entre la altura curva y el perímetro de los frutos y la materia orgánica, lo cual coincide con lo observado en otros experimentos. Sin embargo, en nuestro estudio parece haber una relación negativa entre la altura de las plantas y el número de frutos y la materia orgánica. Esto se puede deber a los problemas de muestreo ya mencionados antes, pero sobre todo los experimentos reportados miden la velocidad y el momento específico en el que se da el crecimiento de las plantas bajo distintos escenarios de contenido y tipo de materia orgánica, y no la altura total de las plantas después de varios meses de siembra.

Parte de la complejidad de los suelos es la manera en la que se relacionan y determinan entre sí sus distintas características (físicas, químicas y biológicas), y cómo también a su vez, se relacionan con otros factores como el clima o las formas de manejo, sobre todo en el caso de los suelos agrícolas (Vandermeer, 2011). Por ello, es importante evaluarlas en conjunto, entendiendo cómo es que influyen unas sobre otras, pues la interacción entre ellas genera condiciones que pueden ser favorables o

perjudiciales para los cultivos, más allá de su evaluación individual. Un ejemplo de esto es el estudio realizado por Wortman (2015), en donde se evaluó el desempeño de varias plantas, entre ellas *Capsicum annuum* (chile chipotle), bajo distintas condiciones de pH y C.E., y en el cual encontró que a un pH bajo (5.8) y C.E. altas (entre 0.7 y 2.2), su productividad aumenta.

En cuanto a la altura de las plantas, no parece haber un patrón claro en nuestros datos. Como ya explicamos anteriormente, por la forma en la que fue hecho el muestreo, es importante ser cuidadosos con las variables fenotípicas de los chiles. Los campesinos reportaron que de la mayoría de variedades más domesticadas suelen obtener tres o cuatro cosechas o cortes por ciclo agrícola, sin embargo, el número de frutos producido y el tamaño de éstos no es constante, sino que va disminuyendo conforme el número de cosechas va aumentando. Ya que el muestreo fue hecho en noviembre, podríamos esperar que para la mayoría de las plantas la colecta fue hecha en la última o penúltima cosecha, por lo que el número de frutos y su tamaño puede ser menor al de la primera cosecha. Por otro lado, las variedades semisilvestres pueden permanecer en las parcelas y los traspatios durante varios años, al igual que algunas variedades semidomesticadas, como el solterito y el nanchita de los Valles Centrales o el chiltepe de la Cañada, los cuales no se siembran año con año pues son bianuales o perennes. El chiltepe, por ejemplo, se siembra cada dos años, mientras que el solterito y el nanchita varían mucho y se pueden sembrar año con año o permanecer en los solares y traspatios por más de tres años. Esto es importante, pues podemos encontrar plantas de solterito o nanchita que midan desde 40 cm hasta 237 cm en distintos traspatios y parcelas en el mismo momento del año.

A partir de los patrones identificados entre las distintas variables de respuesta y las variables explicativas, sería interesante conducir experimentos y hacer pruebas como las de normas de reacción para saber cómo algunos de los rasgos fenotípicos responden ante cambios ambientales particulares. Las normas de reacción son el conjunto de fenotipos producidos por un mismo genotipo en un rango de ambientes de desarrollo. Las normas de reacción se determinan al tener réplicas individuales de un mismo genotipo bajo una serie de tratamientos controlados en donde posteriormente se pueden medir los rasgos fenotípicos de interés. Éstas se suelen representar de manera gráfica, mostrando la expresión fenotípica de un rasgo particular de cada genotipo para cada uno de los tratamientos experimentales (Sultan, 2015). Esto nos permitiría saber más sobre la plasticidad fenotípica de esta especie y entender mejor tanto su proceso de domesticación como la capacidad de estas plantas de expresar cambios fenotípicos que le permitan adaptarse ante los cambios locales previstos en el contexto del cambio climático global, por ejemplo.

### **5.3 Manejo, consumo y selección**

La diversidad agrobiológica existe en un contexto dinámico de cambios ambientales, pero también en contextos de constantes cambios sociales. Las decisiones que se toman con respecto a qué plantas sembrar y cómo hacerlo están influidas por factores sociales, políticos, económicos y culturales (Brush, 2004). Es así que tanto los campesinos como los agroecosistemas mismos están en constante transformación, y el mercado en el que se insertan los cultivos y su manejo tienen implicaciones directas sobre la agrobiodiversidad (Bellon, 1996).

En las zonas rurales, son pocas las personas que controlan los mercados. Debido a la situación de precariedad que viven muchas de las familias campesinas, la falta de acceso a la información y la lejanía entre ellos y los consumidores, los comerciantes pueden fácilmente manipular los precios de los productos de los campesinos. Es así que los campesinos, además de tener que hacer frente a la impredecibilidad de las condiciones ambientales, hacen frente a la impredecibilidad del mercado y el consumo (Bellon 1996).

Uno de los resultados más importantes de este trabajo es el papel que juega la venta de los chiles en los mercados en las regiones de estudio en el proceso de domesticación de *C. annuum*. Los mercados en donde se suelen vender los chiles son los de las grandes poblaciones más cercanas a las distintas localidades. Esto, en muchos casos, puede ser problemático, pues transportar los frutos de un lugar a otro y tener que recorrer grandes distancias es caro y complicado. Los campesinos que se encuentran en las localidades que son de difícil acceso y que están más aisladas, muchas veces tienen que recurrir a intermediarios (mejor conocidos localmente como *coyotes*) los cuales controlan los precios y compran los productos a precios tan bajos que ha dejado de ser rentable producir algunas de las variedades locales, como el chile huacle de la Cañada (Félix Alonso, comunicación personal). Sería interesante estudiar la relación entre las características de los frutos que buscan los campesinos (mayoritariamente hombres) para venderlos en el mercado y las características que buscan aquellas que los compran y los utilizan para la preparación de platillos (principalmente mujeres). Dadas las características de las entrevistas y de los entrevistados en nuestro trabajo, es muy posible que el papel que juegan los distintos usos en el proceso de domesticación de esta especie no esté correctamente representado.

En todas las variedades estudiadas de *C. annuum*, los campesinos seleccionan los frutos más grandes que cumplan con las características de forma y color típicas de cada variedad, elegidos de las plantas más vigorosas y con menos plagas para guardar las semillas para la siguiente siembra. Las variedades locales que son sembradas específicamente para ser vendidas en los mercados son las

variedades más domesticadas (Figuras 4.4, 4.5 y 4.6). En estos casos, es muy común que las características que se seleccionen sean aquellas que buscan los consumidores y que se venden mejor en los mercados (Figura 4.3), y los intereses y usos personales de los campesinos jueguen un papel secundario en el proceso de selección, tal como reporta Brush (2004) que sucede con frecuencia en otros cultivos. Se podría pensar que el acceso a los mercados y la fácil venta de las cosechas favorezca la rentabilidad de la actividad agrícola, evite la migración a las ciudades y favorezca la agrobiodiversidad. Sin embargo, en muchas ocasiones los mercados pueden meter suficiente presión como para eliminar la diversidad de las parcelas y forzar a los campesinos a sembrar predominantemente cultivos comerciales (*cash crops*), los cuales se venden mejor (Brush, 2004).

Así, en la actualidad, es indispensable entender la dinámica del mercado y la manera en la que se insertan las distintas especies y variedades cultivadas para entender el proceso de domesticación. El mercado es una fuerte presión de selección, y en muchas ocasiones los campesinos han sustituido la selección de variedades y de cualidades particulares que son importantes localmente, por variedades y características buscadas por los consumidores y el mercado. Sin embargo, simultáneamente, el valor de uso de las distintas variedades provoca una resistencia ante la pérdida de la agrobiodiversidad. A pesar de que cada vez sea más común encontrar en los mercados y en los campos de cultivo un número reducido de variedades de las distintas especies cultivadas, en muchas de las parcelas, solares y traspatios campesinos se siguen sembrando simultáneamente las variedades locales (Bellon, 2011; Mora Van Cauwelaert, 2017; Lyver *et al.*, 2019). Parecería que esto es lo que está sucediendo con las variedades de *Capsicum annuum* de las regiones de estudio.

Las características de las variedades locales buscadas por los campesinos para el consumo local muchas veces dependen de su uso, como por ejemplo, el sabor, la pungencia necesaria y el color de la comida que se va a cocinar con ellos. Es así que el valor de las variedades locales no está sólo determinado por el precio que le asignan el mercado, los comerciantes o los intermediarios (valor de cambio), sino que su valor también radica en los distintos usos que se le da y la importancia que tienen dentro de la reproducción cultural y de la vida de las comunidades (valor de uso) (Brush, 2004; Jardón, 2015). Se ha visto, por ejemplo, que el valor de uso tiene un peso importante en la siembra de algunas variedades locales de maíz en los Valles Centrales de Oaxaca, pues éstas son particularmente importantes en la elaboración de algunos platillos y en las fiestas (Mora Van Cauwelaert, 2017). Es así que parece ser que en las variedades estudiadas de *C. annuum*, las presiones de selección estén relacionadas con el grado de domesticación de las variedades, el uso que se les da y su venta en el mercado. En las variedades *semisilvestres* y *semidomesticadas*, que suelen ser sembradas para el autoabasto familiar o para la venta a menor escala en los mercados locales y regionales, las presiones

de selección parecen estar determinadas principalmente por su valor de uso, mientras que para las variedades domesticadas pareciera que, además del valor de uso, el valor de cambio genera una fuerte presión de selección también.

En este sentido, sería interesante identificar quiénes son los que compran los chiles en los mercados (personas de la propia comunidad o de comunidades cercanas, familiares, etc.) y las distintas relaciones que existen entre los productores y los compradores o consumidores. Pudiera ser que, dado que casi todas las variedades estudiadas son consideradas variedades locales, y que además la venta de los chiles ocurre sobre todo a nivel local y regional, a través de las relaciones personales entre los productores y los consumidores, además de las diversas tradiciones, fiestas y costumbres para las cuales son utilizados, las cualidades buscadas en los mercados estén sobre todo definidas por su valor de uso. Si este fuera el caso, cuando los campesinos entrevistados reportan que las características que buscan en sus cosechas son aquellas que demandan los compradores, podría parecer que el valor de cambio es lo que define la selección, pero en realidad el valor de uso está oculto en ello.

Los niveles de intensificación que observamos con mayor frecuencia fueron las parcelas en policultivo y las parcelas en monocultivo. Esto tiene que ver con la manera en la que fue hecho el muestreo y con la densidad de plantas de chile que se pueden encontrar en los distintos niveles de intensificación. En los traspatios se suele sembrar o cuidar dos o tres plantas de chile, mientras que en un solar o en las parcelas en policultivo o monocultivo se pueden encontrar muchas más. Además, es mucho más fácil encontrar parcelas con cultivo de chile debido a la extensión que ocupan, lo cual hace que sean fácilmente identificables por los miembros de la comunidad.

Los resultados obtenidos de las correlaciones de Spearman entre las características de manejo y las formas de consumo (autoabasto o venta en los mercados) nos permitieron identificar algunos patrones importantes (Figura 4.2). Los chiles que son sembrados en los traspatios y los cuales están destinados principalmente para el autoabasto, no suelen ser vendidos en los mercados y no tienen muchas plagas. En general, los chiles que tienen estas características son los chiles que clasificamos como *semisilvestres* y algunos de los que clasificamos como *semidomesticados*. Por otro lado, es común encontrar las variedades cuya producción suele estar destinada principalmente para su venta en los mercados (local y regional) sembradas en las parcelas en policultivo y con problemas de plagas. Las variedades que comparten estas características son las variedades *domesticadas*. Así, el destino y uso que se le da a las distintas variedades (autoabasto o venta en los mercados) y su nivel de intensificación parecen ser fuerzas importantes en el proceso de domesticación de *C. annuum*. Estudiar el uso y las características buscadas en aquellas variedades *semisilvestres* y *semidomesticadas*, las cuales no suelen ser vendidas en los mercados y que son cultivadas exclusivamente para el autoabasto y el consumo

cotidiano de las familias, podría ser interesante para saber cómo los usos están definiendo la selección sin que el mercado la esté mediando.

Las variedades menos domesticadas, que suelen estar sembradas en bajas densidades en los traspatios o en las parcelas en policultivo, presentan menos plagas que las variedades más domesticadas sembradas en altas densidades principalmente en parcelas en monocultivo o policultivo (Figura 4.6). Es importante mencionar que no hay organismos que sean plagas en sí mismos, sino que las poblaciones de ciertos parásitos o herbívoros al tener densidades altas o desarrollarse bajo algunos contextos, pueden afectar la producción de tal manera que son considerados plagas (González González, 2018). Las dinámicas de las plagas en las plantas cultivadas varían dependiendo de numerosos factores, como por ejemplo, la especie cultivada y las condiciones ambientales; sin embargo, se ha visto que ésta está relacionada con el tamaño de las parcelas, el tipo de suelo, el arreglo espacial y temporal de las plantas la diversidad de los cultivos (intra e inter específica) y la diversidad genética entre otras (Zhu *et al.*, 2000; Altieri y Nicholls, 2004; Brush, 2004). Es así que en el caso de *C. annuum*, considerar el nivel de intensificación para conocer las dinámicas de las plagas y encontrar los mecanismos para controlarlas pareciera ser primordial. Esto se podría deber, además, a que el proceso de domesticación implica necesariamente una pérdida de diversidad genética y, en ocasiones, la disminución de los metabolitos secundarios (capsaicina) que pueden servir como defensas (Gepts y Papa, 2002; Gepts, 2004), y por lo tanto una mayor susceptibilidad a las plagas (Zhu *et al.*, 2000).

