



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA  
INSTITUTO DE HORTICULTURA  
DOCTORADO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

## ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE EUFORBIAS NATIVAS DE MÉXICO PARA SU USO SUSTENTABLE COMO ORNAMENTALES

### TESIS

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

MÓNICA LAURA PÉREZ NICOLÁS

Bajo la supervisión de: DRA. MARIA TERESA BERYL  
COLINAS Y LEÓN

Chapingo, México, junio de 2020



**APROBADA**

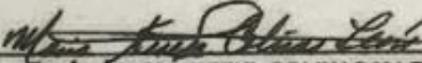


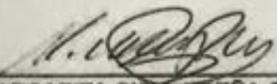
Instituto de Horticultura

**ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE EUFORBIAS NATIVAS DE MÉXICO  
PARA SU USO SUSTENTABLE COMO ORNAMENTALES**

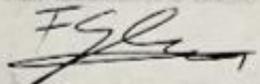
Tesis realizada por Mónica Laura Pérez Nicolás bajo la supervisión del  
Comité Asesor Indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito  
parcial para obtener el grado de:

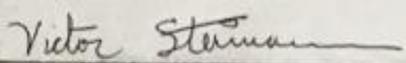
**DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

DIRECTOR:   
DRA. MARÍA TERESA BERYL COLINAS Y LEÓN

ASESOR:   
DRA. MARGARITA GISELA PEÑA ORTEGA

ASESOR:   
DR. IRAN ALIA TEJACAL

ASESOR:   
DR. FERNANDO GONZÁLEZ ANDRÉS

LECTOR EXTERNO:   
DR. VICTOR STEINMANN

## CONTENIDO

<b>1.INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	16
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	23
2.1. Formas de manejo	23
2.2. Recursos Fitogenéticos	24
2.3. Plantas ornamentales	26
2.4. Potencial ornamental	29
2.5. Mejoramiento genético en ornamentales	30
2.6. Familia Euphorbiaceae y género <i>Euphorbia</i>	30
2.7. Subgénero <i>Chamaesyce</i>	32
2.8. Literatura citada	32
<b>3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE ESPECIES DE <i>Euphorbia</i> sect. <i>Poinsettia</i> CON POSIBLE USO ORNAMENTAL EN MÉXICO</b>	38
3.1. Introducción	40
3.2. Materiales y Métodos	44
3.3. Resultados	47
3.4. Discusión	57
3.5. Conclusiones	62
3.6. Literatura citada	63
<b>4. <i>Euphorbia fulgens</i> Karw. ex Klotzsch, ESPECIE MICROENDÉMICA DE MÉXICO Y CULTIVADA COMO ORNAMENTAL EN EL EXTRANJERO</b>	72
4.1. Introducción	73
4.2. Materiales y métodos	74
4.3. Resultados y discusión	77
4.4. Conclusiones	88
4.5. Literatura citada	89

<b>5. VARIACIÓN FENOTÍPICA EN POBLACIONES SILVESTRES Y BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO DE UNA ESPECIE MICROENDÉMICA DE MÉXICO: <i>Euphorbia fulgens</i> Karw. ex Klotzsch</b>	92
5.1. Introducción	93
5.2. Materiales y métodos	95
5.3. Resultados	101
5.4. Discusión	109
5.5. Conclusiones	112
5.6. Literatura citada	113
<b>6. DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA DE <i>Euphorbia fulgens</i> Karw. ex Klotzsch, ESPECIE MICROENDÉMICA DE LA SIERRA SUR DE OAXACA, MÉXICO</b>	118
6.1. Introducción	119
6.2. Materiales y métodos	123
6.3. Resultados	126
6.4. Conclusiones	130
6.5. Literatura citada	131
<b>7. EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA EN SEMILLAS DE <i>Euphorbia fulgens</i> Karw. ex Klotzsch</b>	136
7.1. Introducción	137
7.2. Materiales y métodos	139
7.3. Resultados y discusión	142
7.4. Conclusiones	150
7.5. Literatura citada	151

## Lista de cuadros

### Capítulo 4

- Cuadro 1. Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo en tres poblaciones de *Euphorbia fulgens* del estado de Oaxaca, México. 82
- Cuadro 2. Estados fenológicos de *Euphorbia fulgens* de acuerdo a la escala BBCH. 87

### Capítulo 5

- Cuadro 1. Características principales de las localidades donde se ubican las poblaciones silvestres de *Euphorbia fulgens*. 96
- Cuadro 2. Variables morfométricas de tres poblaciones silvestres de *Euphorbia fulgens* del estado de Oaxaca, México. 103
- Cuadro 3. Variables morfométricas de plantas bajo invernadero de *Euphorbia fulgens* procedentes de tres poblaciones de colecta del estado de Oaxaca, México. 107

### Capítulo 6

- Cuadro 1. Especies del género *Euphorbia* que se distribuyen en un sólo estado de México. 123
- Cuadro 2. Descripción de los loci microsatélites utilizados en *Euphorbia fulgens*. 126
- Cuadro 3. Medidas de diversidad genética de tres poblaciones de *Euphorbia fulgens*. 128
- Cuadro 4. Proporción de miembros de cada población predefinida en los dos grupos. 130

### Capítulo 7

- Cuadro 1. Variables morfométricas de plantas de *Euphorbia fulgens* a diferentes dosis de radiación gamma  $^{60}\text{Co}$ . 146
- Cuadro 2. Variables morfométricas de plantas de *Euphorbia fulgens* obtenidas de semillas irradiadas procedentes de dos sitios de colecta del estado de Oaxaca, México. 149

## Lista de figuras

### Capítulo 3

Figura 1. Fases a considerar en la búsqueda de nuevos cultivos para uso ornamental. Modificado de Armitage (1986).	46
Figura 2. Distribución geográfica de <i>Euphorbia cyathophora</i> con base en ejemplares de herbario y colectas realizadas en este trabajo.	50
Figura 3. Distribución geográfica de <i>Euphorbia heterophylla</i> con base en ejemplares de herbario y colectas realizadas en este trabajo.	50
Figura 4. Distribución geográfica de <i>Euphorbia pulcherrima</i> con base en ejemplares de herbario y colectas realizadas en este trabajo.	51
Figura 5. Distribución geográfica en México de <i>Euphorbia radians</i> y <i>E. radians</i> var. <i>stormiae</i> .	51
Figura 6. Distribución geográfica de especies endémicas de México con base en registros de herbarios.	53
Figura 7. Distribución geográfica de especies endémicas de México con base en registros de herbarios y colectas en este trabajo.	53
Figura 8. Distribución geográfica de hierbas anuales con base en el clima y tipo suelo.	55
Figura 9. Distribución geográfica de hierbas perennes y arbustos con base en el tipo de clima.	55
Figura 10. Especies del <i>Euphorbia</i> sect. <i>Poinsettia</i> con potencial ornamental.	58

### Capítulo 4

Figura 1. Variedades comercializadas como flor de corte en otros países (tomado de Flower Nursery De Googh, 2018).	78
Figura 2. Distribución geográfica de <i>Euphorbia fulgens</i> en México.	80
Figura 3. Población uno de <i>Euphorbia fulgens</i> en San Jerónimo Coatlán, Oaxaca.	80
Figura 4. Población dos de <i>Euphorbia fulgens</i> en los límites de Santiago Jamiltepec y Santiago Tetepec, Oaxaca.	81
Figura 5. Población tres de <i>Euphorbia fulgens</i> en Santa Catarina Juquila, Oaxaca.	81

Figura 6. <i>Euphorbia fulgens</i> Karw. ex Klotzsch: A. rama con flores; B. Ciatio, a. apéndices petalíferos, b. ovario; C. cápsula, D. semilla.	83
Figura 7. Valores estéticos en <i>Euphorbia fulgens</i> .	84
Figura 8. Etapas fenológicas en <i>Euphorbia fulgens</i> cultivada bajo invernadero.	86
Figura 9. Visitantes florales en poblaciones silvestres de <i>E. fulgens</i> .	88

## Capítulo 5

Figura 1. Ubicación geográfica de poblaciones silvestres de <i>E. fulgens</i> en México.	96
Figura 2. Poblaciones silvestres de <i>E. fulgens</i> del estado de Oaxaca.	99
Figura 3. <i>E. fulgens</i> bajo invernadero en su primer ciclo de cultivo.	100
Figura 4. Análisis lineal discriminante entre tres poblaciones silvestres de <i>E. fulgens</i> del estado de Oaxaca.	105
Figura 5. Análisis discriminante lineal entre tres poblaciones silvestres y bajo invernadero de <i>E. fulgens</i> del estado de Oaxaca.	106

## Capítulo 6

Figura 1. Análisis de la estructura genética de tres poblaciones de <i>Euphorbia fulgens</i> con 8 SSR. Gráfico generado con las salidas del programa Structure y organizados por el valor K. Cada color representa un grupo (cluster) definido por el programa. Población 1, 2 y 3.	130
--	-----

## Capítulo 7

Figura 1. Porcentaje de emergencia de plántulas de <i>E. fulgens</i> , provenientes de dos sitios de colecta en México (A) sitio 1, (B) sitio 2.	144
Figura 2. Supervivencia de plantas de <i>E. fulgens</i> , provenientes de semillas irradiadas con rayos gamma $^{60}\text{Co}$ , de dos sitios de colecta en México (A) sitio 1, (B) sitio 2.	145
Figura 3. Malformaciones observadas en plantas obtenidas a partir de semillas irradiadas.	148

## Lista de apéndices

### Capítulo 3

Apéndice 1. Clasificaciones que hacen referencia a la sección <i>Poinsettia</i> .	68
Apéndice 2. Nombres comunes, usos y floración de especies de <i>Euphorbia</i> sect. <i>Poinsettia</i> subsect. <i>Stormiae</i> .	69
Apéndice 3. Especies de <i>Euphorbia</i> sect. <i>Poinsettia</i> subsect. <i>Stormiae</i> .	70
Apéndice 4. Características morfológicas de especies de <i>Euphorbia</i> sect. <i>Poinsettia</i> subsect. <i>Stormiae</i> .	71

### Capítulo 4

Apéndice 1. Metodología para análisis de suelo utilizada en el Laboratorio Central Universitario. Departamento de Suelos.	91
---	----

### Capítulo 5.

Apéndice 1. Variables morfométricas evaluadas en <i>Euphorbia fulgens</i> .	117
---	-----

### Capítulo 6

Apéndice 1. Prueba de desequilibrio de ligamiento ( $p = 0.05$ ).	133
Apéndice 2. AMOVA utilizando 8 loci amplificados	133
Apéndice 3. AMOVA utilizando 3 loci amplificados	134
Apéndice 4. Índices FIS específicos por población.	134
Apéndice 5. Comparación por pares de poblaciones utilizando pruebas pareadas.	134
Apéndice 6. Matriz de Slatkin linearizada.	135

**Dedico esta tesis a mi mamá: Lucila**

### **A conversation between two Roses**

“Choose me” said the white rose from Holland  
“I am grown in a greenhouse, covered under special polythene  
To protect me from heavy rainfall and harsh sun beams.  
My soil is prepared from farmyard manure  
And I am raised on a bed to make me secure.  
Gravel sand at my roots to provide better drainage,  
With a lush, porous soil to provide air without shortage.  
Grown for six weeks I remain disease free  
Avoiding desiccation through 80 % humidity!  
Irrigated with acidic low-saline water,  
To pitch-perfect pH and just the right moisture.  
Fertilized daily for the first 13 weeks,  
I dine on micronutrients until I reach my peak.  
As I blossom and spread I am cut by machine  
Then packaged and sprayed with protective citrine.  
I have travelled by air to lie here in your store  
Nature and science combine in my core”.