Se ha visto que las variedades de *C. annuum* var *annuum* presentan altos niveles de endogamia (Pérez Martínez, 2018). Esto se puede deber en gran medida a que esta variedad es autógama facultativa y a que las estructuras florales de los tipos más domesticados facilitan esta forma de reproducción (Pickersgill, 2016). Sin embargo, los campesinos entrevistados reportaron que no es muy común el intercambio de semillas de las distintas variedades domesticadas entre campesinos, lo cual podría también tener un efecto sobre los altos niveles de endogamia.

#### **5.4 Propuesta de gradiente de domesticación**

¿Existe un momento exacto en el que una planta manejada y cultivada se convierte en una planta domesticada? Dentro de las distintas definiciones que existen de domesticación, hay quienes consideran que una planta está completamente domesticada cuando depende de manera absoluta del cuidado humano para sobrevivir y reproducirse (Winterhalder y Kennett, 2006). Sin embargo, la domesticación no se da ni concluye en un momento preciso, sino que es un proceso en el que hay una constante transformación tanto de la relación entre las plantas y los seres humanos, como de los

organismos mismos<sup>3</sup>. La domesticación de las plantas es una forma única de mutualismo, y una relación dialéctica de los seres humanos y las plantas (Rindos, 1984; Zeder *et al.*, 2006, Zeder y Smith, 2009; Jardón Barbolla, 2015).

Al hablar de domesticación de plantas, en muchas ocasiones se hace una clara distinción entre el proceso de domesticación y el de diversificación. En estos casos, la domesticación es entendida como el proceso mediante el cual las plantas empiezan a divergir de sus parientes silvestres al sufrir cambios fenotípicos y genotípicos hereditarios que les permite adaptarse a los ambientes antrópicos donde se desarrollan. Los rasgos que presentan las plantas y que les permiten adaptarse a estos nuevos medios son respuestas a la presión de selección humana ejercida por las nuevas condiciones ambientales y de manejo a las que son sometidas. Este tipo de selección no es consciente, es decir, el único objetivo de los seres humanos es que las plantas sobrevivan y se reproduzcan, no que presenten cambios fenotípicos y genotípicos específicos a lo largo de varias generaciones. Una vez que esto sucede, se da la diversificación de las plantas domesticadas. En ésta, el ser humano va dirigiendo y seleccionando de manera consciente algunos rasgos de ellas para satisfacer numerosas necesidades (alimentarias, religiosas, medicinales, etc.), por lo cual una misma especie puede desarrollar distintas variantes que se adaptan a los diferentes usos humanos (Pickersgill, 2016, Pickersgill, 2019). Algunos investigadores reconocen que no siempre es fácil diferenciar entre la domesticación y la diversificación, y que en muchas ocasiones esto también puede depender de la definición que se use de domesticación, pero aún así prefieren mantener esta dicotomía (Pickersgill, 2019). Algunos otros incorporan dentro del concepto de domesticación a la diversificación, y ven la variación de formas, colores y sabores de las plantas como parte del síndrome de domesticación (Gepts y Papa, 2002); algunos otros hablan de domesticación y diversificación haciendo la distinción de las dos fases pero como parte de un mismo proceso (Meyer y Purugganan, 2013).

No hay duda de que hay una enorme variación de los procesos de domesticación de los distintos grupos y especies de plantas, y puede haber casos donde esta distinción sea pertinente. Sin embargo, en general, y en el caso particular de *C. annuum*, pensamos que la domesticación y la diversificación son parte del mismo proceso, y no hay una distinción temporal clara entre una y otra. La separación que se hace entre domesticación y diversificación suele tener que ver con el tipo de selección que está

<sup>3</sup> Esto es parecido a lo que sucede con el concepto darwiniano de especiación. Al igual que en la domesticación y en la determinación de las variedades distintas, los procesos de especiación son, hasta cierto punto graduales, y en muchos casos las diferencias morfológicas o fenotípicas no corresponden con barreras biológicas claras (especies, subespecies, razas, variedades). Con esto en mente, podríamos esperar que la existencia de fronteras claras que delimiten a las diferentes variedades con distinto nivel de domesticación sea poco común.

actuando, y se parte de la idea de que primero actúa la selección natural y después la selección artificial. Sin embargo, ambos tipos de selección pueden actuar de manera simultánea. Se tiene registro de que *C. annuum* fue domesticada en distintas partes de Mesoamérica de manera independiente (Aguilar-Meléndez *et al.*, 2009; Kraft *et al.*, 2014). En la larga y variada transición hacia la agricultura, conforme las plantas se fueron cultivando en distintos lugares, las comunidades intercambiaron semillas y conocimiento y las plantas cultivadas se fueron adaptando a ambientes heterogéneos, en donde el clima, la topografía, los tipos de suelo, las formas de manejo y las características culturales de las sociedades eran muy distintas entre sí. Ya que la domesticación es un proceso dinámico, las plantas de Chile, al igual que muchas otras plantas, se fueron adaptando a estos nuevos contextos antrópicos mientras que las comunidades les fueron dando usos muy variados y seleccionando distintos rasgos de ellas (Fuller, 2007; Harris, 2012; Harris y Fuller, 2013).

Para sugerir el gradiente de domesticación de *C. annuum* (Cuadro 4.4 y Figura 4.4) en este trabajo nos basamos en dos características del síndrome de domesticación de esta especie propuesto por Pickersgill (2016) y una característica que ella identifica como parte del proceso de diversificación, pero que nosotros consideramos como parte del proceso de domesticación por lo antes mencionado. Estas son: 1) el tamaño (perímetro); 2) la posición (erecta o colgante) y 3) la variación de colores.

El aumento del tamaño de los frutos es uno de los rasgos del síndrome de domesticación no sólo de *C. annuum* sino de muchas otras especies (Fuller, 2012; Pickersgill, 2016). Se ha visto que las semillas más grandes de los frutos tienen mayores probabilidades de supervivencia y germinación, y que éstas suelen dar plantas y frutos de mayor tamaño que las semillas más pequeñas. En los chiles, en el proceso de domesticación, el aumento del tamaño del fruto puede tener que ver con la selección natural de las semillas. Por otro lado, los seres humanos también pueden seleccionar las semillas de las plantas cuyos frutos sean los más grandes esperando que sus progenitores también lo sean (Brush, 2004). En este trabajo, en todos los casos, los campesinos reportaron que una de las cualidades que seleccionan es el mayor tamaño de los frutos, pues cada fruto da más rendimiento en sus distintos usos y además se vende mejor en el mercado. Es así que en el proceso de domesticación actual, además de las presiones de selección propias del desarrollo de las plantas, parece haber una presión de selección dirigida que favorece el aumento del tamaño de los frutos.

La segunda característica considerada para proponer un gradiente de domesticación de las variedades estudiadas fue la posición del fruto en las plantas, pues ha sido considerado como un rasgo del síndrome de domesticación en esta especie. En el proceso de domesticación los frutos dejan de estar en posición erecta y los encontramos en posición colgante (Pickersgill, 2016). Sin embargo, en muchas ocasiones puede ser que el que cuelguen los frutos no sea resultado de un cambio morfológico de la

planta tras el proceso de domesticación en si mismo, sino que esté relacionado con el tamaño de los frutos y que por su mayor peso caigan y cuelguen, como por ejemplo el chile de agua de los Valles Centrales. Aún así, hay algunas variedades cuyos frutos no son muy grandes y aún así su posición dentro de algunos de los individuos es colgante o mixta, como por ejemplo algunas planas de chile tusta de la Costa. Es así que al considerar esta característica en estudios posteriores, es importante ser cautelosos y estudiar algunos otros aspectos de la anatomía de las plantas para discernir entre uno y otro caso. Finalmente, para nosotros la variación de formas y colores es parte del proceso de domesticación, por lo que el tercer rasgo considerado en la propuesta del gradiente de domesticación fue la diversidad de colores de los frutos al madurar.

Actualmente, en el estado de Oaxaca, podemos encontrar variedades en distintos momentos del proceso de domesticación. Esto es muy interesante, pues es un ejemplo maravilloso de cómo la domesticación es un proceso continuo y dinámico. El gradiente de domesticación propuesto nos permite ver cómo los frutos de algunas variedades, las que definimos como *semisilvestres* (Figuras 4.4, 4.5 y 4.6), apenas presentan cambios con respecto a *C. annuum* var *glabriusculum* (chile de monte). También nos permite ver que muchas de las variedades que consideramos *semidomesticadas* presentan algunos rasgos característicos del *C. annuum* var *glabriusculum* y otros ya característicos de *C. annuum* var *annuum* de manera simultánea. Y finalmente, nos permite ver cómo las variedades ya consideradas como *domesticadas* presentan en su mayoría los rasgos del síndrome de domesticación de esta especie.

El Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) nos ayudó a comprobar la tendencia del gradiente de domesticación propuesto (Figura 4.5). En este análisis, los rasgos fenotípicos considerados fueron los mismos que los del RDA: el perímetro, el ancho a la altura media y la longitud curva de los frutos, y el número de frutos y la altura de las plantas. Al colorear las variedades en el orden del arcoiris de acuerdo con el gradiente de domesticación propuesto, podemos ver que éstas siguen el patrón de los colores de manera general. La gráfica explica el 80 % de la variación de los datos. El primer eje explica casi el 60 % de la variación de los datos, y las variables que tienen más peso son las características de los frutos (perímetro, ancho a la altura media y altura curva). Podemos ver que el perímetro, el ancho y el largo de los frutos del chile de monte (*C. annuum* var *glabiruscolum*), el nanche, el zopilote, el mirasol, el piquín y el chiltepe varían muy poco, mientras que las características de los frutos del chile de agua, el costeño y el huacle varían mucho. Por otro lado, el segundo eje explica el 20 % de la variación de los datos y las variables de mayor peso son los rasgos fenotípicos de las plantas, es decir, el número de frutos de los individuos y su altura. En este caso, el chile de monte, el nanche el piquín y el solterito variaron mucho, mientras que el chiltepe, el chile de árbol y el chile de agua variaron muy poco.

En las formas más silvestres, que aquí llamamos *semisilvestres*, entonces hay pocos cambios en los frutos pero una variación muy grande en las plantas, mientras que los chiles que clasificamos como *domesticados*, en general, varían mucho con respecto a las características de los frutos pero poco con respecto a las de las plantas. Esto es muy interesante, pues en el proceso de domesticación de esta especie, los cambios fenotípicos se reflejan sobre todo en los frutos. Es decir, conforme se van domesticando, los chiles comienzan a tener una mayor variación en los frutos y una menor variación en las plantas. Esto puede tener que ver con cuestiones de desarrollo propias de las plantas, y la manera en la que durante éste se asignan los recursos disponibles. Además, debido a que la selección no opera solamente en un rasgo, sino que lo hace en un conjunto de ellos, un cambio morfológico (tamaño de los frutos) puede estar ligado con otros cambios fisiológicos en las plantas (en este caso, el número de frutos y la altura de las plantas). En este sentido, los estudios de biología del desarrollo y de plasticidad fenotípica parecen ser indispensables y pueden enriquecer mucho la comprensión del proceso de domesticación de las plantas (Sultan, 1995; Bradshaw, 2006; Pfennig *et al.*, 2010).

Como ya dijimos anteriormente, el gradiente de domesticación propuesto no debe ser entendido, al igual que el proceso de domesticación mismo, como una línea progresiva y continua, sino que debe ser entendido como una herramienta que nos permitió visualizar el dinamismo del proceso de domesticación y la paulatina transformación de las plantas domesticadas. A través del gradiente, pudimos ver también cómo conviven la variedad silvestre, *C. annuum* var *glabriusculum* y algunas variedades locales de *C. annuum* var *annuum* con distinto grado de domesticación. La domesticación del chile no fue algo que sucedió hace miles de años en un solo momento en la historia. Para algunas variedades locales como el nanche, el mirasol, el zopilote o el piquín el proceso de domesticación parece apenas estar comenzando. Es indispensable realmente entender la domesticación como un proceso evolutivo constante, sobre todo al estudiar a las especies domesticadas en su centro de origen, y más aún cuando el pariente silvestre todavía existe y coexiste con las variantes domesticadas. Para *C. annuum*, es muy interesante que además de que las formas domesticadas están en muchos casos en contacto directo con la variante silvestre, esta última también es manejada y manipulada, y tiene un papel cultural fundamental en las comunidades.

El integrar el gradiente de domesticación propuesto y los distintos niveles de intensificación de manejo de cada variedad nos permitió identificar distintos grados de interacción entre el ser humano y las plantas. Además, pudimos identificar que conforme aumentan las modificaciones morfológicas de los chiles, la intensificación del manejo y la importancia de su venta en los mercados también aumentan. Dentro de las regiones estudiadas del estado de Oaxaca, coexisten plantas en distintos

estadios del proceso de domesticación de *C. annuum*, las cuales son utilizadas y manejadas de maneras muy diversas.