“No, choose me” said the red rose of Kenya.  
“I was born and matured under natural sun-rays”,  
I felt the four winds’ caresses throughout my days.  
African workers earned money from me  
The fourth biggest export from Kenya’s economy!  
My only regret is flying four thousand miles  
And the crystals and vapour I left in my trails.  
Despite my long journey I am still Young and fresh  
As I kiss British nostrils with my vibrant scent.  
Who needs glass-houses or strange sediment?  
To traditional farming I pay treatment.  
Side by side the roses wait  
For the customer to decide their fate.  
Pondering, she picks the Kenyan rose  
To delight her conscience as well as her nose.

Doughty, 2013

(tomado del libro Horticulture: Plants for People and Places, 2014)

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia: mamá Lucila, papá Pedro, hermanos (Lety, Lucy y Arturo), sobrinos (Luis, Mario y Fernanda) y Darwin por su compañía, comprensión, amor y apoyarme siempre. En especial Lety por ayudarme a realizar mis sueños. A mis padrinos porque puedo contar con ellos.

A Teté por ser un ángel en mi vida, como una madre y una excelente amiga, por todo lo que me ha enseñado, por su comprensión, ayuda, confianza, compañía, pláticas, consejos, por creer en mí y por motivarme a ser una mejor persona.

A René porque siempre está dispuesto apoyarme, acompañarme en el campo, escucharme, valorarme, divagar sobre tantos temas, por su comprensión y sobre todo por quererme tanto.

A Nataly por su cariño, por escucharme en días malos, por estar en días buenos, por su confianza y su amistad.

A Juan por escucharme, calmarme, brindarme sus consejos que alimentan mi corazón y por compartir su paz conmigo.

A Tania por creer en mí, tener palabras llenas de entusiasmo y acompañarme a trabajar en nuestro desarrollo humano y así recorrer los cafés en Texcoco.

A Jorge por su apoyo durante este trabajo de investigación, por escucharme, por brindarme su fuerza, su tiempo y sus consejos.

A Leo por sus asesorías, su cariño, buenos deseos y su amistad.

A Cristian por su alegría, por ayudarme, por su amistad y por su confianza.

A Cari por su amistad, su confianza, por preocuparse por mi bienestar y ayudarme en todo lo necesario.

A Claudio por ser mi compañero de viajes de campo, manejar, estar alerta, desvelarse y por su amistad.

A Jenni por su compañía, tener preparado el vino tinto en cualquier ocasión y sobre todo por su amistad.

A Cuauhtémoc de la Peña por pláticas interminables sobre las plantas y la vida. Por sus palabras de aliento y porque ha contribuido en mi desarrollo profesional.

A Herlinda Gómez por compartir su conocimiento y calmar mis pensamientos.

A Gris por su confianza y simpatía. A Cristina por su ayuda y amistad. A Omar por su apoyo y compañía en los cursos de Doctorado.

Al Dr. Edmundo García Moya por preocuparse por mi vida académica y apoyarme siempre.

A mi comité integrado por la Dra. María Teresa Colinas León, Dra. Margarita Gisela Peña Ortega, el Dr. Iran Alia Tejacal y el Dr. Fernando González Andrés, por su apoyo, sus comentarios, observaciones, correcciones y colaboración en este trabajo de investigación.

Al Dr. Víctor Steinmann por su amabilidad, paciencia y disposición para resolver mis dudas.

Al Dr. Héctor Lozoya por su apoyo y asesoría respecto a plagas y enfermedades en plantas.

A la M. en C. Fabiola Ramírez Corona por creer en mi trabajo, permitirme trabajar en su laboratorio y compartir su conocimiento conmigo.

A la Dra. Martha Martínez Gordillo por resolver dudas y compartir conmigo literatura.

A los curadores de los herbarios por facilitarme el acceso y todo lo necesario para realizar mi trabajo.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Fitotecnia, al Instituto de Horticultura y a la coordinación de Posgrado por permitir realizar mis estudios de Doctorado y brindarme las facilidades para realizar todos los trámites requeridos.

Al pueblo de México y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada.

## **DATOS BIBLIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre: Mónica Laura Pérez Nicolás  
Fecha de nacimiento: 01 de enero de 1984  
Lugar de nacimiento: Ciudad de México  
CURP: PENM840101MDFRCN08  
Profesión: Bióloga  
Cédula Profesional: 5814719



### **Desarrollo académico:**

Bióloga, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional con especialidad en Manejo de Recursos Naturales, área de Botánica.

Maestra en Ciencias en Botánica, Colegio de Postgraduados, área de Etnobotánica. Cédula profesional: 09571598.

Mi interés se encuentra en el estudio de plantas útiles o con potenciales usos, el manejo adecuado, la conservación de las especies, el hábitat donde se encuentran y los aspectos culturales que están relacionados con ellas.

## RESUMEN GENERAL

### Análisis de la diversidad de euforbias nativas de México para su uso sustentable como ornamentales

Los trabajos sobre manejo y conservación de plantas útiles o con usos potenciales han cobrado importancia debido a que a nivel internacional los temas prioritarios son la seguridad alimentaria, el uso sostenible de los recursos y la conservación biológica y cultural. Por lo que el objetivo de esta tesis fue analizar el potencial de uso ornamental de algunas especies del Subgénero *Chamaesyce*. En el primer capítulo se definió la distribución geográfica y se evaluó el potencial ornamental de especies de *Euphorbia* subsect. *Stormiae*, que son las especies más emparentadas con *E. pulcherrima* (nochebuena). Como se dificultó el cultivo de las mismas, se exploraron otras especies del mismo subgénero pero que pertenecen a otras secciones, llegándose a seleccionar a *E. fulgens*, especie que se localiza dentro del mismo subgénero, pero en la sect. *Alectorroctonum*. En el segundo capítulo se presenta información acerca de su biología, ecología y cultivo como ornamental en otros países. En el capítulo tres se evaluó la variación fenotípica en poblaciones silvestres y bajo cultivo. En el capítulo cuatro se determinó la diversidad genética y estructura poblacional y por último en el capítulo cinco se evaluó el efecto de la irradiación con rayos gamma  $^{60}\text{Co}$  de semillas en caracteres morfológicos. *E. fulgens* es una especie microendémica de la Sierra Sur de Oaxaca, su valor ornamental se encuentra en sus ramas arqueadas e inflorescencias atractivas de colores brillantes, además de su fácil adaptación a cultivo. La variación fenotípica en poblaciones silvestres se detectó tanto en estructuras vegetativas como reproductivas, mientras que bajo cultivo dicha variación disminuyó en estructuras reproductivas y se mantuvo en estructuras vegetativas. La estructura genética de las poblaciones silvestres estudiadas indicó un grado bajo de diferenciación genética. El uso de radiación gamma produjo diferencias de color en apéndices petalíferos, pero afectó la supervivencia de las plantas. Esta tesis documenta información que puede ser utilizada en programas de mejoramiento genético y de conservación.

**Palabras clave:** distribución geográfica, diversidad genética, estructura poblacional, *Euphorbia fulgens*, variación fenotípica.

Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura  
Autor: Mónica Laura Pérez Nicolás  
Director de tesis: Dra. María Teresa Colinas León

## GENERAL ABSTRACT

### Diversity in native euforbias from Mexico with potential as ornamental plants

Studies on management and conservation of plants that with actual or potential uses has gained importance due to international trend topics such as food security, sustainable use of genetic resources, and biological and cultural conservation, the objective of this thesis was to study the potential for ornamental use of some species from *Euphorbia* subgenus *Chamaesyce*. In the first chapter, the geographical distribution of species belonging to *Euphorbia* subsect. *Stormiae*, closely related to *E. pulcherrima* (poinsettia) was defined, along with their potential to be used as ornamental crops. Due to insuperable problems on plant propagation, the focus of this project was redirected to *E. fulgens* a species belonging to the same subgenus but to sect. *Alectoroctonum*. Therefore, in the second chapter information on its biology, ecology and management as ornamental crop in other countries is presented. Chapter three deals with phenotypic behavior of wild populations versus populations under cropping. In chapter four, genetic diversity and population structure of three wild populations were determined, and finally chapter five presents the effects on morphological traits of adult plants coming from seeds subjected to different  $^{60}\text{Co}$  irradiation doses. *E. fulgens* is an microendemic species of the Sierra Sur of Oaxaca, its ornamental value resides on its arched branches and attractive cyathia with bright colors, in addition to its likely adaptation to cultivation. Phenotypic variation in wild populations was detected in both vegetative and reproductive structures, while under cultivation this variation decreased in reproductive structures and remained the same in vegetative structures. Genetic structure of wild populations indicated emerging genetic differentiation among them. Irradiation was effective on changing flower petals color but affected negatively plant survival. This thesis presents information that can be used for conservation and genetic improvement programs.