La modificación de las características de las plantas implica la transformación de una forma previa a una posible forma futura. Es así que el tiempo y el espacio parecen congelarse y evolucionar simultáneamente. En un mismo momento conviven las primeras formas, las formas silvestres, las cuales cambian tan lentamente con respecto al tiempo evolutivo que pareciera que permanecen estáticas, y las formas más recientes, las formas con distintos grados de domesticación, cuyo cambio se ha ido dando en tan sólo miles de años. En el proceso de domesticación, las formas se deshacen para rehacerse. Con la domesticación, en las milpas, los traspatios y los bosques, la naturaleza es transformada por el ser humano y transformadora de éste al mismo tiempo. Es ahí donde se van fabricando significados, se va produciendo el espacio y construyendo una identidad. La vida de los campesinos, se concretiza en muchos sentidos en el campo de cultivo. Es decir, el campo de cultivo (en toda la extensión de la palabra) es el medio en donde se da su existencia y donde se lleva a cabo el conjunto de relaciones sociales que se materializan en los cultivos (Foster, 2000).

Es así que la vida campesina es en buena medida el resultado de lo que se produce y cómo se produce. La agricultura en general, y la domesticación como parte fundamental de ella, es por lo tanto un hecho político en cuanto a que es ahí donde se reproducen las relaciones sociales de producción y donde se tiene la conciencia y la capacidad de incidir sobre la realidad. La domesticación de las plantas es producto de la sociedad, consecuencia del trabajo que se concreta y se materializa en las variedades producidas en el presente y en las variedades futuras como proyecto. Las milpas, los traspatios y los bosques son entonces el conjunto de objetos naturales y sociales; objetos que no sólo son cosas sino que son, sobre todo, relaciones (Lefebvre, 1976; Sánchez Vázquez, 1980; Lefebvre, 2013).

## V. Conclusiones y perspectivas

Estudiar el proceso de domesticación de *Capsicum annuum* en el estado de Oaxaca es particularmente interesante, pues dada la heterogeneidad ambiental y diversidad cultural de este estado, hoy en día podemos encontrar un gran número de variedades locales. En este trabajo, logramos obtener un panorama general de 17 variedades locales de (*Capsicum annuum* L.) que actualmente se siembran en las regiones Cañada, Valles Centrales, Istmo y Costa del estado de Oaxaca, y pudimos conocer algunos de los principales factores, ambientales y sociales, que están definiendo su proceso de domesticación.

Por un lado, parece haber una relación positiva entre el número de frutos de las plantas y las condiciones ambientales, y, por el otro, una relación positiva entre el perímetro, el ancho y la altura curva de los frutos y las características de los suelos. En particular, podría ser interesante indagar más en la relación entre la morfología y crecimiento de esta especie y 1) las temperaturas (máxima y mínima) y 2) la salinidad de los suelos. Para ello, sería interesante utilizar morfometría geométrica para poder tener más datos sobre la forma de los frutos. Podría ser muy útil hacer experimentos y pruebas como las normas de reacción para saber más sobre la plasticidad fenotípica de esta especie y su posible adaptación ante cambios climáticos. Es así que la contribución de los estudios de biología del desarrollo y de plasticidad fenotípica puede ser enorme para la comprensión del proceso de domesticación de las plantas. También, entendiendo la complejidad de todas las variables implicadas en los procesos de domesticación, sería importante hacer análisis más integrales que nos pueden dar una idea sobre la interacción de las distintas variables y su efecto sobre las plantas.

En cuanto a las condiciones sociales en las que son cultivadas estas variedades y los factores que determinan su selección, el mercado y el valor de cambio parecen ser fundamentales. Es así que, para entender mejor el proceso de domesticación de esta especie, es indispensable conocer a fondo la dinámica del mercado en la que se inserta, aunque también sería importante explorar su valor de uso con mucha mayor profundidad. Para ello, es indispensable conocer y contrastar las características que buscan aquellos que seleccionan algunas características en el campo de cultivo, generalmente hombres, para venderlos con facilidad en el mercado, y las cualidades que buscan aquellas que los utilizan para la preparación de alimentos, principalmente mujeres.

Finalmente, identificamos que en las regiones de estudio conviven variedades de *C. annuum* con distintos grados de domesticación. Pudimos ver también que su uso, ya sea para la venta en los mercados o para el autoabasto familiar, y el manejo que se le da a las variedades está muy relacionado con su grado de domesticación. Este trabajo refleja muy bien cómo la domesticación es un proceso

continuo y dinámico, y cómo es indispensable entenderlo como tal al estudiar a las especies domesticadas en su centro de origen, sobretodo cuando el pariente silvestre y las variantes domesticadas coexisten.



## Referencias

- Adams, D.C., Rohlf, F. J. y Slice, D.E. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology* 71: 5-16.
- Aguilar, J., Illsley, C. y Marielle, C. 2003. Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. En: Esteva, G y Marielle, C. *Sin maíz no hay país*. México: Museo Nacional de las Culturas Populares, pp. 83-122.
- Aguilar-Meléndez, A. Morrell, P.L., Roose, M. L. y Kim, S.C. 2009. Genetic diversity and structure in semiwild and domesticated chiles (*Capsicum annuum*; Solanaceae) from Mexico. *American Journal of Botany* 96: 1190-1202.
- Aguilar-Rincón, V.H., Corona Torres, T., López López, P., Latournerie Moreno, L., Ramírez Meraz, M., Villalón Mendoza, H. y Aguilar Castillo, J.A. 2010. *Los chiles de México y su distribución*. Texcoco, Estado de México: SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN.
- Ahsanur Rahman, M., Matinur Rahman, M., Begum, M.F. y Firoz Alan, M. 2012. Effect of bio composta, cow dung composta and NPK fertilizers on growth, yield and yield components of chili. *International Journal of Biosciences* 2: 51-55.
- Alboukadel, K. y Mundt, F. 2017. *factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses*. R package version 1.0.5. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Ali, A.M. y Kelly, W.C. 1993. Effect of pre-anthesis temperature on the size and the shape of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae* 54: 97-105.
- Allaby, R.G. 2013. Domestication syndrome in plants. En Smith, C. (Ed). 2013 *Encyclopedia of Global Archaeology*, New York: Springer, pp. 2182-2184.
- Altieri, M.A. y Nicholls, C.I. 2004. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. New York: Food Products Press.
- Álvarez, L.R. 1994. *Geografía general del estado de Oaxaca*. Oaxaca: Carteles Editores, pp.17-26.
- Anderson, D.E. y Lydic, R. 1977. On the effect of using ratios in the analysis of ratios. *Biobehavioral Reviews* 1: 225-229.
- Andrews, J. 1991. The peripatetic chili pepper: diffusion of the domesticated Capsicums since Columbus. En Foster, N y Cordell, L.S. *Chilies to Chocolate: Food the Americas Gave the World*. USA: University of Arizona Press, pp. 81-93.
- Andrews, J. 1995. *Peppers. The Domesticated Capsicums*. Austin: University of Texas Press.

- Ankli, A. Sticher, O. y Heirich, M. 1999. Yucatec maya medicinal plants versus nonmedicinal plants: indigenous characterization and selection. *Human Ecology* 27: 557-580.
- Ardelean, C. F., Becerra-Valdivia, L., Pedersen, M. W., Schwenninger, J. L., Oviatt, C. G., Macías-Quintero, Arroyo-Cabrales, J., Sikora, M., Ocampo-Díaz, Y.Z.E., Rubio-Cisneros, I.I., Watling, J. G., de Medeiros, V.B., De Oliveira, P.E., Barba-Pingarón, L., Ortiz-Butrón, A., Blancas-Vázquez, J., Rivera-González, I., Solís-Rosales, C., Rodríguez-Ceja, M., Gandy, D.A., Navarro-Gutierrez, Z., De La Rosa-Díaz, J.J., Huerta-Arellano, V., Marroquín-Fernández, M.B., Martínez-Riojas, L.M., López-Jiménez, A., Higham, T. y Willerslev, E. 2020. Evidence of human occupation in Mexico around the Last Glacial Maximum. *Nature* 584: 87–92.
- Atchley, W. R., Gaskins, C.T. y Anderson, D. 1976. Statistical properties of ratios. I. Empirical results. *Systematic Zoology* 25: 137-148.
- Bar-Yosef, O. 2012. From foraging to farming in Western and Eastern Asia. En: Gepts, P., Famula, T.R., Bettinger, R.L, Brush, S.B, Damania, A.B., McGuire, P.E. y Qualset, C.O. *Biodiversity in Agriculture. Domestication, Evolution and Sustainability*, USA: Cambridge University Press, pp. 57-91.
- Bellon, M. 1996. The dynamics of crop intraspecific diversity: A conceptual framework at the farmer level. *Economic Botany* 50: 26-39.
- Bellon, M.R., Berthaud, J., Smale, M, Aguirre, J.A., Taba, S., Aragón, F., Díaz, J. y Castro, H. 2003. Participatory landrace selection for in-farm conservation: An example from the Central Valleys of Oaxaca. *Genetic Resources and Crop Evolution* 50: 401- 416.
- Bellon, M.R. 2011. Planting hybrids, keeping landraces: Agricultural modernization and tradition among small-scale maize farmers in Chiapas, Mexico. *World Development* 39: 1434-1443.
- Benítez, M. 2018. Ecological evolutionary developmental biology in dialogue with agroecology. *Interdisciplina*, 6: 69-87.
- Berdan, F.F. 1976. La organización del tributo en el imperio azteca, *Estudios de Cultura Náhuatl*, 12: 185-195.
- Boivin, N., Fuller, D.Q. y Crowther, A. 2012. Old Wolrd globalization and the Columbian exchange: comparison and contrast. *World Archaeology* 44: 452-469.
- Bracamontes Nájera, L, Fuentes Ponce, m. Rodríguez Sánchez, L.M. y Macedas Jiménez, J. 2018. *Manual de indicadores biológicos de la salud del suelo*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Bradshaw, A.D. 2006. Unravelling phenotypic plasticity – why should we bother? *New Phytologist* 170: 644-648.

- Brown, A.H.D. 1978. Isozymes, plant population genetic structure and genetic conservation. *Theoretical and Applied Genetics* 52: 145-157.
- Brush, S. B. 1992a. Reconsidering the Green Revolution: diversity and stability in cradle areas of crop domestication. *Human Ecology* 20: 145-167.
- Brush, S.B. 1992. Ethnoecology, biodiversity, and modernization in andean potato agriculture. *Journal of Etnobiology* 12: 161-185.
- Brush, S.B. 1996. Valuing crop genetic resources. *Journal of Environment & Development* 5: 416-433.
- Brush, S.B. 2004. *Farmers Bounty. Locating Crop Diversity in the Contemporary World*, New Haven: Yale University Press.
- Caballero, J. 1994. La dimension culturelle de la diversité végétale au Mexique. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée* 35: 145-158.
- Camacho Villa, T.C., Maxted, N., Scholten, M y Ford-Lloyd, B. 2005. Defining and identifying crop landraces. *Plant Genetic Resources* 3: 373-384.
- Carrizo García, C., Barfuss, M.H.J., Sehr, E.M., Barboza, G.E., Rosabelle, R., Moscone, E.A. y Ehrendorfer, F. 2016. Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae), *Annals of Botany* 118: 35–51.
- Casas, A., Caballero, J. Mapes, C. y Zárata, S. 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 61: 31-47.
- Casas, A., Caballero, J, Valiente-Banuet, A., Soriano, J.A. y Dávila, P. 1999. Morphological variation and the process of domestication of *Stenocercus stellatus* (Cactaceae) in Central Mexico. *The American Journal of Botany* 86: 522-533.
- Casas, A., Otero-Arnaiz, A., Pérez-Negrón y Valiente-Banuet, A. 2007. *In situ* management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany* 100: 1101-1115.
- Casas, A., Parra-Rondinel, F., Aguirre-Dugua, X, Rangel-Landa, S., Blancas, J., Vallejo, M., Moreno-Calles, A.I., Guillén, S., Torres-García, I., Delgado-Lemus, A., Pérez-Negrón, E., Figueredo, C.J., Cruse-Sanders, J.M., Farfán-Heredia, B., Solís, L., Otero-Arnaiz, A., Alvarado-Sizzo, H. y Camou-Guerrero, A. 2017. Manejo y domesticación de plantas en Mesoamérica. Una estrategia de investigación y estado del conocimiento sobre los recursos genéticos. En: Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Eds). *Domesticación en el continente americano*. Vol 2. México: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 69-102.
- Cazáres-Sánchez, E., Ramírez-Vallejo, P., Castillo-González, F., Soto-Hernández, R.M., Rodríguez-González, M.T. y Chávez-Servia, J.L. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes

- morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39: 627-638.
- Childe, V.G. 1951. *Man makes himself*, USA: The New American Library.
- Clement, C.R. 1999. 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. *Economic Botany* 53: 188-202.
- Clement, C.R., Cristo-Araujo, M., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Alves Pereira, A. y Picanço-Rodrigues, D. 2010. Origin and domestication of native amazonian crops. *Diversity* 2: 72-106.
- CLICOM. 2016. Disponible en línea en: <http://clicom-mex.cicese.mx> [consultado el 14 de junio de 2016]
- CONABIO. 1998. 'Curvas de nivel para la República Mexicana'. Escala 1:250000. Extraído del Modelo Digital del Terreno. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEG). México.
- Crosby, A.W. 1991. *El intercambio transoceánico. Consecuencias biológicas y culturales a partir de 1492*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cuartero, J. y Fernández-Muñoz, R. 1999. Tomato and salinity. *Scientia. Horticulturae* 78: 83–125.
- D'Andrea, A.C., Kahlheber, S., Logan, A.L. y Watson D.J. 2006. Early domesticated cowpea (*Vigna unguiculata*) from Central Ghana. *Antiquity* 81: 686-698.
- Dávila-Aranda, P., Rodríguez Arévalo, I., García-Rojas, L y Lecona-Rodríguez, A. 2016. Ethnobotany and *ex situ* conservation of plant genetic resources in Mexico. En: Lira, R., Casas, A. y Blancas, J. (Eds.). *Ethnobotany of Mexico. Interactions of People and Plants in Mesoamerica*, New York: Springer Nature, pp. 475-490.
- De, AK. 2003. *Capsicum. The Genus Capsicum*. New York: Taylor & Francis.
- De Ávila Blomberg, A. 2004. La clasificación de la vida en las lenguas de Oaxaca. En: García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (Eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*, México: Instituto de Biología – UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza- World Wildlife Fund, México, pp. 481-539.
- De Pascale, Maggio, A., Fofliano, V., Ambrosino, P., y Ritieni, A. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76: 447–453.
- Darwin, C. 2010. *The Variation of Animals and Plants Under Domestication*. Vol 1. New York: Cambridge University Press.
- Decker, D. S. 1988. Origin(s), Evolution, and systematics of *Cucurbita Pepo* (Cucurbitaceae). *Economic Botany* 42: 4-15.
- Diamond, J. 2002. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature* 418:

700-707.

- Doebly, J.F., Gaut, B.S. y Smith, B.D. 2006. The molecular genetics of crop domestication. *Cell* 127: 1309-1321.
- Duchaufour, P., Faivre, P., Poulénard, J. y Gury, M. 2018. *Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement*. 7<sup>a</sup> ed. París: Dunod.
- Engels, J.M.M., Ebert, A.W., Thormann, I y de Vicente, M.C. 2006. Centers of crop diversity and/or origin, genetically modified crops and implications for plant genetic resources conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 1675-1688.
- Erickson, A.N. y Markhart, A.H. 2002. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant, Cell & Environment* 25: 123-130.
- Erickson, A.N. y Markhart, A.H. 2001. Flower production, fruit set, and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 126: 697-702.
- Eshbaugh, H. 1970. A biosystematic and evolutionary study of *Capsicum baccatum*, (Solanaceae). *Brittonia* 22: 31-43.
- Eshbaugh, H. 2012. The taxonomy of the genus *Capsicum*. En Russo, V.M. *Pepper. Botany, Production and Uses*. Oklahoma: CAB International, pp. 14-28
- Flannery, K.V. 1976. *The early Mesoamerican Village*. New York: Academic Press.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1998. *The State of the World's plant genetic resources for food and agriculture*. Roma: FAO.
- Ford, A. y Nigh, R. 2016. *The Maya Forest Garden: Eight Millennia of Sustainable Cultivation of the Tropical Woodlands* (Vol. 6). New York: Routledge.
- Foster, J.B. 2000. *La ecología de Marx. Materialismo y naturaleza*. España: El viejo topo.
- Fowler, C. y Mooney, P. 1990. *Shattering: Food, Politics and the Loss of Genetic Diversity*. Tucson: University Arizona Press.
- Fuller, D.Q. 2007. Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: Recent archaeobotanical insights from the Old World. *Annals of Botany* 100: 903-924.
- Fuller, D.Q. 2012. New archaeobotanical information on plant domestication from macro-remains: Tracking the evolution of domestication syndrome traits. En: Gepts, P., Famula, T.R., Bettinger, R.L, Brush, S.B, Damania, A.B., McGuire, P.E. y Qualset, C.O. *Biodiversity in Agriculture. Domestication, Evolution and Sustainability*, USA: Cambridge University Press, pp. 110-135.
- Fuller, D.Q., Boivin, N., Hoogervorst, T. y Allaby, R. 2011. Across the Indian Ocean: the prehistoric movement of plants and animals. *Antiquity* 85: 544-558.

- Fuller, D.Q., Denham, T., Arroyo-Kalin, M., Lucas, L., Stevens, C.J., Qin, L., Allaby, R.G. y Purugganan, M.D. 2014. Convergent evolution and parallelism in plant domestication revealed by an expanding archaeological record. *PNAS* 111: 6147-6152
- Fuller, D.Q. y Harvey, E.L. 2006. The archaeobotany of Indian pulses: identification, processing and evidence for cultivation. *Environmental Archaeology* 2: 219-246.
- Fusi, J.P. 2012. *Historia mínima de España*. México: El Colegio de México, A.C.
- García, E. – CONABIO. 1998a. 'Isotermas medias anuales'. Escala 1:1000000, México.
- García, E. – CONABIO. 1998b. 'Precipitación total anual'. Escala 1: 1000000. México.
- García, E. - (CONABIO). 1998c. 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México
- García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas. 2004. Introducción. En: García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (Eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*, México: Instituto de Biología – Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gepts, P. y Papa, R. 2002. Evolution during domestication. *Encyclopedia of Life Sciences*, pp. 1-7.
- Gepts, P. 2004. Crop domestication as a long-term selection experiment, *Plant Breeding Reviews* 24: 1-44.
- Gepts, P., Bettinger, R.L., Brush, S.B., Damania, A.B., Famula, T.R., McGuire, P.E. y Qualset, C.O. 2012. Introduction: The Domestication of plants and animals: Ten unanswered questions. En: Gepts, P., Famula, T.R., Bettinger, R.L., Brush, S.B., Damania, A.B., McGuire, P.E. y Qualset, C.O. *Biodiversity in Agriculture, Domestication, Evolution and Sustainability*, USA: Cambridge University Press, pp. 1-8.
- Gepts, P. 2014. Domestication of plants. En Neal Van Alfen (Ed.). *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Vol 2, San Diego: Elsevier, pp. 474-486.
- Gobierno del Estado de Oaxaca. En: <https://www.oaxaca.gob.mx/regiones/>. Consultado el 12 de febrero de 2019.
- González González, C. 2018. *Caracterización de la diversidad de coleópteros como indicadora de tipos de manejo agrícola contrastantes en la Villa de Zaachila, Oaxaca*. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas, UNAM.
- Grieve, C.M., Grattan, S.R. y Maas, E.V. 2012. Plant Salt Tolerance. En: Wallander, W.W. y Tanji, K.K. 2012. *Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71*. Virginia: Environmental & Water Resources Institute.
- Hammer K. 1984. Das domestikationssyndrome. *Kulterpflanze* 32: 11–34.
- Harlan, J.R. 1971. Agricultural origins: Centers and noncenters. *Science* 174: 468-474.

- Harlan, J.R., De Wet, J.M.J. y Price, E.G. 1973. Comparative evolution of cereals. *Evolution* 27: 311-325
- Harlan, J.R. 1975. Our vanishing genetic resources. *Science* 188: 618–621.
- Harlan, J.R. 1992. *Crops and Man*. USA: American Society of Agronomy, Inc. y Crop Science Society of America, Inc.
- Harris, D.R. 1989. An evolutionary continuum of people-plant interaction. In D. R. Harris and G. Hillman. *Foraging and Farming: The Evolution of Plant Exploitation*, London: Unwin Hymanpp. 11–26.
- Harris, D.R y Hillman, G. 1989. *Foraging and Farming: The Evolution of Plant Exploitation*, London: Unwin Hymanpp.
- Harris, D.R. 2012. Evolution of agroecosystems: biodiversity, origins and different developments. En: Gepts, P., Famula, T.R., Bettinger, R.L, Brush, S.B., Damania, A.B., McGuire, P.E. y Qualset, C.O. *Biodiversity in Agriculture, Domestication, Evolution and Sustainability*, USA: Cambridge University Press, pp. 21-56.
- Harris, D.R. y Fuller, D.Q. 2013. Agriculture: definition and overview. En Smith, C. (Ed). 2013 *Encyclopedia of Global Archaeology*, New York: Springer, pp. 104-113.
- Holt-Giménez, E. 2017. *A Foodie's Guide to Capitalism. Understandig the Political Economy of What We Eat*. New York: Monthly Review Press.
- Hunn, E. S. y Williams, N. M. 1982. Introduction. En: Williams, N. M. y Hunn, E. S. (Eds.). *Resource Managers: North America and Australian Hunter-Gatherers*, Boulder, Colorado: Westview Press, pp. 1–16.
- INEGI. 2004. Disponible en línea en: [www.inegi.com.mx](http://www.inegi.com.mx) [consultado el 10 de junio de 2016].
- INEGI. 2016. División política municipal, escala 1:250000, México.
- Jarvis, D., Meyer, L., Klemich, H., Guarino, L., Smale, M., Brown, A., Sadiki, M. y Hodgkin, T. 2000 *A training guide for in situ conservation on-farm*. Roma, Italia: IPGRI
- Jasiński, M. y Bazzaz, F. 1999. The fallacy of ratios and the testability of models in Biology. *Oikos* 84: 321-326.
- Jardón Barbolla, L. 2015. De la evolución al varlor de uso, ida y vuelta: exploraciones en la domesticación y diversificación de plantas. *Interdisciplina* 3: 99-129.
- Katz, E. 2009. Chili pepper, from Mexico to Europe: Food, imaginary and cultural identity. Food, Imaginaries and Cultural Frontiers. Essays in Honour of Helen Macbeth, Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara, Colección Estudios del Hombre, Serie Antropología de la Alimentación, pp. 213-232.

- Khoury, C. K., Achlaconoy, H.A., Bjorkman, A.D., Navarro-Racines, C., Guarino, L., Flores-Palacios, X., Engels, J.M., Wltersema, J.H., Dempewolf, H., Ramírez-Villegas, J., Castañeda-Álvarez, N. P., Fowler, C., Jarvis, A, Rleseberg, L.H. y Strulk, P.C. 2015. Where our food crops come from: A new estimation of countries' interdependance in plant genetic resources. *International Center for Tropical Agriculture* 25: 1-4.
- Kislev, M.E., Harmann, A. y Bar-Yosef. O. 2006. Early domesticated fig in the Jordan Valley. *Science* 312: 1372-1374.
- Knaap, S. 2007. Some like it hot. *Science* 315: 946-947.
- Kraft, K.H., Luna-Ruíz, J.J. y Gepts, P. 2010. Different seed selection and conservation practices for fresh market and dried chile farmers in Aguascalientes, Mexico. *Economic Botany* 64: 318-328.
- Kraft, K.H, Luna-Ruíz, J.J. y Gepts, P. 2013. A new collection of wild populations of *Capsicum* in Mexico and the southern United States. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60: 225-232.
- Kraft, K. H., Brown, C.H., Nabhan, G.P., Luedeling, E., Luna-Ruíz, J.J., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Hijmans, R.J y Gepts, P. 2014. Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicu annuum*, in Mexico. *PNAS* 111: 6165-6170.
- Larson, G, Piperno, D.R., Allaby, R.G., Purugganan, M.D., Andersson, L., Arroyo-Kalin, M., Barton, L., Climer Vigueira, C., Denhan, T., Dobnewjy, K., Doust, A.N., Gepts, P., Gilbert, M.T.P; Gremillion, K.J., Lucas, L., Lukens, L., Marshall, F.B, Olsen, K.M., Pires, J.C., Richerson, P.J., Rubio de Casas, R., Sanjur, O.I., Thomas, M.G. y Fuller, D.Q. 2014. Current perspectivas and future domestication studies. *PNAS* 111: 6139-6146.
- La Vía Campesina. 2003. En <https://viacampesina.org/es/que-es-la-soberania-alimentaria/> Consultado el 10 de julio de 2020.
- Layton, R., Foley, R. y Williams, E. 1991. The transition between hunting and gathering and specialized husbandry of resources. *Current Anthropology* 33: 255-274.
- Lê, S., Josse, J. y Husson, F. 2008. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software* 25:1-18.
- Lefebvre, H. 1976. *Espacio y política*. Barcelona, Ediciones Península, pp. 23-42.
- Lefebvre, H. 2013. *La producción del espacio*. Madrid: Capitán Swing Libros, S. L.
- Legendre, P. y Legendre, L. 1998. *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Levey, D.J., Tewksbury, J.J., Cipollini, M.L. y Carlo, T.A. 2006. A field test of the directed deterrence hypothesis in two species of wild chili. *Oecologia* 150: 61-86.
- Levis, N.A y Pfennig, D.W. 2016. Evaluating 'plasticity-first' evolution in nature: Key Criteria and Empiric Approaches. *Trends in Ecology and Evolution* 31: 563-574.