**Key words:** geographic distribution, genetic diversity, population structure, *Euphorbia fulgens*, Phenotypic variation.

Ph. D. Thesis: Universidad Autónoma Chapingo

Author: Mónica Laura Pérez Nicolás

Advisor: Dra. María Teresa Colinas León

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los problemas como la carga atmosférica de aerosoles, la contaminación química, cambio de uso de suelo, el uso global de agua dulce, la acidificación del océano, la pérdida de ozono estratosférico, alteraciones del ciclo del fósforo y nitrógeno, la tasa de pérdida de biodiversidad (terrestre y marina) y el cambio climático (Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015) han determinado que dentro de los temas prioritarios se encuentren la seguridad alimentaria, el uso sostenible de los recursos y la conservación biológica y cultural (Cunningham, 2001). Por esta razón, los trabajos sobre la distribución, gestión y conservación de plantas cultivadas y silvestres útiles o con potenciales usos han cobrado importancia.

Una manera de abordar lo anterior es a través del manejo sustentable de los recursos naturales que por un lado representa la oportunidad de utilizar los recursos y por otro la conservación de los mismos, por lo que diversos grupos de trabajo han optado por considerar como recursos fitogenéticos a la biodiversidad en su conjunto (Casas, 2017) ya que dentro de las especies silvestres se puede encontrar material para desarrollar nuevos cultivos que se adapten a los diferentes escenarios ocasionados por cambios ambientales. Los cultivos que actualmente se producen y comercializan requieren alta disponibilidad de agua, gran uso de fertilizantes inorgánicos y pesticidas, lo cual además de encarecer la inversión, tiene consecuencias en el ambiente y afectaciones a la salud humana (Mastretta-Yanes *et al.*, 2019).

A causa de lo arriba mencionado, la mayoría de los trabajos se enfocan a realizar investigaciones sobre potenciales especies comestibles y medicinales o sobre alternativas de manejo de las ya existentes, porque esto permite garantizar el alimento y la salud que son claves para la persistencia del ser humano. Sin embargo, las plantas ornamentales han jugado un papel importante en la vida de los pueblos (Rzedowski, 1995) no sólo como adorno sino como parte de su

cultura bajo diferentes contextos, es decir, representan algún aspecto de la vida de las personas, el contexto más importante es el religioso (Hurrell, 2016). El uso de flores en casa, en ceremonias, en cementerios y en funerales depende de la ubicación geográfica y el contexto cultural donde se desarrollen (Dafni *et al.*, 2006). Las flores son parte integral de la vida humana han adquirido significancia simbólica, valor terapéutico y emocional (Van Tuyl *et al.*, 2014).

La otra parte, es su importancia económica; las exportaciones mundiales han crecido exponencialmente debido a una gran demanda en ciudades de Europa, América y Asia. Los principales proveedores de Japón y Hong Kong son los países de Asia-Pacífico; los proveedores de Europa son países de África, Oriente Medio y países europeos, mientras que los proveedores de Estados Unidos son Colombia y Ecuador (ITC, 2016a). Sin embargo, a causa de lo anterior la industria florícola tiene un impacto severo al ambiente, se ha evaluado que el alto consumo de energía en los invernaderos altamente tecnificados y la transportación de productos provoca la emisión de gases efecto invernadero y contribuye de manera considerable al calentamiento global, mientras que la producción en países con excelentes climas y requerimientos mínimos de protección de invernadero, tienen un impacto menor (Franze y Citroth, 2011; Van Tuyl *et al.*, 2014). A pesar de que México es considerado el cuarto productor mundial en producción de flores y en extensión de cultivo, el 80 % se destina al mercado interno y sólo un 20 % se exporta a Estados Unidos y Canadá (ITC, 2016b). Por lo que México puede posicionarse dentro de los exportadores más importantes si se generan productos de mejor calidad y se aprovechan los excelentes climas (Tejeda-Sartorius y Arévalo-Galarza, 2012).

Además, en nuestro país alrededor de 3,000 especies tienen el potencial ornamental (Corona y Chimal, 2006). La familia Euphorbiaceae ocupa el quinto lugar en diversidad con 714 especies (Villaseñor, 2016) que se distribuyen en todos los tipos de vegetación, a diferentes niveles altitudinales que van desde el nivel del mar hasta más de 3,000 m de altitud. Existen todas las formas de

crecimiento representadas en la familia: hierbas anuales, hierbas perennes, geófitas, arbustos, árboles y bejucos, diversas formas ecológicas o de vida, higrófilas, xeromorfas y suculentas (Steinmann, 2002). Aunado a esto, dentro de la familia se encuentra la especie de mayor importancia económica y cultural, *Euphorbia pulcherrima*, la nochebuena, así como otras especies como *E. leucocephala*, *E. milii*, *E. marginata*, *E. graminea* y un gran número de suculentas como *E. trigona* y *E. obesa*. Por lo que dentro de la familia se pueden encontrar especies que puedan ser utilizadas como plantas de ornato que se adapten a diferentes condiciones climáticas, que requieran menos uso de agua o que sean resistentes a plagas y enfermedades y con esto disminuir el uso de agroquímicos.

Por lo anterior en este trabajo se incluye un análisis de especies ubicadas en el Subgénero *Chamaesyce*; que comienza con el análisis de la distribución geográfica y potencial ornamental de *Euphorbia* sect. *Poinsettia* (ver Capítulo 1), especies cercanas a la nochebuena. Las especies analizadas en este primer capítulo no se lograron adaptar fácilmente a cultivo y presentaron problemas con su propagación por lo que se decidió buscar otras especies de euforbias dentro del mismo subgénero que pudieran evaluarse a profundidad. Así se decidió trabajar con *E. fulgens*, una especie que es utilizada como ornamental principalmente en Europa. Se presenta información acerca de su distribución, uso en otros países, descripción botánica, fenología y características generales de su comportamiento en cultivo (ver Capítulo 2).

Adicionalmente se analizó la variación fenotípica en campo en poblaciones silvestres y bajo cultivo en invernadero (ver Capítulo 3) así como la variación genética y estructura poblacional (ver Capítulo 4) y por último, con la finalidad de aprovechar el material vegetal con el que se contaba se hizo un estudio de radiosensibilidad de semillas debido a que esta especie en nuestro país presenta poca variación en el color de las flores y en otros países han obtenido inflorescencias de distintos colores a través de irradiación con rayos x (ver Capítulo 5). Se espera que la información generada sea útil en programas de

mejoramiento genético y de conservación de la especie ya que es microendémica de México y no se localiza en ninguna otra parte del mundo de manera silvestre. Por lo mismo, se sugiere que si a alguien se encuentra interesado en el manejo de la especie solicite a los autores de este trabajo material vegetal para evitar alterar su hábitat natural ya que parte importante del uso sustentable de los recursos es la conservación de los mismos. Se describen a continuación los objetivos que se abordaron y las hipótesis planteadas en esta tesis.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Analizar el posible uso ornamental de especies del Subgénero *Chamaesyce* para generar información que pueda ser utilizada en programas de mejoramiento genético y conservación de estas especies.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Definir la distribución geográfica de especies de *Euphorbia* sect. *Poinsettia*, documentar aspectos de su morfología y hábitat, así como analizar su potencial para ser usadas como plantas de ornato.
2. Evaluar el potencial ornamental de *Euphorbia fulgens*, estimar su distribución geográfica, describir poblaciones *in situ*, elaborar la descripción botánica y documentar su fenología bajo condiciones de campo e invernadero.
3. Analizar la variación fenotípica de *E. fulgens* en poblaciones silvestres y bajo condiciones de invernadero.
4. Determinar la diversidad genética y estructura poblacional en *E. fulgens*.
5. Evaluar el efecto de radiación gamma  $^{60}\text{Co}$  en semillas y caracteres morfológicos de *E. fulgens*.

## HIPÓTESIS

1. Se espera que debido a que las especies del Subgénero *Chamaesyce* son las más cercanas a *Euphorbia pulcherrima* (nochebuena) presentan valor estético y fácil adaptación a cultivo.
2. Si *Euphorbia fulgens* es comercializada en otros países como planta ornamental se espera que tenga valor estético y se adapte con facilidad a cultivo bajo invernadero.
3. Si *Euphorbia fulgens* presenta distribución restringida entonces la variación morfométrica será baja y esa variación disminuirá bajo condiciones de cultivo.
4. Si *Euphorbia fulgens* es una especie microendémica sus niveles de diversidad genética serán bajos y las poblaciones analizadas estarán genéticamente diferenciadas.
5. Se espera que a dosis altas de irradiación gamma las semillas no sobrevivan y que la radiación tenga efecto en caracteres morfológicos.

## Literatura citada

- Casas, A. (2017). *La perspectiva sustentable del manejo de recursos genéticos y los desafíos de la investigación científica*. En: Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Eds.). *Domesticación en el continente americano. Volumen 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo*. Universidad Autónoma de México, Universidad Nacional Agraria La Molina, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México. Ediagraria, Lima, Perú.
- Corona, V. y Chimal, A. (2006). *Plantas mexicanas con potencial ornamental*. México, CDMX.: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. ISBN 970-31-0541-6. 626 pp.
- Cunningham, A. B. (2001). *Applied ethnobotany. People, wild plant use and conservation*. People and Plants Conservation Manuals. Earthscan, London. 295 pp.
- Dafni, A., Lev, E., Beckmann, S. y Eichberger, C. (2006). Ritual of Muslim graveyards in northern Israel. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2, 38. doi: 10.1186/17469-2-38.
- Franze, J. y Citroth, A. (2011). A comparación of cut roses from Ecuador and the Netherlands. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(4), 366-379. doi: 10.1007/s11367-011-0266-x.
- Hurrell, J. A. (2016). *Ornamental Plants*. En: Albuquerque, U. P. y Alves, R. (Eds). Introduction to Ethnobiology. Springer International Publishing Switzerland. 171-176 pp. doi: 10.1007/978-3-319-28155-1.
- ITC. (2016a). Floriculture. International Trade Centre. Recuperado de <http://www.intracen.org/itc/sectors/floriculture/>. Fecha de consulta: Marzo, 2018.
- ITC. (2016b). Mexico: fourth producer in worldwide production. Recuperado de <http://www.intracen.org/blog/Mexico-fourth-producer-in-worldwide-flower-production/>. Fecha de consulta: Marzo, 2018.
- Mastretta-Yanes, A., Bellon, R. M., Acevedo, F., Burgeff, C., Piñero, D. y Sarukhán, J. (2019). Un programa para México de conservación y uso de la diversidad genética de las plantas domesticadas y sus parientes silvestres. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 321-334. doi: 10.35196/rfm.2019.4.321-334.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E.,...Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475 pp.
- Rzedowski, J. (1995). Aspectos de las Plantas Ornamentales Mexicanas. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 3, 5-7.
- Steffen, W., Richardson, k., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M.,...Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: guiding human development

on a changing planet. *Science*, 347, 1259588-10. doi: 10.1126/science.1259855.

Steinmann, V. (2002). Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Acta Botanica Mexicana*, 61, 61-93.

Tejeda-Sartorius, O. y Arévalo-Galarza, M. L. (2015). La floricultura una opción económica rentable para el minifundio mexicano. *Agroproductividad*, 5(3), 11-27. ISSN-0188-7394.

Van Tuyl, J. M., Arens, P., Miller, W. B. y Anderson, N. O. (2014). *The role of ornamentals in human life*. En: Dixon, G. R. y Aldous, D. E. Horticulture: Plants form People and Places, Volume 1. Production Horticulture. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. doi: 10.1007/978-94-017-8578-5.

Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902. doi: 10.1016/j.rmb.2016.06.017.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Formas de manejo

Las principales formas de manejo son la agricultura y la recolección. La primera es la cosecha directa de productos naturales mientras que en la segunda existe una manipulación del ambiente para crear un medio artificial en el que el hombre controla variables edafoclimáticas con el fin de asegurar los recursos. El cultivo de plantas es el proceso en el que se manipula el ambiente y se propagan las plantas (Casas y Caballero, 1995).

En cambio, la domesticación es un proceso evolutivo en el que el hombre manipula a los organismos con un determinado propósito, generalmente a través de selección artificial y no necesariamente se logra con sólo manejar el ambiente. La domesticación genera cambios morfológicos, fisiológicos y genéticos (Casas y Caballero, 1995; Casas *et al.*, 1997; Pickersgill, 2007; Pickersgill, 2016), es un proceso que inició antes de la agricultura como tal y que continúa vigente. Por lo tanto, la agricultura es una consecuencia de la evolución bajo domesticación (Mastretta-Yanes *et al.*, 2019).

Así, a partir de especies silvestres se ha generado una gran diversidad de especies cultivadas que han perdido mecanismos de dispersión, han aumentado el tamaño de la parte cosechada, han sufrido cambios en el tipo de germinación, cambios en arquitectura, sincronización de la maduración de frutos y semillas, permitiendo cosecharlos en un periodo determinado, pérdida de latencia de semillas, pérdida o reducción de mecanismos de defensa contra diferentes tipos de estrés, proceso denominado síndrome de la domesticación (Guillen, 2010; Mastretta-Yanes *et al.*, 2019). Existen otras formas de manejo incipientes generalmente a nivel local, como tolerar o proteger la presencia de especies por encima de otras, fomentar o inducir su reproducción o crecimiento (Casas y

Caballero, 1995; Casas *et al.*, 1997; Casas *et al.*, 2007; González-Insuasti y Caballero, 2007; Casas *et al.*, 2016; Mastretta-Yanes *et al.*, 2019).

## **2.2. Recursos fitogenéticos**

Los recursos genéticos son el material genético de valor actual o potencial. En la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB) se definió que los recursos genéticos son toda la biodiversidad como medida para tratar de promover su conservación (Clement, 2017). La definición más reciente de la FAO (2020) hace referencia al material genético de origen vegetal, que consiste en una diversidad de semillas y materiales para la siembra de variedades tradicionales y de cultivares modernos, de variedades silvestres afines a los cultivos y de otras especies de plantas silvestres.

Los recursos genéticos hacen referencia a la diversidad genética aprovechable que involucra desde genes particulares existentes en los individuos, hasta aquéllos que se encuentran en poblaciones y comunidades bióticas, por lo que conlleva a considerar como recursos genéticos a la biodiversidad en su conjunto (Casas, 2017). Un término que engloba los recursos genéticos es agrobiodiversidad, pero éste incluye al agroecosistema, ya que los recursos genéticos requieren ayuda de otros seres vivos para subsistir (Clement, 2017; Mastretta-Yanes *et al.*, 2019).

El uso sustentable es la utilización de la diversidad biológica de manera y a un ritmo tal que no conduzcan, a largo plazo, a una disminución de la diversidad biológica, manteniendo así su potencial para atender las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes y futuras (Clement, 2017). El uso sustentable de los recursos fitogenéticos se refiere al aprovechamiento de un recurso mediante un proceso de extracción, transformación, o valoración que permite o promueve su recuperación, de modo que garantiza su renovación y permanencia a largo plazo. Es definido también como la utilización de los

recursos naturales con respecto a la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que estos recursos forman parte, es decir, aprovechar conservando tomando en cuenta el ámbito social, cultural, económico y ambiental (Casas, 2017; CONABIO, 2018).

El mantenimiento de la diversidad genética involucra dos grandes estrategias, por un lado, la conservación *in situ*, es decir, en el contexto en el que ha surgido, manteniendo los procesos generatrices que aseguran su mantenimiento dinámico, lo cual implica mantener vivos los procesos evolutivos naturales y artificiales (Casas *et al.*, 2017a). La conservación *in situ* de cultivos y parientes silvestres y procesos generatrices de la diversificación de los cultivos. El fitomejoramiento participativo puede ser una herramienta de gran valor para establecer puentes entre el manejo de recursos genéticos desde dos perspectivas históricamente distintas, los fitomejoradores y los campesinos. La conservación *in situ* de áreas naturales requiere medidas de protección de biomas y de especies, de comunidades bióticas y de poblaciones (Casas *et al.*, 2017a).

Por otro lado, la conservación *ex situ* implica enormes esfuerzos por mantener la diversidad en lugares diferentes a aquéllos donde existe de manera natural con el propósito específico de contar con reservas ante eventuales pérdidas y generalmente se encuentra ligada a programas de mejoramiento genético. Los métodos utilizados para dicha conservación son las colecciones de plantas en campo, jardines botánicos y bancos de germoplasma (Iriondo, 2001).

Por lo tanto, en términos el manejo y conservación de los recursos genéticos se refiere a la conservación de todo el proceso que incluye aspectos ecológicos, culturales y tecnológicos que influyen en la generación de nuevas variedades, así como los procesos naturales como la conservación de los parientes silvestres y el flujo de genes entre ellos y los cultivos. Por esta razón las estrategias para el manejo sustentable y conservación deben integrar distintas escalas de

organización que garanticen la producción agrícola y satisfagan desafíos ambientales (Casas *et al.*, 2017a).

En México se han emprendido acciones para proteger los recursos fitogenéticos, las cuales son coordinadas por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). En el año 2001 se formó la Red Ornamentales y a partir del año 2008 se crea la Macro Red Ornamentales que está conformada por las redes de bromelias, cactáceas, orquídeas, cempoalxóchitl, pata de elefante, nochebuena, dalia, *Echeveria*, *Hymenocallis* y *Tigridia*. Las líneas de trabajo han sido el uso sostenible, conservación *in situ*, conservación *ex situ* y creación de una capacidad institucional y humana sostenible (SNICS, 2017).

En México se estima que de un total de 23 314 especies de plantas vasculares (Villaseñor, 2016), alrededor de 10 000 a 12 000 son especies útiles (Casas *et al.*, 2017b). Además de las plantas cultivadas hay un gran número de especies que son utilizadas por diversas comunidades y que la mayor parte de la población del país no conoce (Casas y Caballero, 1995), así como un gran número de especies silvestres con gran potencial de ser utilizadas por el hombre.

La conservación a través de un manejo adecuado requiere de estudios de distribución geográfica, estado de poblaciones, taxonomía, caracterización morfológica, caracterización molecular y mejoramiento genético (Krishnamurthy y Sahagún, 1991). En la caracterización morfológica se evalúa la diversidad fenotípica de determinados caracteres mientras que en la caracterización molecular se evalúa la diversidad genética.

### **2.3. Plantas ornamentales**

Diversos estudios alrededor del mundo se enfocan en estudiar plantas comestibles y medicinales con diferentes formas de manejo, debido a su importancia; sin embargo, las plantas ornamentales son un recurso no menos

importante y que además de ser utilitario debido a sus valores estéticos tiene una connotación cultural y simbólica (Ryan 2010; Hurrel, 2016). Las plantas ornamentales han jugado un papel importante en la vida de los pueblos, desde la época prehispánica se utilizaban para adornar diferentes lugares, pero destaca su uso en ceremonias religiosas y en jardines botánicos; sin embargo, muchas de ellas se perdieron debido a la imposición de la religión por los españoles y la erradicación de religiones preexistentes donde se utilizaban dichas plantas (Rzedowski, 1995).

Así, se sabe que desde el siglo XVI llegó a Europa el nardo y durante el siglo XVIII y principios del XIX se inicia con el cultivo de la dalia, el cempasúchil, la maravilla y de otras plantas ornamentales mexicanas. Durante el siglo XIX diversas expediciones europeas enviadas desde Inglaterra, Francia, Alemania, Dinamarca, Suiza, Prusia, Bélgica, Irlanda y otros países llegaban a México con el fin de coleccionar semillas de plantas de interés ornamental. Las cuales llevaban a Europa para su propagación, aclimatación y mejoramiento y este proceso continuó durante el siglo XX en donde se buscaban cactáceas, orquídeas, bromelias y palmas (Rzedowski, 1995). Actualmente, diversos horticultores siguen en busca de obtener materiales mexicanos con posible uso de ornato.

En consecuencia, en Europa se encuentra el principal país productor y exportador de flores, Países Bajos. Los países de Asia-Pacífico son los principales proveedores de Japón y Hong Kong. África, Oriente Medio. Otros países europeos surten a los principales mercados de Europa. Por otro lado, Colombia y Ecuador dominan el mercado en los Estados Unidos (ITC, 2016a). Existe demanda creciente y cambiante de flores, la producción ha seguido pasado de países que tradicionalmente han sido consumidores y productores, como los Países Bajos, a otros países productores relativamente nuevos como Israel, Colombia, Ecuador, Kenia y Etiopía. Sólo para los países en desarrollo, las exportaciones mundiales en el año 2012 alcanzaron aproximadamente 4 mil millones de dólares, que representa un 24 % de crecimiento con respecto al año

2010, mientras que, para los países menos desarrollados, la gran mayoría ubicados en África, el valor total de exportaciones de flores cortadas se duplicó a 568 millones de dólares en 2012 (ITC, 2016a).