- Long-Solis, J y Vargas, L.A. 2005. *Food Culture in Mexico*. London: Greenwood Press.
- Long-Solis, J. 2013. Capsicum y cultura. La historia del chilli, México: Fondo de Cultura Económica.
- Long Towell, J. 2009. Los senderos prehispánicos del *capsicum*. En: Long Towel, J. y Attolini Lecón, A. *Caminos y mercados de México*. México: Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM e Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 79-106.
- Long Towell, J. 2014. El *Capsicum* a través de la historia mexicana. En: Richterich, K. (Coord.). *El chile. Protagonista de la independencia y la revolución*. México: Fundación Hérdez, pp. 7-20.
- López Austin, A. 1969. De las enfermedades del cuerpo humano y de las medicinas contra ellas. *Estudios de Cultura Náhuatl* 8: 51-122.
- López Austin, A. y López Luján, L. 2001. *El pasado indígena*. México: FCE.
- López López, P y Castro García, H. 2007. La diversidad genética del chile (*Capsicum spp*) en el estado de Oaxaca. *Agroproduce*, pp. 5-7.
- Luna-Ruíz, J.J., Nabhan, G.P. y Aguilar-Meléndez, A. 2018. Shifts in plant chemical defences of chile pepper (*Capsicum annuum* L.) due to domestication in Mesoamerica. En: Casas, A. Ladio, A.H. y Clement, C.R. *Ecology and Evolution of Plants Under Domestication in the Neotropics*. Lausanne: Frontiers Media, pp. 140-192.
- Lyver, P.O'B, Tomoti, P., Davis, T. y Tylianakis, J.M. 2019. Biocultural hysteresis inhibits adaptation to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution* 34: 771-780.
- Maas, E.V., Clark, R.A. y Francois, L.E. 1982. Sprinkled-induced foliar injury to pepper plants effects of irrigation frequency, duration and water compositio. *Irrigation Science* 3: 101-109.
- MacNeish, R.S. 1976. Mesoamerican Archaeology. *Biennial Review of Anthrology* 5: 306-331.
- Magdoff, F. Y Weil, R.R. 2004. Soil organic matter management strategies. En Magdoff, F. Y Weil, R.R. (Eds). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*, USA: CRC Press, pp. 45- 66.
- Marchenay, Ph., 1987. *A la recherche des variétés locales de plantes cultivées. Guide méthodologique*. Paris: PAGE-PACA.
- Martínez Castillo R, Colunga-García Marín P y Zizumbo-Villareal D. 2008. Genetic erosion and in situ conservation of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) landraces in its Mesoamerican diversity center. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55: 1055-1077.
- Martínez Castillo R, Camacho Pérez L, Coello-Coello J y Andueza-Noh R. 2012. Wholesale replacement of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) landraces over the last 30 years in northeastern Campeche, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59: 191–204.
- Matos Moctezuma, E. 2013. La agricultura en Mesoamérica. *Arqueología Mexicana* 120: 28-35.

- Mazzetto, E. 2018. Ofrendas de chile verde (*chichotl*) en el calendario mexicana. En: Aguilar-Meléndez, A., Vásquez-Dávila, M.A., Katz, E. y Hernández Colorado, M.R. (Eds.). *Los chiles que le dan sabor al mundo*, Marseille: IRD Editions, Universidad Veracruzana, pp: 128-146.
- McClung de Tapia, E. y Zurita Noguera, J. 2000. Las primeras sociedades sedentarias. En Manzanilla, L. y López Luján, L. *Historia Antigua de México. Volumen I: El México antiguo, sus áreas culturales, los orígenes y el horizonte Preclásico*. México: INAH, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM y Grupo Editorial Miguel Ángel Porrúa, pp. 255-295.
- Meyer, R.S. DuVal, A.E. y Jensen, H.R. 2012. Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative análisis of 203 global food crops. *New Phytologist* 196: 29-48.
- Meyer, R.S. y Purugganan, M.D. 2013. Evolution of crop species: Genetics of domestication and diversification. *Nature* 14: 840-852.
- Millán, S. 2008. *Región Sur, tomo 1 Oaxaca Condiciones socioeconómicas y demográficas de la población indígena*. México: Comisión nacional para el desarrollo de los pueblos Indígenas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Mora Van Cauwelaert, E. 2017. *Diagnóstico del movimiento comercial del maíz y de las relaciones económicas y culturales-simbólicas para la siembra del maíz criollo en la Villa de Zaachila, Oaxaca. Un enfoque desde las familias campesinas*. Tesis de maestría. Universidad Internacional de Andalucía.
- Mueller, U.G., Rehner, S.A. y Schultz, T.R. 1998. The evolution of agriculture in ants. *Science* 281: 2034-2038.
- Oksanen, J., Blanchet, F., Friendly, F.G., Kindt, M., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.M, Sxoece, E. y Wagner, H. 2019. *vegan: Community ecology package*. R ackaged version 2.5-6. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Oldfield, M.L. y Alcorn, J.B. 1987. Conservation of traditional agroecosystems. *BioScience* 37: 199-208.
- Ordóñez, M.J. 2004. El territorio, en García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (Eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*, México: Instituto de Biología – Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pagamas, P y Nawata, E. 2008. Sensitive stages of fruit and seed development of chili pepper (*Capsicum annuu*, L. var Shiishito) exposed to high temperature stress. *Scientia Horticulturae* 117: 21-25.
- Pailiy, O. y Shankar, K. 2016. Application of multivariate statistical techniques in microbiol ecology.

*Molecular Ecology* 25: 1032-1057.

- Perales, H.R, B.F. Benz y S.B. Brush. 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *PNAS* 102: 949-954.
- Pérez Martínez, A.L. 2018. *Diversidad genética en poblaciones de chile (Capsicum annuum L.) con diferentes grados de domesticación en el estado de Oaxaca, México*. Tesis de licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Perfecto, I., Vandermeer, J. Y Wright, A. 2009. *Nature's matrix. Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty*. London: Earthscan.
- Perry, L. 2012. Ethnobotany. En: Russo, V.M. *Pepper. Botany, Production and Uses*. Oklahoma: CAB International, pp. 1-13.
- Perry, L y Flannery, K.V. 2007. Precolumbian use of chili peppers in the Valley of Oaxaca, Mexico. *PNAS* 104: 1 1905-1909.
- Pessaraki, M. 2014. Physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to salt stress. in Pessaraki, M. (Ed.). *Handbook of plant and crop physiology*, USA: CRC Press, pp. 635-654.
- Pickersgill, B. 1969. The archeological record of chili peppers (*Capsicum* spp.) and the sequence of plant domestication in Peru. *American Antiquity* 34: 53-61.
- Pickersgill, B. 1997. Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica* 96: 129-133.
- Pickersgill, B. 2007. Domestication of Plants in the Americas: Insights from Mendelian and Molecular Genetics, *Annals of Botany* 100: 925-940.
- Pickersgill, B. 2016. Chile peppers (*Capsicum* spp.). En: Lira, R., Casas, A. y Blancas, J. (Eds.). *Etnobotany of Mexico*, New York: Springer, pp. 417-437.
- Pigilucci, M., Murren, C.J. y Schlichting, C.D. 2006. Phenotypic plasticity and evolution by fenetic assimilation. *The Journal of Experimental Biology* 209: 2363-2367.
- Piperno, D.R. 2006. The origins of plant cultivation and domestication in the Neotropics. En: Kennet, D.J. y Winterhalder, B. (Eds.). *Behavioral Ecology and the Transition to Agriculture*. London England: University of California Press, pp. 1-21.
- Piperno, D.R. 2012. New archaeological information on early cultivation and plant domestication involving microplant (phytolith and starch grain) remains. En: Gepts, P., Famula, T.R., Bettinger, R.L., Brush, S.B., Damania, A.B., McGuire, P.E. y Qualset, C.O. *Biodiversity in Agriculture, Domestication, Evolution and Sustainability*, USA: Cambridge University Press, pp. 136-159.
- Piperno, D.R. y Pearsall, D.M. 1998. *The Origins of Agriculture in the Lowland Neotropics*. London and New York: Academic Press.

- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Purugganan, M.D. y Fuller, D.Q. 2010. Archaeological data reveal slow rates of evolution during plant domestication. *Evolution* 65:171-183.
- Ramos, I. 2020. *La heterogeneidad espacial en regiones de México con distintas estrategias de producción y conservación: tendencias en el tiempo y su relación con la conservación de la biodiversidad*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Raven, P.H., Evert, R.F. y Eichhorn, S.E. 2005. *Biology of Plants*. USA: W.H. Freeman and Company Publishers.
- Rindos, D. 1984. *The Origins of Agriculture. An Evolutionary Perspective*. San Diego, USA: Academic Press Inc.
- Rojas-Aréchiga, M., Casas, A., Vázquez-Yanes, C. 2001. Seed germination of wild and cultivated *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central México. *Journal of Arid Environments* 49: 279-287.
- Rodríguez, G.R., Moyseenko, J.B., Robbins, M.D., Morejón, N.H., Francis, D.M. and Van der Knaap, E. 2010. Tomato Analyzer: A useful software application to collect accurate and detailed morphological and colorimetric data from two-dimensional objects. *J. Vis. Exp.* 37: 1856.
- Rosenswig, R.M., Pearsall, D.M., Masson, M.A., Culleton, B.J. y Kennett, D.J. 2013. Archaic period settlement and subsistence in the Maya lowlands: new starch grain and lithic data from Freshwater Creek, Belize. *Journal of Archaeological Science* 41: 308-321.
- Rylski, I. y Spigelman, M. 1982. Effects of different diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. *Scientia Horticulturae* 17: 101-106.
- Rylski, I. y Spigelman, M. 1986. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Scientia Horticulturae* 29: 31-35.
- Saha, S.R., Hossain, M.M., Rahman, M.M., Huo, C.G. y Abdullah, S. 2010. Effect of high temperature stress on the performance of twelve sweet pepper genotypes. *Bangladesh J. Agril. Res* 35: 525-534.
- Sahagún, Bernardino de. 2000. *Historia general de las cosas de la Nueva España*, México: CONACULTA.
- Sánchez Vázquez, A. 1980. *Filosofía de la praxis*. México: Editorial Grijalvo.
- Sanogo, S. 2004. Response of chili pepper to *Phytophthora capsici* in relation to soil salinity. *Plant Dis.* 88: 205–209.

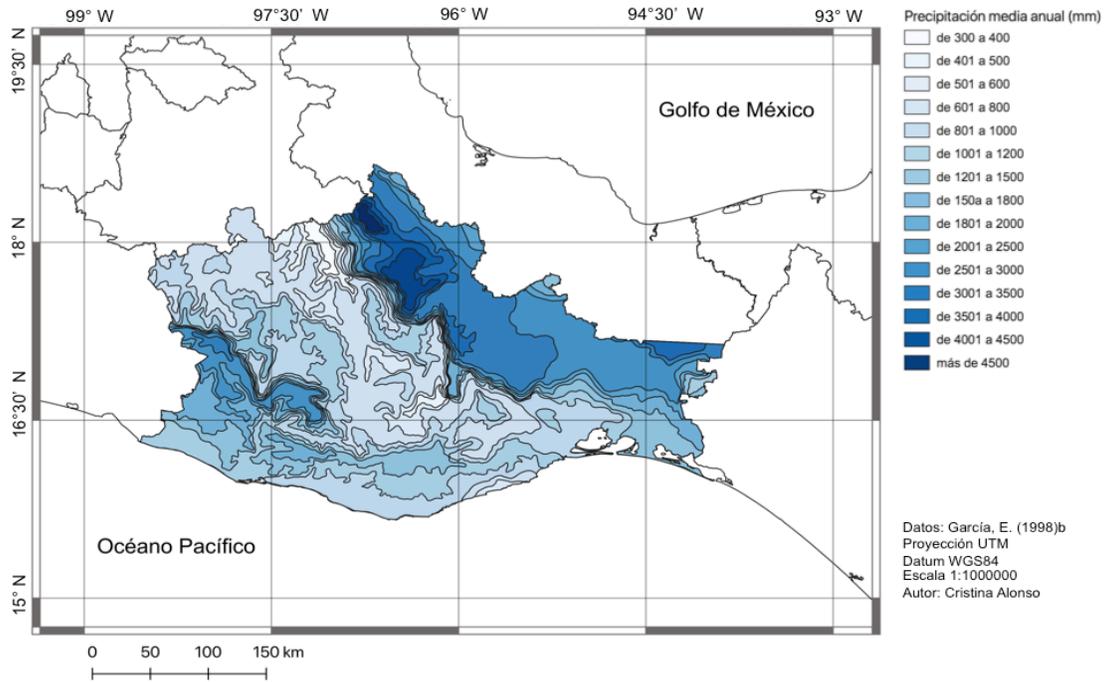
- Schmalhausen, I. I. 1949. *Factors of Evolution: The Theory of Stabilizing Selection*. Philadelphia: The Blakiston Company.
- Schultz, T.R. y Brady, S.G. 2008. Major evolutionary transitions in ant agriculture. *PNAS* 105: 5435-5440.
- Setyowail, N., Mukhtamar, Z y Suriyanti, B. 2014. Growth and yield of chilli pepper as affected by weed based organic compost and nitrogen fertilizer. *International Journal on Advanced Science Engineering Information and Technology* 4: 84-87.
- Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 2006. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
- Smith, B.D. 1997. The initial domestication of *Cucurbita pepo* in the Americas 10,000 Years Ago. *Science* 276: 932-934.
- Smith, B.D. 2001. Low level food production. *Journal of Archaeological Research* 9: 1-43.
- Smith, B.D. 2006. Eastern North America as an independent center of plant domestication. *PNAS* 103: 12223-12228.
- Stommel, J.R. y Albrecht, E. 2012. Genetics. En Russo, V.M. *Pepper. Botany, Production and Uses*. Oklahoma: CAB International, pp. 29-56.
- Sultan, S.E. 1995. Phenotypic plasticity and plant adaptation. *Acta Bot. Neerl* 44: 363-383.
- Sultan, S.E. 2015. *Organism & Environment. Ecological Development, Niche Construction, and Adaptation*. United Kingdom: Oxford University Press.
- Sumbayak, R.S.O., Handajarningsih, M. y Marwat, H. 2019. Different compost materials used as source of organic matter in production of chili pepper. *Akta Agrosia* 22: 7-12.
- Tanno, K. Willcox, G. 2006. How fast was wild wheat domesticated? *Science* 311: 1886.
- Teshome, A., Baum, B.R., Fahrigh, L., Torrance, J.K., Arnason, T.J. y Lambert, J.D. 1997. Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] landrace variation and classification in North Shewa and South Welo, Ethiopia. *Euphytica* 97: 255-263.
- Tewksbury, J.J. y Nabhan, G.P. 2001. Directed deterrence by capsaicin in chillies. *Nature* 412: 403-404.
- Tin, H. Q., Berg, T., y Bjørnstad, Å. 2001. Diversity and adaptation in rice varieties under static (*ex situ*) and dynamic (*in situ*) management. *Euphytica* 122: 491-502.
- Trejo, I. 2004. Clima. En: García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas. (Eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*, México: Instituto de Biología – UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza - World Wildlife Fund, México, pp. 67-85.
- Turner, B.L., Moss, R.H. y Skole, D.L. 1993. Relating Land Use and Global Land-Coverchange: A

- Proposal for an IGBP-HDP Core Project. A Report From the IGBP-HDP Working Group on Land-use/Land-cover Change. International geosphere-biosphere programme, Estocolmo: *Royal Swedish Academy of Sciences*.
- USDA. 1999. *Soil Quality test kit guide*. USA: ARS, USDA, NRCS Soil Quality Institute.
- Vandermeer, J. 2011. *The Ecology of Agroecosystems*, USA: Jones and Bartlett Publishers, LLC.
- Vavilov, N.I. 1926. Centers of origin of cultivated plants. En Vavilov, N.I. *Origin and Geography of Cultivated Plants*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 22-135.
- Vavilov, N. I. 1994. México y Centroamérica como centro básico de origen de las plantas del nuevo mundo. *Revista de Geografía Agrícola*, 20.
- Vera-Guzmán, A.M., Chávez-Servia, J.L., Carrillo-Rodríguez, J.C. y López, M.G. 2011. Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annum* L. And *C. Pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71: 578-585.
- Waddington, C. H. 1942. Canalization of development and the inheritance of acquired characters. *Nature* 150: 563-565.
- Wei, T. y Simko, V. 2017. *R package "corrplot": Visualization of a correlation matrix*, version 0.84. URL: <https://github.com/taiyun/corrplot>
- West-Eberhard, M. J. 2003. *Developmental Plasticity and Evolution*. New York: Oxford University Press.
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York.
- Winterhalder, B y Kennett, D.J. 2006. Behavioral ecology and the transition from hunting gathering to agriculture. En: Kennet, D.J y Winterhalder, B. (Eds.). *Behavioral Ecology and the Transition to Agriculture*. London, England: University of California Press, pp. 1-21
- Zach, B. y Klee, M. 2003. Four thousand years of plant exploitation in the Chad Basin of NE Nigeria II: discussion on the morphology of caryopses of domesticated Pennisetum and complete catalogue of the fruits and seeds of Kursakata. *Vetetation History and Archaeobotany* 12: 187-204.
- Zeder, M.A., Emshwiller, E.. Smith, B.D. y Bradley, D.G. 2006. Documenting domestication: The intersection of genetics and archaeology. *TRENDS in genetics* 3: 139-155.
- Zeder, M.A. y Smith, B.D. 2009. A conversation on agriculture. Talking past each other in a crowded room. *Current Anthropolology* 50: 681- 691.
- Zeder, M.A. 2013. Domestication: Definition and overview. En Smith, C. (Ed). 2013 *Encyclopedia of Global Archaeology*, New York: Springer, pp. 2184-2194.

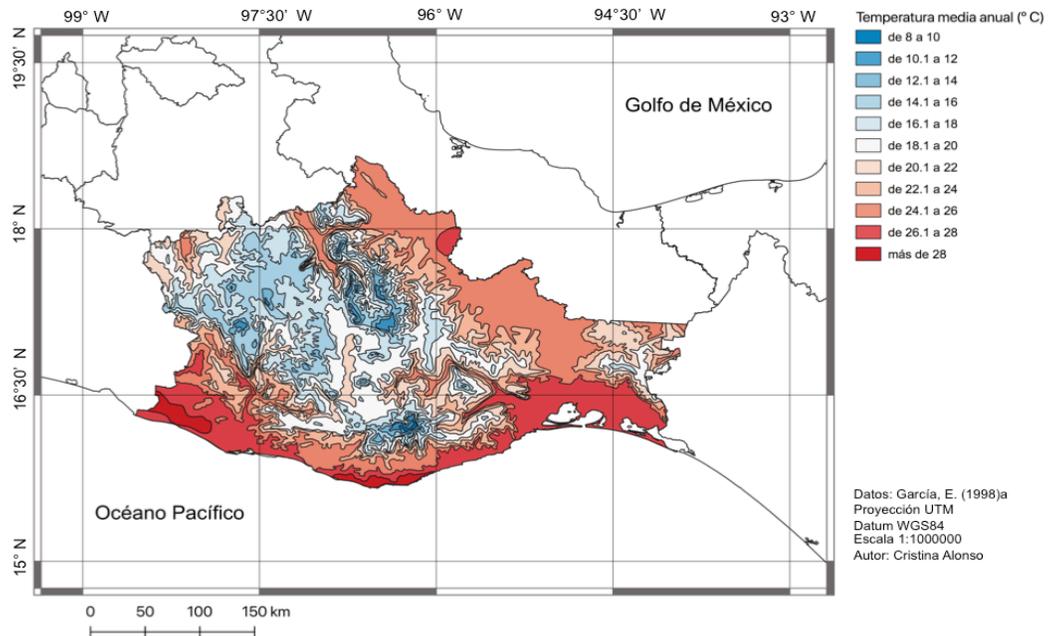
- Zeder, M.A. 2015. Core questions in domestication research. *PNAS* 112: 3191-3198.
- Zeldritch, M.L., Swiderski, D.L., Sheets, H.D. y Fink, W.L. 2004. *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer*. Gran Bretaña: Elsevier.
- Zeven, A.C. 1998. Landraces: A review of definitions and classifications. *Euphytica* 104: 127-139.
- Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J, Fan, J.X., Yang, S., Hu, L., Leung, H., Mew, T.W., Teng, P.S., Wang, Z. y Mundt, C.C. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406: 718-722.
- Zimmerer, K.S. 2014. Conserving agrobiodiversity amid global change, migration, and nontraditional livelihood networks: the dynamic uses of cultural landscape knowledge, *Ecology and Society* 19: 1.

# Apéndice 1. Mapas de Oaxaca

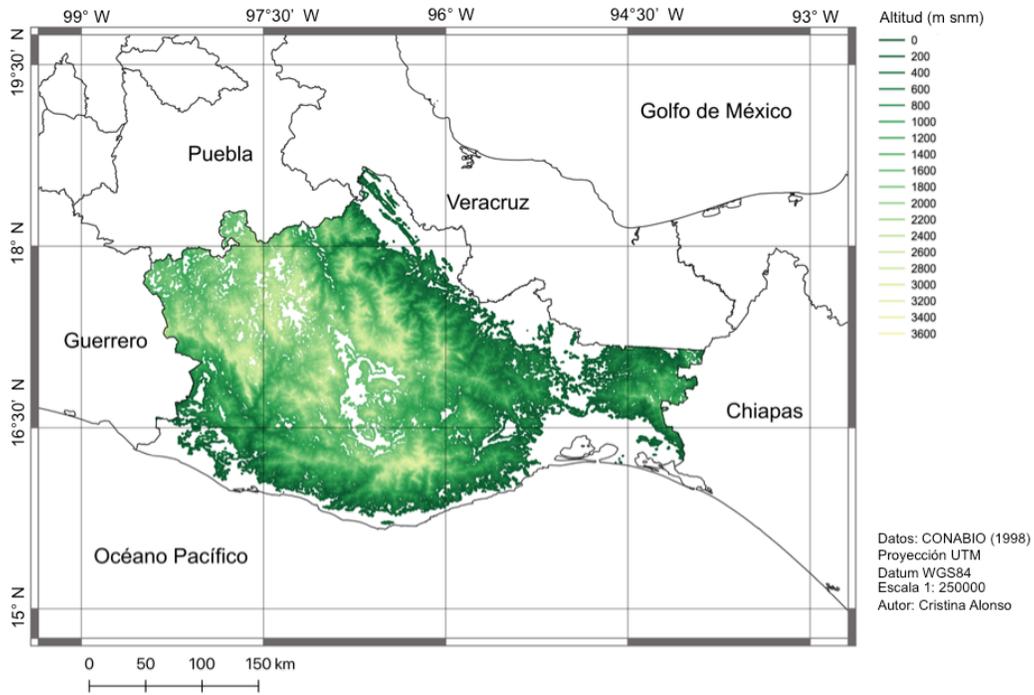
Precipitación media anual del estado de Oaxaca



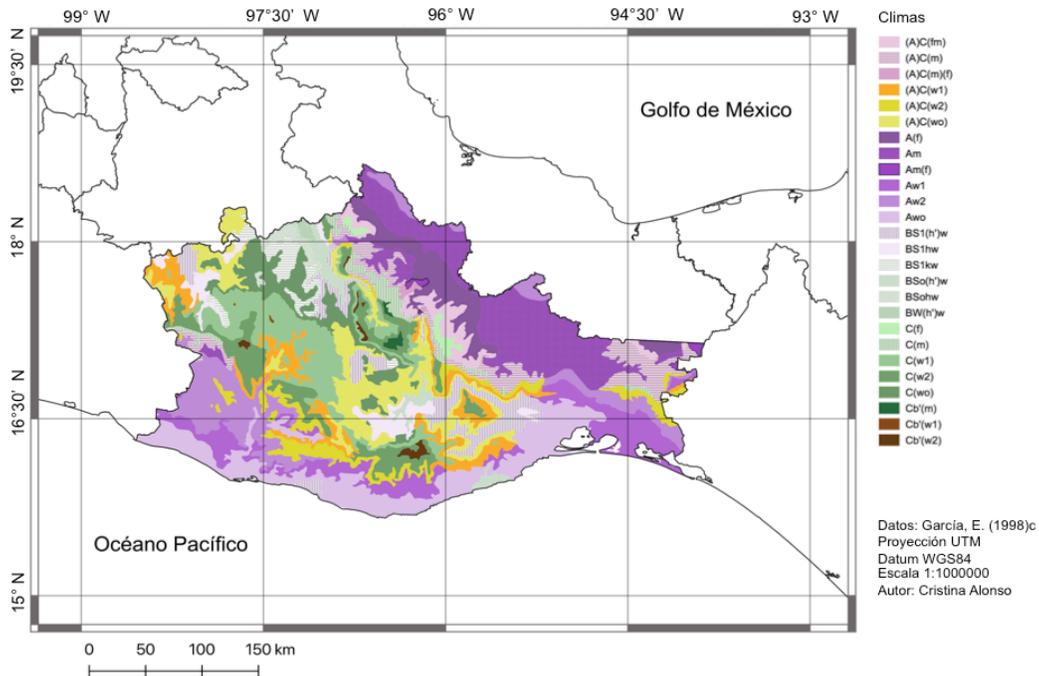
Temperatura media anual del estado de Oaxaca



### Altitud del estado de Oaxaca



### Climas del estado de Oaxaca



## Apéndice 2. Número de localidades y parcelas visitadas y número de plantas y frutos medidos por variedad

<b>Variedad</b>	<b>No. de localidades</b>	<b>No. de parcelas</b>	<b>No. total de plantas</b>	<b>No. total de frutos</b>
<b>Achilito</b>	2	2	15	70
<b>Chiltepe</b>	1	1	15	82
<b>Costeño</b>	3	4	42	150
<b>De agua</b>	1	1	10	30
<b>De árbol</b>	1	1	2	14
<b>De monte</b>	2	2	5	75
<b>Guiña danhi</b>	1	1	12	31
<b>Huacle</b>	2	4	35	102
<b>Mirasol</b>	1	2	5	55
<b>Nanche</b>	1	1	2	35
<b>Nanchita</b>	2	2	7	29
<b>Piquín</b>	3	3	4	31
<b>Puya</b>	1	1	10	41
<b>Solterito</b>	2	3	26	93
<b>Taviche</b>	1	1	9	45
<b>Tusta</b>	2	4	18	159
<b>Zopilote</b>	1	1	2	13

# Apéndice 3. Carta de presentación del proyecto



Ciudad Universitaria, ciudad de México., a 13 de octubre de 2016

A quien corresponda:

El propósito de esta carta es solicitar su apoyo para el trabajo de campo en el marco del proyecto **Diversidad agroecológica en evolución: del organismo al manejo y la cultura**. Este proyecto tiene su sede en el Instituto de Ecología y en el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH) de la Universidad Nacional Autónoma de México y ha sido financiado por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este proyecto busca estudiar distintos aspectos de la agrobiodiversidad en México, usando como ejemplo la producción de chile (*Capsicum annuum*) en distintas localidades del estado de Oaxaca. En cada localidad tomaremos muestras de frutos de distintas variedades de chile para posteriormente poder caracterizar sus diferencias. También se harán entrevistas abiertas a los productores de chile para obtener información acerca de las distintas maneras que se tienen de cultivar chile y las formas en las que éste se consume.