A pesar de que México se posiciona como el cuarto productor mundial en producción de flores y en extensión de cultivo, así como su cercanía con Estados Unidos, uno de los principales importadores, sólo exporta el 20% de su producción total debido a que el resto se destina al mercado interno que es grande aunque no exige calidad, lo que provoca que los productores no se vean incentivados a generar plantas de calidad para exportación (Tejeda-Sartorius y Arévalo-Galarza, 2012; ITC, 2016b).

En México el volumen de producción de gruesa (cada gruesa equivale a 12 docenas de flores) en 2018 fue de 35 millones de pesos, correspondiente a rosa, crisantemo, gladiola, clavel, gerbera, liliium, girasol, nardo, palma camedor, polar, ave del paraíso, agapando, anturios, cempasúchil, alcatraz, alhelí, lisianthus y alstroemeria; el valor de producción fue de aproximadamente siete billones de pesos. El volumen de producción de manojo (cada manojo equivale a 15 tallos) fue de alrededor de 14 millones correspondiendo a alhelí, alpiste, aster, dólar, helecho, linaza ornamental, inmortal, mano de león, margarita, nube, solidago, statice, terciopelo, trigo ornamental y cempasúchil, con un valor de producción de 25 millones de pesos. Respecto a las plantas en maceta, el volumen de producción fue de aproximadamente 44 millones, que correspondieron a nochebuena, orquídeas, ciclamen, rosa, hortensia, petunia, cempasúchil, begonia, kalancoe, belén, crisantemo, liliium, aretillo, pensamiento, dalia, palma de ornato y su valor de producción fue de un billón trescientos mil pesos (SIAP, 2018).

## 2.4. Potencial ornamental

A pesar de esto, las plantas ornamentales son un recurso que no ha recibido la atención necesaria (Tejeda-Sartorius y Arévalo-Galarza, 2012). Alrededor de 40 especies de origen mexicano se usan popularmente como ornamentales en el mundo, entre ellas el nardo, cempasúchitl, piñanona, nochebuena, tabachín, cacalozuchitl y hoja elegante (Rzedowski, 1995). En catálogos de horticultores de diferentes países se registran 600 especies mexicanas entre las cuales destacan las orquídeas y cactáceas, sólo 300 de ellas se usan en jardines y parques de nuestro país, muchas en estado avanzado de selección como el fresno, el colorín, el palo de rosa, liquidámbar, etcétera, sin embargo, dentro de la flora silvestre del país existen al menos otras tantas con potencial para usarse con el mismo fin (Rzedowski, 1995). Corona y Chimal (2006) consideran que existen 3 434 especies mexicanas con potencial ornamental.

En los últimos 25 años se han hecho estudios sobre el potencial de grupos de plantas como helechos (Díaz-Barriga, 1995; Gaspar-Génico, 2002), de familias como Orchidaceae (López-Villalobos *et al.*, 1995), Acanthaceae (Ramírez-Hernández, 2005) y Bromeliaceae (Arellano-Mijangos, 2002), de géneros como *Pinguicula* L. (Zamudio, 1995) y *Begonia* (Corona *et al.*, 1995) y de especies como *Sprekelia formosissima* (L.) Herb. (Torres-Navarro, 2000), así como de plantas acuáticas (Bonilla-Barbosa, 1994) y plantas con potencial ornamental de los estados de Morelos (Rendón-Correa y Fernández, 2007), Querétaro (Pérez-Nicolás y Fernández, 2007) y Estado de México (Guadarrama-Martínez *et al.*, 2012). En estos estudios el potencial ornamental es definido por características o valores estéticos que presentan las especies, utilitarios y económicos que adquieren por sí mismas o colaterales debido a otros usos que se les pueda dar (Borys y Leszczyńska-Borys, 1992).

## **2.5. Mejoramiento genético en ornamentales**

Las estrategias de mejoramiento utilizadas en ornamentales son los cruzamientos, se utilizan para inducir variabilidad y generar individuos con características deseables y a través de selección recurrente generar variedades (Ramírez-Zea y Chávez-Servia, 2014). El cruzamiento (la hibridación) puede ser intraespecífico, cuando se refiere al cruzamiento entre individuos de la misma especie o interespecífico, cuando los individuos cruzados son de distintas especies (Schum, 2003; Canul-Ku *et al.*, 2010). El mejoramiento por mutagénesis inducida consiste en provocar mutaciones por medio de agentes mutagénicos físicos o químicos para generar variabilidad cuando no la hay dentro del material vegetal de interés. Este proceso está enfocado a obtener caracteres de interés agronómico como resistencia a patógenos, tolerancia a estrés hídrico, floración temprana, aumento del tamaño de la flor, cambios en la coloración de las flores, etc. (Ahloowalia y Maluszynski, 2001; Oladosu *et al.*, 2016). Es pertinente aclarar que no se trata de organismos genéticamente modificados por lo que este método está libre de restricciones regulatorias (Parry *et al.*, 2009). Los métodos de mejoramiento genético más recientes en ornamentales consisten en selección asistida por marcadores moleculares, transformación genética y genómica (Dong *et al.*, 2017; Mitsuko *et al.*, 2017; Raymond *et al.*, 2018).

## **2.6. Familia Euphorbiaceae y género *Euphorbia***

La familia Euphorbiaceae *sensu lato* incluye alrededor de 8,000 especies dentro de cinco subfamilias: Phyllanthoideae, Oldfieldioideae, Acalyphoideae, Crotonoideae, Euphorbioideae (Webster, 1994). Sin embargo, recientes clasificaciones taxonómicas dividen a la familia en cinco: Phyllanthaceae, Picrodendraceae, Peraceae, Putranjivaceae y Euphorbiaceae *sensu stricto* (APG IV, 2016). En México se han reportado diferentes números de especies que la constituyen; el trabajo más reciente consignó 714 especies (Villaseñor, 2016), por lo que esta familia ocupa el quinto lugar en diversidad después de

Asteraceae, Fabaceae, Orchidaceae y Poaceae, presentando un alto grado de endemismo.

A nivel mundial el género *Euphorbia* se encuentra representado por 2,000 especies (Horn *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2012). En México el estudio más reciente reporta 245 especies, por lo que representa el segundo género con mayor número de especies después de *Salvia*, el cual está integrado por 328 especies (Villaseñor, 2016). Las especies del género *Euphorbia* se reconocen principalmente por la presencia de un ciatio, un tipo único de inflorescencia (Steinmann y Porter, 2002; Yang *et al.*, 2012). Hierbas, arbustos o árboles monoicos (rara vez dioicos). Los tallos son glabros o con tricomas simples, presentan látex. Las hojas pueden ser alternas, opuestas o verticiladas, modificadas en espinas o caducas tempranamente en algunas especies suculentas, el borde simple, entero o rara vez lobado o aserrado, glabras o puberulentas; la nervadura usualmente pinnada; tienen pecíolo y estípulas oboletas o con glándulas.

Las inflorescencias son un pseudanto, terminal o axilar, glabras o puberulentas, los ciatios en arreglos fasciculados, cimosos o paniculados; las brácteas opuestas o adnadas al ciatio o ausentes; el ciatio campanulado, obcónico o tubular, con cinco lóbulos, (1-2-) 4-5 glándulas alternas con los lóbulos; apéndices petaloides presentes o ausentes, bisexuales o estaminados. Dentro del ciatio se ubican las flores pistiladas y estaminadas. Cada ciatio con una sola flor pistilada, ovario generalmente trilocular, un óvulo por lóculo, estilos frecuentemente (2-) 3 (4-5), libres o unidos a la base, generalmente bífidos. La flor estaminada reducida a estambres, el pedicelo está representado en el filamento articulado casi a la base; anteras generalmente con dos tecas subglobosas, divergentes. Los frutos son cápsulas con columela persistente. Las semillas son ovoides a cilíndricas, foveoladas o tuberculadas (Martínez *et al.*, 2002).

## 2.7. Subgénero *Chamaesyce*

Es un subgénero conocido por sus especies ornamentales como la nochebuena (*E. pulcherrima* Willd. ex Klotzsch), snow-on-mountain (*E. marignata* Pursh.) y Diamond Frost, un cultivar de *E. graminea* Jacq., incluye alrededor de 600 especies en todo el mundo. Presenta diversas formas de crecimiento, hierbas anuales, perennes, arbustos, árboles y tallos lápiz en suculentas, así como tipos fotosintéticos C3, C4, CAM y C2 (sistema que representa una etapa temprana de transición C3 a C4) (Yang *et al.*, 2012). Por lo que presentan gran potencial ornamental.

## 2.8. Literatura citada

- Ahloowalia, B. S. y M. Maluszynski. (2001). Induced mutations. A new paradigm in plant breeding. *Euphytica*, 118, 167-173. doi: 10.1023/A:1004162323428.
- APG. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181,1-20. doi:10.1111/boj.12385.
- Arellano-Mijangos, J. J. (2002). *Las Bromeliaceae del Estado de Oaxaca, riqueza florística y potencial ornamental* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Chapingo, México, Estado de México. 135 pp.
- Bonilla-Barbosa, J. R. (1994). Plantas acuáticas ornamentales del estado de Morelos, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 1, 79-83.
- Borys, M y H. Leszczyńska-Borys. 1992. *Reflexiones sobre el potencial ornamental de Plantas de México*. Manuales de Horticultura ornamental 7. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Fitotecnica, México. 68 pp.
- Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Ramírez-Rojas, S.G. y Osuna-Canizalez, F. de J. (2010). Estrategias para el mejoramiento genético de Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch). *Investigación Agropecuaria*, 7(1), 44-54.
- Casas, A. (2017). *La perspectiva sustentable del manejo de recursos genéticos y los desafíos de la investigación científica*. En: Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Eds.). Domesticación en el continente americano. Volumen 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo. Universidad Autónoma de México, Universidad Nacional Agraria La Molina, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México. Ediagraria, Lima, Perú.