Como parte del proyecto, planeamos compartir con usted el proceso de obtención de datos y los resultados que obtengamos. Es importante resaltar que este proyecto no tiene fines de lucro, ni es parte de ningún programa político. También, nos comprometemos a hacer uso cuidadoso de sus datos y a mantenerlos confidenciales, si así lo prefiere.

Para cualquier aclaración, puede contactarnos en los datos que aparecen abajo. Agradezco de antemano su disponibilidad y ayuda para poder realizar esta investigación. Si tuviera alguna pregunta, con gusto le contestaremos inmediatamente.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente,

Dr. Lev Jardón Barbolla  
Responsable del proyecto  
[levjardon@ciencias.unam.mx](mailto:levjardon@ciencias.unam.mx)  
55.56.23.02.22 ext. 42771

Dra. Mariana Benítez Keinrad  
Responsable del proyecto  
[mbenitez@ieciologia.unam.mx](mailto:mbenitez@ieciologia.unam.mx)  
55.56.23.77.12

Contacto:  
Biol. Cristina Alonso Fernández  
[cristina@ciencias.unam.mx](mailto:cristina@ciencias.unam.mx)  
Tel. 55.55.40.50.84  
Ce. 0.44.55.54.31.41.12

## Apéndice 4. Fichas de las entrevistas

Región: Cañada VC Istmo Costa

Localidad:

Entrevistadores:

### DATOS PERSONALES

Nombre:

Edad:                      Sexo:    F        M

Ocupación actual:

Principal fuente de ingresos:

Lengua:

Etnia:

### CULTIVO CHILE

Variedad(es) que siembra:

Tiempo desde que lo siembra:

De qué depende el tipo de chile que siembra:

Características que busca en la(s) variedad(es) que siembra:

Razones

### USO DEL CHILE

¿Para qué se usa ese tipo de chile?    Cocina    Medicina    Ornamental    Otro

¿Por qué?

### MERCADO

¿Vende o consume los chiles que siembra?    Vende    Consume    Ambos

¿Cómo lo consume?

¿Cuáles vende y cuáles consume?

¿Cómo lo decide?

¿Dónde lo vende?        Mercado local    Mercado regional    Comerciante

Lugar

Frecuencia

¿De dónde obtiene las semillas?

¿Intercambia semillas?    SÍ    NO

¿Con quién(es)?

¿Cómo elige los frutos de los que guarda semilla?

¿Qué cualidades busca en las semillas?

¿Dónde compra las semillas?

Frecuencia:

Desde hace cuánto tiempo:

## **MANEJO**

¿Cómo siembra el chile?    Traspatio    Milpa    P. en policultivo    P. en monocultivo

¿Por qué?

¿Con qué cultivos?

¿Por qué?

¿Cuánto tiempo lleva sembrando chile?

¿Por qué?

¿Tiene riego?    SÍ    NO

¿Todo el año?    Sí    NO

¿Cuándo?

¿Tiene muchas plagas?    SÍ    NO

¿Cuáles?

Cómo las combate?

¿Usa pesticidas o fertilizantes?    SÍ    NO

¿Cuáles?

¿Con qué frecuencia?

¿Usa maquinaria?    Sí    NO

Tipo

## Apéndice 5. Fichas de las variedades de *Capsicum annuum*

# Achilito

**Región:** La Cañada



### Condiciones ambientales

*Altitud:* (a) 590 y (b) 666 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 19.4 y (b) 18.4 °C

*Temperatura máxima:* (a) 31.7 y (b) 30.9 °C

*Temperatura promedio:* (a) 25.5 y (b) 24.6 °C

*Precipitación promedio:* (a) 72.3 y (b) 70.5 mm

### Características del suelo

*Textura de suelo:* (a) 35 % arcilla, 51 % limo, 14 % arena y (b) 5 % arcilla, 15 % limo, 80 % arena

*Carbón orgánico (suelo):* (a) 0.72 y (b) 2.33 g

*Carbón inorgánico (suelo):* (a) 0.69 y (b) 0 g

*pH (suelo):* (a) 7.8 y (b) 7.6

### Características de manejo

*Nivel de intensificación:* (a) policultivo y (b) solar

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* sí

*Plaguicidas y fertilizantes:* sí

*Uso de maquinaria:* no

### Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 62.50 cm (CV 11.8 %)

*Número de frutos por planta:* 23.87 (CV 49.0 %)

*Perímetro de los frutos:* 8.94 cm (CV 36.0 %)

*Ancho a la altura media de los frutos:* 1.14 cm (CV 38.9 %)

*Altura curva de los frutos:* 3.40 cm (CV 35.0 %)

**Grado de domesticación propuesto:** semidomesticado



# Chiltepe

**Región:** La Cañada



## Condiciones ambientales

*Altitud:* 1365 m s.n.m

*Temperatura mínima:* 13.7 °C

*Temperatura máxima:* 26.1 °C

*Temperatura promedio:* 19.9 °C

*Precipitación promedio:* 185.66 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* 24 % arcilla, 46 % limo, 30 % arena

*Carbón orgánico (suelo):* 5.97 g

*Carbón inorgánico (suelo):* 0 g

*pH (suelo):* 7.8

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* monocultivo

*Riego:* no

*Presencia de plagas:* no

*Plaguicidas y fertilizantes:* no

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 20.63 cm (CV 26.9 %)

*Número de frutos por planta:* 33.53 (CV 35.7 %)

*Perímetro de los frutos:* 5.55 cm (CV 18.9 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 0.73 cm (CV 16.3 %)

*Longitud curva de los frutos:* 2.36 cm (CV 18.6 %)

**Grado de domesticación propuesto: semidomesticado**



# Costeño

## Región: Costa



## Condiciones ambientales

*Altitud:* (a) 22 (b.1) 25 (b.4) 11 (c) 147 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 21.7 (b.1) 21.3 (b.4) 21.5 (c) 20.2 °C

*Temperatura máxima:* (a) 35.2 (b.1) y (b.4) 34.3 (c) 32.9 °C

*Temperatura promedio:* (a) 35.2 (b.1) y (b.4) 27.8 (c) 26.5 °C

*Precipitación promedio:* (a) 231 (b.1) 122.8 (b.4) 125.5 (c) 137.5 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* (a) 29 % arcilla, 56 % limo, 15 % arena y (b.1) 16 % arcilla, 37 % limo, 47 % arena y (b.4) 18 % arcilla, 33 % limo, 49 % arena (c) 23 % arcilla, 48 % limo, 29 % arena

*Carbón orgánico (suelo):* (a) 0.81 (b.1) 4.1 (b.4) 0.74 (c) 3.81 g

*Carbón inorgánico (suelo):* (a) 0.03 (b.1) 0 (b.4) 0.11 (c) 0.01 g

*pH (suelo):* (a) 6 (b.1) 6.9 (b.4) 6.4 y (c) 6.7

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* (a) (c) y (b.4) policultivo (b.1) monocultivo

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* sí

*Plaguicidas y fertilizantes:* sí

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 65.24 cm (CV 25.5 %)

*Número de frutos por planta:* 80 (CV 58.0 %)

*Perímetro de los frutos:* 18.44 cm (CV 31.0 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 1.83 cm (CV 25.2 %)

*Longitud curva de los frutos:* 7.33 cm (CV 32.0 %)

## Grado de domesticación propuesto: domesticado



# De agua

**Región:** Valles Centrales



## Condiciones ambientales

*Altitud:* 1562 m s.n.m

*Temperatura mínima:* 41.1 °C

*Temperatura máxima:* 27.9 °C

*Temperatura promedio:* 21 °C

*Precipitación promedio:* 97.83 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* 45 % arcilla, 5 % limo, 50 % arena

*Carbón orgánico (suelo):* 0.97 g

*Carbón inorgánico (suelo):* 0 g

*pH (suelo):* 7.2

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* monocultivo

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* sí

*Plaguicidas y fertilizantes:* sí

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 60.45 cm (CV 7.7 %)

*Número de frutos por planta:* 14.7 (CV 28 %)

*Perímetro de los frutos:* 21.74 cm (CV 16.8 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 2.55 cm (CV 30.9 %)

*Longitud curva de los frutos:* 7.87 cm (C.V. 18.8 %)

**Grado de domesticación propuesto: domesticado**



# De árbol

**Región:** Valles Centrales



## Condiciones ambientales

*Altitud:* 1518 m s.n.m

*Temperatura mínima:* 14 °C

*Temperatura máxima:* 27.8 °C

*Temperatura promedio:* 20.9 °C

*Precipitación promedio:* 91.33 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* 29 % arcilla, 50 % limo, 21 % arena

*Carbón orgánico (suelo):* 1.3 g

*Carbón inorgánico (suelo):* 0 g

*pH (suelo):* 7.8

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* policultivo

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* no

*Plaguicidas y fertilizantes:* no

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 91 cm (CV 10.9 %)

*Número de frutos por planta:* 24 (CV 41.3 %)

*Perímetro de los frutos:* 14.24 cm (CV 26.6 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 0.72 cm (CV 39.7 %)

*Longitud curva de los frutos:* 6.14 cm (C.V. 26.2 %)

**Grado de domesticación propuesto: domesticado**



# De monte

**Región:** Costa e Istmo



## Condiciones ambientales

*Altitud:* (a) 121 y (b) 29 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 20.8 y (b) 22.7 °C

*Temperatura máxima:* (a) 33.3 y (b) 31.6 °C

*Temperatura promedio:* 27 °C

*Precipitación promedio:* (a) 122.7 y (b) 143.7 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* (a) 30 % arcilla, 41 % limo, 29 % arena y (b) 35 % arcilla, 55 % limo, 10 % arena

*Carbón orgánico:* (a) 2.84 y (b) 1.51 g

*Carbón inorgánico:* (a) 0.07 y (b) 0.05 g

*pH:* (a) 6.9 y (b) 6.8

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* arvense

*Riego:* no

*Presencia de plagas:* no

*Plaguicidas y fertilizantes:* no

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 92.80 cm (CV 66.6 %)

*Número de frutos por planta:* 443.2 (CV 68.2 %)

*Perímetro de los frutos:* 2.27 cm (CV 7.7 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 0.54 cm (CV 7.5 %)

*Longitud curva de los frutos:* 1.00 cm (CV 9.7 %)

**Grado de domesticación propuesto:** silvestre



# Guiña danhi

**Región:** Istmo



## Condiciones ambientales

*Altitud:* 14 m s.n.m

*Temperatura mínima:* 23.2 °C

*Temperatura máxima:* 32.8 °C

*Temperatura promedio:* 28 °C

*Precipitación promedio:* 138.83 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* 35 % arcilla, 34 % limo, 31 % arena

*Carbón orgánico (suelo):* 1.55 g

*Carbón inorgánico (suelo):* 0.1 g

*pH (suelo):* 7.4

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* monocultivo

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* sí

*Plaguicidas y fertilizantes:* sí

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 39.25 cm (CV 14.5 %)

*Número de frutos por planta:* 24.6 (CV 54.5 %)

*Perímetro de los frutos:* 14.8 cm (CV 21.5 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 1.39 cm (CV 30.8 %)

*Longitud curva de los frutos:* 5.83 cm (CV 23.3 %)

**Grado de domesticación propuesto: domesticado**



# Huacle

**Región:** Cañada



## Condiciones ambientales

*Altitud:* (a) 874 (b) 590 (c) 651 (d) 666 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 16.7 (b) 19.4 (c) 18.2 (d) 18.4 °C

*Temperatura máxima:* (a) 30.6 (b) 31.7 (c) 30.6 (d) 30.9 °C

*Temperatura promedio:* (a) 23.7 (b) 25.5 (c) 24.4 (d) 24.6 °C

*Precipitación promedio:* (a) 65.5 (b) 72.3 (c) 82.3 (d) 70.5 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* (a) 42 % arcilla, 40 % limo, 18 % arena (b) 35 % arcilla, 51 % limo, 14 % arena (c) 35 % arcilla, 55 % limo, 10 % arena (d) 5 % arcilla, 15 % limo, 80 % arena