- Casas, A. y Caballero, J. (1995). Domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Ciencias*, 40, 36-45. Recuperado de <https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/40/CNS04005.pdf>. Fecha de consulta: Enero, 2018.
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C. y Zarate, 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., Otero-Arnaiz, A., Pérez-Negrón, E. y Valiente-Banuet, A. (2007). *In situ* Management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*, 100, 1101-115. doi: 10.1093/aob/mcm126.
- Casas, A., Blancas, J., Otero-Arnaiz, A., Cruse-Sanders, J., Lira, R., Avendaño, A., Parra, F., Guillén, S., Figueredo, C. J., Torres, I. y Rangel-Landa, S. (2016). *Evolutionary Ethnobotanical studies of incipient domestication of plants in Mesoamerica*. En: Lira, R., Casas, A. y Blancas, J. Ethnobotany of Mexico, interactions of people and plants in Mesoamerica. Springer Science Business Media New York. doi: 10.1007/978-1-4614-6669-7.
- Casas, A., Parra-Rondinel, F., Rangel-Landa, S., Blancas, J., Vallejo, M., Moreno-Calles, A. I.,...Camou-Guerrero, A. (2017). En: Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Eds.). *Domesticación en el continente americano. Volumen 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo*. Universidad Autónoma de México, Universidad Nacional Agraria La Molina, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México. Ediagraria, Lima, Perú.
- Casas, A., Parra-Rondinel, F., Torres-García, I., Rangel-Landa, S., Zarazúa, M. y Torres-Guevara, J. (2017). *Patrones continentales de domesticación. Perspectivas para el estudio y manejo de recursos genéticos*. En: Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Eds.). *Domesticación en el continente americano. Volumen 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo*. Universidad Autónoma de México, Universidad Nacional Agraria La Molina, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México. Ediagraria, Lima, Perú.
- Clement, C. R. (2017). Capítulo 1. *Panorama de los Recursos genéticos de Brasil, con énfasis en la Amazonia*. En: Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Eds.). *Domesticación en el continente americano. Volumen 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo*. Universidad Autónoma de México, Universidad Nacional Agraria La Molina, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México. Ediagraria, Lima, Perú.
- CONABIO. (2018). Aprovechamiento sustentable, corredor biológico Mesoamericano-México. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/aprovechamiento.html>. Fecha de consulta: Enero, 2018.

- Corona, N. V., Chimal, H. A. y Hernández, G. A. (1995). Las begonias ornamentales en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 3, 71-76.
- Corona, V. y Chimal, A. (2006). *Plantas mexicanas con potencial ornamental*. México, CDMX.: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. ISBN 970-31-0541-6. 626 pp.
- Díaz-Barriga, H. (1995). Las Pteridofitas del Bajío y sus posibilidades como plantas ornamentales. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 3, 57-61.
- Dong, X., Jiang, X., Kuang, G., Wang, Q., Zhong, M., Jin, D. y Hu, J. (2017). Genetic control of flowering time in Woody plants: roses as an emerging model. *Plant Diversity*, 39, 104-110. doi: 10.1016/j.pld.2017.01.004.
- FAO. (2020). Semillas y Recursos Fitogenéticos: una base para la vida. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/agriculture/crops/mapa-tematica-del-sitio/theme/seeds-pgr/es/>. Fecha de consulta: Enero, 2020.
- Gaspar-Génico, J. A. (2002). *Las Pteridophyta silvestres del Estado de Tabasco y su potencial ornamental* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Chapingo, México, Estado de México. 86 pp.
- González-Insuasti, M. S. y Caballero, J. (2007). Managing plant resources: how intensive can it be?. *Human Ecology*, 35, 303-314. doi:10.1007/s10745-006-9063-8.
- Guillén, D. F. (2010). El proceso de domesticación de las plantas. *Casa del tiempo*, 28, 66-70. ISSN: 0185-4275.
- Guadarrama, N., Rubí-Arriaga, M., González, A., García, L., Martínez-De la Cruz, I., López-Sandoval, J. y Hernández-Flores, G. (2012). Inventario de árboles y arbustos con potencial ornamental en el sureste del Estado de México. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 81, 221-228.
- Horn, W.J., Van Ee, W.B., Morawetz, J.J., Riina, R., Steinmann, W.V., Berry, E.P. y Wurdack, J.K. (2012). Phylogenetics and the evolution of major structural caracteres in the giant genus *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 63, 305-326. Doi: 10.1016/j.ympev.2011.12.022.
- Hurrel, J. A. (2016). *Ornamental Plants*. En: Albuquerque, U. P. y Alves, R. (Eds). Introduction to Ethnobiology. Springer International Publishing Switzerland. 171-176 pp. doi:10.1007/978-3-319-28155-1.
- Iriondo-Alegría, J. M. (2001). *Conservación de recursos fitogénéticos*. En: González-Andres, F. y Pita-Villamil, J. M. (eds.). Conservación y caracterización de recursos fitogenéticos. Publicaciones I. N. E. A. 279 pp. ISBN: 84-607-1922-7.
- ITC. (2016a). Floriculture. International Trade Centre. Recuperado de <http://www.intracen.org/itc/sectors/floriculture/>. Fecha de consulta: Marzo, 2018.

- ITC. (2016b). Mexico: fourth producer in worldwide production. Recuperado de <http://www.intracen.org/blog/Mexico-fourth-producer-in-worldwide-flower-production/>. Fecha de consulta: Marzo, 2018.
- Krishnamurthy, L. y Sahagún, C. J. (1991). *Recursos fitogenéticos: su conservación para un desarrollo sostenible*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 106 pp.
- López-Villalobos, A., Sosa-Moss, C. y Mejía-Muñoz, J. (1995). Plantas del sureste de México con potencial ornamental: Orquídeas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 1(3), 45-56.
- Martínez, M., Jiménez, J., Cruz, R., Juárez, E., García, R., Cervantes, A. y Mejía, R. (2002). Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México, Serie Botánica*, 73(2), 155-281. doi:10.13140/RG.2.1.3813.7762.
- Mastretta-Yanes, A., Bellon, R. M., Acevedo, F., Burgeff, C., Piñero, D. y Sarukhán, J. (2019). Un programa para México de conservación y uso de la diversidad genética de las plantas domesticadas y sus parientes silvestres. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 321-334. doi: 10.35196/rfm.2019.4.321-334.
- Mitsuko, K. K., Ryutaro, A. y Katsutomo, S. (2017). Generation of gene-edited *Chrysanthemum morifolium* using multicopy transgenes as targets and markers. *Plant Cell Physiology*, 58(2), 216-226. doi: 10.1093/pcp/pcw222.
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Absullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H., Miah, G. y Usman, M. (2016). Principles and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(1), 1-16. doi: 10.1080/13102818.2015.1087333.
- Parry, M. A., Madgwick, P. J., Bayon, C., Tearall, K., Hernández-López, A., Baudo, M., Rakszegi, M., Hamada, W., Al-Yassin, A., Ouabbou, H., Labhili, M. y Phillips, A. L. (2009). Mutation Discovery for crop improvement. *Journal of Experimental Botany*, 60(10), 2817-2825. doi: 10.1093/jxb/erp189.
- Pérez-Nicolás, M. y Fernández, N. (2007). Plantas con potencial uso ornamental del estado de Morelos, México. *Polibotánica*, 24, 83-115.
- Pickersgill, B. (2007). Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and Molecular genetics. *Annals of Botany*, 100, 925-940. doi:10.1093/aob/mcm193.
- Pickersgill, B. (2016). *Domestication of plants in Mesoamerica: an archaeological review with some ethnobotanical interpretations*. En: Lira, R., Casas, A. y Blancas, J. *Ethnobotany of Mexico. Interactions of people and plants in Mesoamerica*. Springer Science Business Media, New York. doi: 10.1007/978-a-4614-6669-7.

- Ramírez-Hernández, S. G. (2005). *Las Acanthaceae de Tabasco y su potencial como plantas ornamentales* (tesis de pregrado). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México, Tabasco). 112 pp.
- Ramírez-Zea, G. y Chávez-Servia, J. L. (2014). *Mejoramiento genético de ornamentales del Estado de México*. Instituto de Investigaciones y Capacitación Agropecuaria, Acuicola y Forestal del Estado de México-ICAMEX, Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Estado de México. 19 pp.
- Raymond, O., Gouzy, J., Just, J., Badouin, H., Verdenaud, M., Lemainque, A.,...Bendahmane, M. (2018). The Rosa genoma provides new insights into the domestication of modern roses. *Nature Genetics*, 50, 772-777. doi: 10.1038/s41588-018-0110-3.
- Rendón, A. y Fernández, N. (2007). Plantas con potencial uso ornamental del estado de Morelos, México. *Polibotánica*, 23, 121-165.
- Ryan, Ch. (2010). Towards a corporeal aesthetics of plants: ethnographies of embodied appreciation along the wildflower trail. *Journal of Media & Cultural Studies*, 24(4), 543-557. doi:10.1080/10304312.2010.489721.
- Rzedowski, J. (1995). Aspectos de las Plantas Ornamentales Mexicanas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 3, 5-7.
- SIAP. (2018). Datos abiertos. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado de [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php). Fecha de consulta: Agosto, 2019.
- SNICS. (2017). Macro Red ornamentales. Recuperado de <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/macro-red-ornamentales>. Fecha de consulta: Agosto, 2019.
- Schum, A. 2003. Mutation breeding in ornamentals: an efficient breeding method? *Acta Horticulturae*, 612, 47-60.
- Steinmann, V y Porter M. J. (2002). Phylogenetic relationships in Euphorbieae (Euphorbiaceae) based on ITS and ndhF sequence data. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89(4), 453-490.
- Tejeda-Sartorius, O. y Arévalo-Galarza, M. L. (2012). La floricultura una opción económica rentable para el minifundio mexicano. *Agroproductividad*, 5(3), 11-27. ISSN-0188-7394.
- Torres-Navarro, H. (2000). *Colecta y caracterización de Sprekellia formosissima (L.) Heb., una planta silvestre con potencial ornamental* (tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chapingo, México, Estado de México). 92 pp.
- Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902. doi: 10.1016/j.rmb.2016.06.017.