*Carbón orgánico:* (a) 1.12 (b) 0.72 (c) 1.01 (d) 2.33 g

*Carbón inorgánico:* (a) 0.36 (b) 0.69 (c) 0.64 (d) 0 g

*pH:* (a) 7.1 (b) 7.8 (c) 7.4 (d) 7.6

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* (a) (b) y (c) monocultivo y (d) solar

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* sí

*Plaguicidas y fertilizantes:* sí

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 69.05 cm (CV 26.7 %)

*Número de frutos por planta:* 9.2 (CV 51.1 %)

*Perímetro de los frutos:* 21.91 cm (CV 34.2 %)

*Ancho a la altura media de los frutos:* 3.93 cm (CV 33.8 %)

*Altura curva de los frutos:* 7.30 cm (CV 39.3 %)

**Grado de domesticación propuesto:** domesticado



# Mirasol

**Región:** Costa



## Condiciones ambientales

*Altitud:* (a) 130 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 20.3 °C

*Temperatura máxima:* (a) 33 °C

*Temperatura promedio:* 26.6 °C

*Precipitación promedio:* (a) 133.7 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* 19 % arcilla, 46 % limo, 35 % arena

*Carbón orgánico (suelo):* 0.54 g

*Carbón inorgánico (suelo):* 0 g

*pH (suelo):* 5.8

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* policultivo

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* no

*Plaguicidas y fertilizantes:* no

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 81 cm (CV 26.9 %)

*Número de frutos por planta:* 644.7 (CV 65.2 %)

*Perímetro de los frutos:* 4.21 cm (CV 11.3 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 0.56 cm (CV 13.4 %)

*Longitud curva de los frutos:* 1.85 cm (CV 11 %)

**Grado de domesticación propuesto:** semisilvestre



# Nanche

**Región:** Costa



## Condiciones ambientales

*Altitud:* (a) 130 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 20.3 °C

*Temperatura máxima:* (a) 33 °C

*Temperatura promedio:* 26.6 °C

*Precipitación promedio:* (a) 133.7 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* 19 % arcilla, 46 % limo, 35 % arena

*Carbón orgánico (suelo):* 0.54 g

*Carbón inorgánico (suelo):* 0 g

*pH (suelo):* 5.8

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* policultivo

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* no

*Plaguicidas y fertilizantes:* no

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 124 cm (CV 34.2 %)

*Número de frutos por planta:* 733.5 (CV 76.1 %)

*Perímetro de los frutos:* 3.12 cm (CV 10 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 0.68 cm (CV 13.2 %)

*Longitud curva de los frutos:* 1.30 cm (CV 10.2 %)

**Grado de domesticación propuesto: semisilvestre**



# Nanchita

**Región:** Valles Centrales



## Condiciones ambientales

*Altitud:* (a) 1715 (b) 1507 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 11.9 (b) 14.1 °C

*Temperatura máxima:* (a) 25.5 y (b) 27.8 °C

*Temperatura promedio:* (a) 18.7 (b) 20.9 °C

*Precipitación promedio:* (a) 98.3 (b) 91 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* (a) y (b) 35 % arcilla, 34 % limo, 31 % arena

*Carbón orgánico:* (a) 2.33 (b) 1.47 g

*Carbón inorgánico:* (a) 2-72 (b) 0.22 g

*pH:* 7.9

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* (a) solar (b) policultivo

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* (a) no (b) sí

*Plaguicidas y fertilizantes:* (a) no (b) sí

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (perímetro)

*Altura de las plantas:* 89.64 cm (CV 34.3 %)

*Número de frutos por planta:* 29.7 (CV 115.8 %)

*Perímetro de los frutos:* 7.91 cm (CV 16.8 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 1.33 cm (CV 20.3 %)

*Longitud curva de los frutos:* 2.98 cm (CV 15.5 %)

**Grado de domesticación propuesto:** semidomesticado



# Piquín

**Región:** Costa, Istmo y Valles Centrales



## Condiciones ambientales

*Altitud:* (a) 18 (b) 11 (c) 1715 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 21.8 (b) 21.4 y 21.5 (c) 11.9 °C

*Temperatura máxima:* (a) 33.6 (b) y (c) 34.4 °C

*Temperatura promedio:* (a) 27.6 (b) y (c) 27.9 °C

*Precipitación promedio:* (a) 65.8 (b) 125.8 (c) 98.3 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* (a) 5 % arcilla, 15 % limo, 80 % arena (b) 24 % arcilla, 29 % limo, 48 % arena (c) 35 % arcilla, 34 % limo, 48 % arena

*Carbón orgánico:* (a) 0.80 (b) 1.36 (c) 2.33 g

*Carbón inorgánico:* (a) 0.07 (b) 0.11 (c) 2.72 g

*pH:* (a) 6.7 (b) 7.5 (c) 7.9

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* (a) solar (b) y (c) traspatio

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* no

*Plaguicidas y fertilizantes:* no

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 107.3 cm (CV 50.6 %)

*Número de frutos por planta:* 213.5 (CV 108.5 %)

*Perímetro de los frutos:* 4.88 cm (CV 11.5 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 0.57 cm (CV 13.6 %)

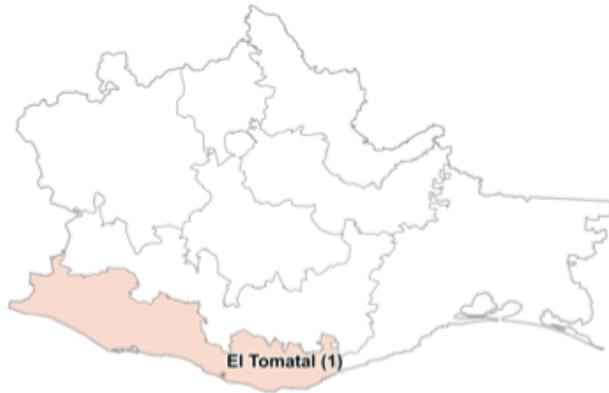
*Longitud curva de los frutos:* 2.18 cm (CV 12.3 %)

**Grado de domesticación propuesto: semisilvestre**



# Puya

**Región:** Costa



## Condiciones ambientales

*Altitud:* 25 m s.n.m

*Temperatura mínima:* 21.3 °C

*Temperatura máxima:* 34.3 °C

*Temperatura promedio:* 27.8 °C

*Precipitación promedio:* 122.8 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* 16 % arcilla, 37 % limo, 47 % arena

*Carbón orgánico:* 4.1 g

*Carbón inorgánico:* 0 g

*pH:* 6.9

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* monocultivo

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* sí

*Plaguicidas y fertilizantes:* sí

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos de todos los frutos

*Altura de las plantas (promedio):* 72.20 cm (CV 21.1 %)

*Número de frutos por planta (promedio):* 131.5 (CV 69.8 %)

*Perímetro de los frutos (promedio):* 20.5 cm (CV 10.7 %)

*Ancho a la longitud media (promedio):* 1.52 cm (CV 25.5 %)

*Longitud curva (promedio):* 8.47 cm (CV 11.2 %)

**Grado de domesticación propuesto: domesticado**



# Solterito

**Región:** Valles Centrales



## Condiciones ambientales

*Altitud:* (a) 1715 (b.2) 1507 (b.3) 1523 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 11.9 (b.2) y (b.3) 14.0 °C

*Temperatura máxima:* (a) 25.5 (b.2) y (b.3) 27.0 °C

*Temperatura promedio:* (a) 18.7 (b.2) y (b.3) 20.9 °C

*Precipitación promedio:* (a) 98.33 (b.2) 91 (b.3) 92.7 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* (a) (b.2) y (b.3) 35 % arcilla, 34 % limo, 31 %

*Carbón orgánico:* (a) 2.33 (b.2) 1.47 (b.3) 1.48 g

*Carbón inorgánico:* (a) 2.72 (b.2) 0.22 (b.3) 0.1 g

*pH:* (a) y (b.2) 7.9 (b.3) 8

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* (a) y (b.3) solar y (b.2) policultivo

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* (a) y (b.3) no (b.2) sí

*Plaguicidas y fertilizantes:* (a) y (b.3) no (b.2) sí

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 112.7 cm (CV 45.7 %)

*Número de frutos por planta:* 40.7 (CV 108.0 %)

*Perímetro de los frutos:* 10.8 cm (CV 17.1 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 1.07 cm (CV 21.2 %)

*Longitud curva de los frutos:* 4.46 cm (CV 17.3 %)

**Grado de domesticación propuesto: semidomesticado**



# Taviche

**Región:** Valles Centrales



## Condiciones ambientales

*Altitud:* 1678 m s.n.m

*Temperatura mínima:* 13.1 °C

*Temperatura máxima:* 25.4 °C

*Temperatura promedio:* 26.6 °C

*Precipitación promedio:* 76 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* 18 % arcilla, 41 % limo, 41 % arena

*Carbón orgánico:* 2.11 g

*Carbón inorgánico:* 0.08 g

*pH:* 7.9

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* solar

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* sí

*Plaguicidas y fertilizantes:* sí

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 134.9 cm (CV 116.8 %)

*Número de frutos por planta:* 46.3 (CV 58.0 %)

*Perímetro de los frutos:* 12.9 cm (CV 22.7 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 2.0 cm (CV 21.7 %)

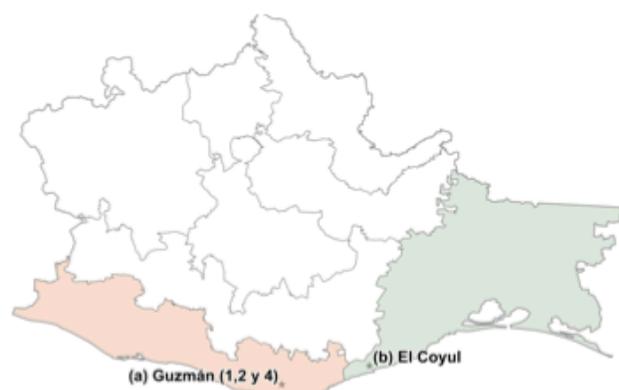
*Longitud curva de los frutos:* 4.63 cm (CV 24.7 %)

**Grado de domesticación propuesto: domesticado**



# Tusta

**Región:** Costa e Istmo



## Condiciones ambientales

*Altitud:* (a.1) 133 (a.2)130 (a.4) 147 (b) 18 m s.n.m

*Temperatura mínima:* (a) 20.2 (b) 21.8 °C

*Temperatura máxima:* (a) 33.9 (b) 33. 6 °C

*Temperatura promedio:* (a) 26.5 (b) y (c) 27.9 °C

*Precipitación promedio:* (a) 136.2 (b) 65.8 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* (a.1) 12 % arcilla, 23 % limo, 65 % arena (a.2) 19 % arcilla, 46 % limo, 35 % arena (a.4) 23 % arcilla, 48 % limo, 29 % arena (b) 5 % arcilla, 15 % limo, 80 % arena

*Carbón orgánico:* (a.1) 1.28 (a.2) 0.54 (a.4) 3.81 (b) 0.8 g

*Carbón inorgánico:* (a.1) 0.06 (a.2) 0 (a.4) 0.01 (b) 0.07 g

*pH:* (a.1) 7.6 (a.2) 5.8 (a.4) 6.7 (b) 6.7 g

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* (a) policultivo (b) traspatio

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* (a) sí (b) no

*Plaguicidas y fertilizantes:* (a) sí (b) no

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 73.4 cm (CV 30.9 %)

*Número de frutos por planta:* 204.3 (CV 104.9 %)

*Perímetro de los frutos:* 4.46 cm (CV 23.7 %)

*Ancho a la longitud media de los frutos:* 1.38 cm (CV 19.3 %)

*Longitud curva de los frutos:* 2.41 cm (CV 23.7 %)

**Grado de domesticación propuesto: domesticado**



# Zopilote

**Región:** Istmo



## Condiciones ambientales

*Altitud:* 28 m s.n.m

*Temperatura mínima:* 23.2 °C

*Temperatura máxima:* 32.9 °C

*Temperatura promedio:* 28 °C

*Precipitación promedio:* 140.7 mm

## Características del suelo

*Textura de suelo:* 35 % arcilla, 34 % limo, 31 % arena

*Carbón orgánico:* 1.87 g

*Carbón inorgánico:* 0.04 g

*pH:* 7.6

## Características de manejo

*Nivel de intensificación:* traspatio

*Riego:* sí

*Presencia de plagas:* no

*Plaguicidas y fertilizantes:* no

*Uso de maquinaria:* no

## Rasgos fenotípicos (promedio)

*Altura de las plantas:* 62.5 cm (CV 14.7 %)

*Número de frutos por planta:* 67 (CV 78.1 %)

*Perímetro de los frutos:* 3.86 cm (CV 16.0 %)

*Ancho a la longitud de los frutos:* 0.44 cm (CV 20.8 %)

*Longitud curva de los frutos:* 1.76 cm (CV 16.2 %)

**Grado de domesticación propuesto:** semisilvestre