- Webster, G. L. (1994). Synopsis of the Genera and the Supragenetic Taxa of Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 81, 33-144.
- Yang, Y., Rinna, R., Morawetz, J. J., Haevermans, T., Aubriot, X. y Berry, P. E. (2012). Molecular phylogenetics and classification of *Euphorbia* subgenus *Chamaesyce* (Euphorbiaceae). *Taxon*, 61(4), 764-789.
- Zamudio, S. (1995). Las plantas mexicanas del género *Pinguicula* un grupo de interés hortícola. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 3, 63-69.

### 3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE ESPECIES DE *Euphorbia* sect. *Poinsettia* CON POSIBLE USO ORNAMENTAL EN MÉXICO

#### Geographic distribution of species of *Euphorbia* sect. *Poinsettia* with potential ornamental use in Mexico

##### Resumen

En los últimos años se han enlistado especies del género *Euphorbia* con potencial de uso ornamental como respuesta a la demanda de los floricultores de contar con variedades mexicanas, ya que la mayoría de las variedades ornamentales que se comercializan de este género provienen del extranjero. Este trabajo tuvo como objetivo determinar la distribución geográfica de diez especies de *Euphorbia* subsect. *Stormiae* y evaluar su potencial para ser utilizadas como plantas de ornato. Se elaboró una matriz de datos con registros de herbarios y recolectas en campo, se hicieron mapas de distribución y se analizó con base en hábitos de crecimiento, tipos de clima y tipos de suelo a través de Sistemas de Información Geográfica. Se definió el potencial ornamental con base en valores estéticos y se documentó la fase del proceso de generación de nuevos cultivos hortícolas en que se encuentran. Los estados donde se localizó el mayor número de especies fueron Jalisco (6), Nayarit (5) y Sinaloa (5). Con base en la distribución geográfica se establecieron dos grupos: hierbas anuales con amplia distribución y hierbas perennes o arbustos con distribución restringida. Las especies se localizan principalmente en climas cálidos y templados subhúmedos, en suelos de tipo litosol, regosol y cambisol. Los valores estéticos que se presentaron en su mayoría corresponden a brácteas atractivas. *Euphorbia cornastra*, *E. pulcherrima* y *E. strigosa* han pasado la Fase I en el proceso de investigación hacia nuevos cultivos ornamentales y se encuentran en la Fase II. Las especies se distribuyen principalmente en los estados ubicados en la vertiente del Pacífico y la mayoría son endémicas de México. El potencial ornamental de las especies se definió tanto por sus valores estéticos como por su comportamiento al ser cultivadas.

**Palabras clave:** Euphorbiaceae, endemismo, SIG, subgénero *Chamaesyce*.

## Abstract

In recent years, species of the genus *Euphorbia* with potential for ornamental use have been proposed in response to the demand for flower growers to have Mexican varieties since most of the ornamental varieties that are marketed come from abroad. This work is aimed to determine the distribution of Mexican species of *Euphorbia* subsect. *Stormiae* and evaluate if they can be used as ornamental plants. A data matrix was prepared with herbarium specimens and field collections, distribution maps were prepared and analyzed based on growth habit, climate types and soil types with Geographic Information Systems. The potential for use of a species was defined based on aesthetic values, and it was documented in which phase of the process of generating new horticultural crops they are. The states where the highest number of species are located are Jalisco (6) and Nayarit (5) and Sinaloa (5). Based on their geographic distribution, two groups were established: annual herbs with a wide distribution and perennial herbs or shrubs with a restricted distribution. The species mainly in warm and temperate subhumid climates and on lithosol, regosol, and cambisol soils. The aesthetic values that were presented mostly correspond to showy bracts. *Euphorbia cornastra*, *E. pulcherrima* and *E. strigosa* are in phase II of the research process towards new crops. The species are distributed mainly in the states located on the Pacific slope of Mexico and most of them are endemic. The potential for ornamental use of a species is defined both by its aesthetic value and by their behaviour when cultivated.

**Key words:** Euphorbiaceae, endemism, SIG, subgenus *Chamaesyce*.

### 3.1. Introducción

La familia Euphorbiaceae *sensu lato* es una de las familias más diversas a nivel mundial incluye alrededor de 8 000 especies (Webster, 1994). En recientes clasificaciones taxonómicas se propone su división en cinco familias: Phyllanthaceae, Picrodendraceae, Peraceae, Putranjivaceae y Euphorbiaceae *sensu stricto* (APG IV, 2016). En México se han reportado diferentes números de especies que la constituyen: 782 (Steinmann, 2002), 826 (Martínez *et al.*, 2002); 710 (Martínez *et al.*, 2008) y recientemente Villaseñor (2016) señaló 714 especies, con lo que esta familia ocuparía el quinto lugar en diversidad después de Asteraceae, Fabaceae, Orchidaceae y Poaceae.

Es una familia con varias especies útiles y uno de los usos más importantes es el ornamental, que hace referencia a las plantas que se utilizan con propósitos decorativos y que responden a valores estéticos asignados por personas en diferentes contextos culturales (Hurrell, 2016). *Euphorbia pulcherrima* Willd. *ex* Klotzsch (nochebuena) es la especie ornamental más importante y comercializada en todo el mundo y se encuentra dentro de uno de los géneros con mayor número de especies. A nivel mundial el género *Euphorbia* se encuentra representado por 2,000 especies (Horn *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2012) y en nuestro país se encuentra representado por 241 especies (Steinmann, 2002; Martínez *et al.*, 2008) y la cifra más reciente es de 245 especies (Villaseñor, 2016), con un alto porcentaje de endemismo. Otras especies ornamentales del mismo género comercializadas son *E. pteroneura* A. Berger, *E. leucocephala* Lotsy, *E. millii* Dess Moul, *E. graminea* Jacq. y un gran número de suculentas como *E. trigona* Haw. y *E. obesa* Hook. f. (Steinmann, 2002).

En nuestro país, los productores de ornamentales mencionan que existe la necesidad de contar con variedades de origen mexicano que sean más resistentes y que se adapten a las condiciones climáticas de cada región para con ello reducir costos de producción, ya que actualmente las variedades que se

comercializan provienen del extranjero por lo que se requiere pagar derechos de obtentor (Canul-Ku *et al.*, 2010). Diversos autores han enlistado especies con potencial ornamental, integrando plantas que se encuentran en catálogos de horticultores de diferentes países, plantas que se usan a nivel regional o local y plantas que no se usan pero que por sus características estéticas se les puede dar dicho uso (Rzedowski 1995; Chimal y Corona, 2003; Corona y Chimal, 2006; Rendón y Fernández, 2007; Pérez-Nicolás y Fernández, 2007; Guadarrama-Martínez *et al.* 2012). En los listados se encuentran 13 especies del género *Euphorbia*, incluyendo a la nochebuena con potencial de ser utilizadas en México.

Los programas de mejoramiento y la investigación de nuevos cultivos ornamentales a nivel mundial están enfocados en tres áreas: la primera, en investigar sobre especies ornamentales bien establecidas, buscando nuevas formas y colores; la segunda, en encontrar nuevos usos en especies conocidas, por ejemplo, si una planta es usada como planta en maceta estudiar si se puede utilizar como flor de corte y la tercera en estudiar especies poco conocidas sobre las cuales existe poca o ninguna información (Armitage, 1986; Armitage, 1987; Le Duc y Albrecht, 1996). En México dentro de la primera área se encuentran las dalias (*Dahlia pinnata* Cav.), el cempasúchil (*Tagetes erecta* L.) y la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*). Por lo que, se ha utilizado material vegetal de nochebuenas de traspatio y cultivadas para generar variedades de nochebuena mexicanas. A la fecha se han registrado tres variedades: Rubí, Alondra y Juanita, las cuales, aunque ya se encuentran entre los productores aún no se comercializan (Canul-Ku *et al.*, 2017; Canul-Ku *et al.*, 2018; Canul-Ku *et al.*, 2019).

En la tercera área se encuentra *Euphorbia leucocephala* (pascuita) y *E. pulcherrima* (nochebuena de sol o de exterior) que son comercializadas a nivel regional y de las cuales existe escasa información (Galindo-García *et al.*, 2012; Galindo-García *et al.*, 2019; Colinas-León *et al.*, 2015; Martínez-Villegas *et al.*, 2015). Sin embargo, a la fecha hay pocas líneas de investigación sobre especies

silvestres con potencial de llegar a ser plantas ornamentales. Por lo anterior, para comenzar a investigar sobre las especies del género *Euphorbia* con potencial ornamental se decidió seleccionar especies cercanas a la nochebuena, que ha sido incluida dentro de diversas propuestas taxonómicas que hacen referencia a *Poinsettia*.

*Poinsettia* fue propuesto por primera vez por Robert Graham en 1836 e incluía tres especies: *P. cuphosperma*, *P. dentata* y *P. heteropylla*. En 1858, Henri Ernest Baillon propuso que se tratara como una sección del género *Euphorbia*. Boissier (1862) dividió al género *Euphorbia* en 27 secciones, la sección 15 denominada *Poinsettia* contenía 11 especies. Doliver (1924) consideró tratar como Subgénero *Poinsettia*. Dressler (1962) lo trató como un género aparte de *Euphorbia*, aunque esta propuesta no ha sido aceptada. Mayfield (1997) realizó un estudio sistemático del Subgénero *Poinsettia*, en el cual incluyó 24 especies (Apéndice 1).

Las clasificaciones más recientes basadas en datos filogenéticos moleculares ubican a la nochebuena dentro del subgénero *Chamaesyce* sect. *Poinsettia* (Horn *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2012). Esta sección se divide en cuatro subsecciones: subsect. *Lacerae*, subsect. *Erianthae*, subsect. *Exstipulatae* y subsect. *Stormieae*. Las tres primeras tienen algún tipo de apéndice en la glándula involucral, mientras que la última subsección no presenta apéndices, sólo *Euphorbia chersonesa* y *E. cornastra* presentan un apéndice rudimentario y obsoleto (Yang *et al.*, 2012).

*Euphorbia* subsect. *Stormiae* Croizat, incluye a hierbas anuales o perennes, arbustos o pequeños árboles, hojas opuestas y a menudo se alternan en la sección media de la planta y luego son opuestas o en espiral en las inflorescencias, lineares a panduradas y generalmente dentadas; brácteas coloreadas y brillantes, ciatios en cimas terminales, generalmente densas, a veces cimas monocasiales; glándulas involucrales en forma de copa de 1-5 (-8), estilos tres libres o connados en la base, bífidios, rara vez enteros o con sólo el

ápice bifurcado, ovario y cápsula glabros o pubescentes de 3 lóculos, semillas ovoides, cuadrangulares o algo redondeadas en sección transversal, gruesamente tuberculadas, ecarunculadas o carúnculas de varias formas. Se distribuyen en el nuevo mundo desde Canadá hasta Argentina, con un centro distribución en México, crecen en una amplia variedad de hábitats desde matorrales desérticos hasta bosques húmedos de montaña, desde el nivel de mar hasta 2,700 m (Yang *et al.*, 2012) por lo que se considera que, dentro de éste, se pueden encontrar especies que tienen el potencial de ser cultivadas como plantas de ornato.

Las especies incluidas en el presente estudio se ubican dentro de esta subsección y son: *Euphorbia heterophylla* L., *E. cyathophora* Murray, *E. pulcherrima* Willd. ex Klotzsch, *E. pumicicola* Huft, *E. hormorrhiza* Radcl.-Sm., *E. restiaceae* Benth., *E. cornastra* (Dressler) Radcl.-Sm., *E. colorata* Engelm., *E. strigosa* Hook. & Arn., *E. radians* var. *radians* Benth. y *E. radians* var. *stormiae* (Croizat) Rzed. & Calderón. Se han realizado pocos trabajos sobre ellas entre los que se encuentran: evaluación del potencial ornamental de *E. cornastra* realizado en Estados Unidos (Le Duc y Albrecht, 1996) y estudios anatómicos en México (Hernández-Carrillo, 2014). Propuesta de cultivo *in vitro* de *E. cyathophora* (Rodríguez-Elizalde, 2019), ensayos de germinación de *E. heterophylla* (Cerón-Venegas, 2006) y caracterización de semillas, cultivo *in vitro* y distribución geográfica de *E. strigosa* (Cerón-Venegas, 2006; Cazares-Prado, 2013; Valdez-Hernández *et al.*, 2017; Valdez-Hernández *et al.*, 2018). Por último, caracterizaciones morfológicas, diversidad genética y distribución geográfica de *E. pulcherrima* (Cerón-Venegas, 2006, González, 2007, Trejo *et al.*, 2012; Flores, 2014; Trejo *et al.* 2015).

Por consiguiente, este estudio tuvo como objetivo definir la distribución geográfica de especies de *E. subsect. Stormiae*, documentar aspectos de su morfología y hábitat, así como analizar su potencial para ser usadas como plantas de ornato, bajo el supuesto de que al ser especies cercanas a la nochebuena

comparten características morfológicas con dicha especie y por tanto pueden presentar y adaptarse a condiciones de cultivo.

### **3.2. Materiales y Métodos**

#### **Distribución geográfica**

**Base de datos:** La consulta de ejemplares se realizó en dos etapas; la primera entre los años 2009-2012 en 21 herbarios (BCMEX, CEDESU, CHAP, CHAPA, JES, CHIP, ECO-SC-H, CICY, CIMI, CIQR, GUADA, UAGRO, HCIB, ENCB, HUMO, IEB, MEXU, UADY, UCAM, UJAT, XAL). En cada herbario se corroboró la identificación de especies y se tomaron fotografías. Con la información obtenida se construyó una matriz de datos que contiene: especie, nombres comunes, país, estado, municipio, localidad, latitud, longitud, altitud, hábitat, observaciones, usos, nombre y número del colector, fecha de colecta, nombre del determinador y herbario donde se localiza el ejemplar.

La segunda etapa se realizó entre los años 2018-2019, donde se consultaron bases de datos de colecciones nacionales e internacionales disponibles en línea y con acceso libre: Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB, 2015), Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2018) y el portal de Datos Abiertos de la UNAM (2019). Se visitaron nuevamente los ejemplares de las colecciones CHAP, CHAPA y JES debido a que sus bases digitales no están disponibles en línea. Se realizó una revisión nomenclatural de las especies en las bases de datos de Missouri Botanical Garden (Tropicos, 2019) y en International Plant Names Index (IPNI, 2019). Los datos obtenidos se adicionaron a la base antes mencionada y se eliminaron registros que contenían localidades repetidas para la misma especie.

**Elaboración de mapas:** El proceso de georreferenciación estuvo constituido, en orden secuencial, por la normalización de la información de la base de datos;

validación de las coordenadas geográficas y en los registros de herbario que no contaban con coordenadas geográficas fueron georreferenciados siguiendo la metodología propuesta por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2008). Las coordenadas geográficas fueron convertidas a grados decimales y se integró la información para su representación en un mapa. Los mapas se elaboraron en el sistema de Información Geográfica ArcMap 10.8 (Esri, 2019). Posteriormente se hizo una clasificación por hábito de crecimiento en hierbas anuales, hierbas perennes y arbustos, se elaboraron mapas a los cuales se sobrepusieron versiones digitales de los mapas de tipos de climas (INEGI, 2008) y tipos de suelo (INEGI, 2014).

**Validación en campo:** Con base en los mapas de distribución geográfica, se seleccionaron sitios con mayor número de registros de colecta y con la finalidad de ubicar las poblaciones de las especies se realizaron exploraciones en los estados de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Durango, Chihuahua, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Morelos, Yucatán, Quintana Roo y Campeche. En cada sitio donde se observó alguna población, se georreferenció, se tomaron datos de altitud y tipo de vegetación y se colectaron ejemplares de herbario que se depositaron en el Herbario JES. Los sitios de colecta se incluyeron en los mapas de distribución elaborados para cada especie.

### **Potencial de uso ornamental**

En los sitios donde se realizaron los recorridos antes mencionados se hizo un muestreo dirigido, se observaron los individuos de cada población y se eligieron aquéllos con características atractivas como brácteas grandes, de colores brillantes, también se tomó en cuenta que los individuos estuvieran sanos, teniendo precaución de no seleccionar más del 15 % de cada población. Se colectaron estacas de plantas leñosas y semillas de leñosas y hierbas, esto dependió de la etapa en desarrollo en que se encontraban las plantas. Las estacas se colocaron en papel periódico húmedo en bolsas de plástico hasta su

establecimiento en el Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y las semillas en bolsas de papel hasta depositarlas en el Banco de Germoplasma de la UACH.

Se documentó el desarrollo de las plantas que se obtuvieron a partir de estacas y semillas y que se encontraban bajo invernadero o malla sombra, así como las actividades realizadas en el banco de germoplasma. Se definió el potencial ornamental con base en valores estéticos (Pérez-Nicolás y Fernández; 2007, Rendón y Fernández, 2007), es decir, a partir de aspectos decorativos como arquitectura de la planta, flores, frutos, color, olor, formas, texturas o la combinación de varios elementos (Li y Zhou, 2005; Hurrel, 2016). Por último, se evaluó en qué fase del proceso de desarrollo de nuevos cultivos se encuentran (Figura 1) para definir si se pueden establecer bajo cultivo, iniciando con su propagación y establecimiento bajo invernadero hasta su producción y comercialización.

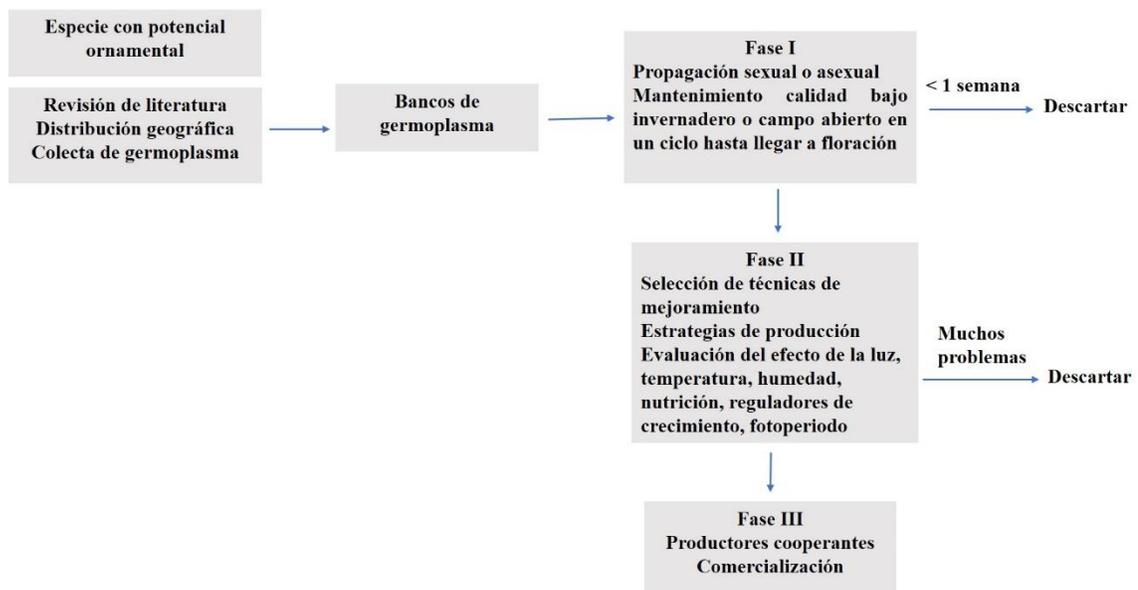


Figura 1. Fases a considerar en la búsqueda de nuevos cultivos para uso ornamental. Modificado de Armitage (1986).

### 3.3. Resultados

#### Distribución geográfica

Se revisaron 1,703 ejemplares en los diferentes herbarios, de los cuales en 1,540 se pudo corroborar la identificación. No obstante, en una búsqueda actual en las bases de datos digitales se obtuvieron 2,471 ejemplares. A pesar de que algunos ejemplares revisados en físico se encuentran en las bases de datos digitales, sin embargo, en estas bases no se localizaron ejemplares de herbarios como CHAP, JES y CHAPA. En contraste, en las bases de datos digitales de los herbarios ARIZ, MO, LL, TEX, DUKE se localizan ejemplares que no se revisaron en físico. Se registraron diversos nombres comunes y diferentes usos como el medicinal, comestible, forrajero y ornamental (Apéndice 2). Los estados con mayor número de registros con base en la revisión de ejemplares en físico fueron Jalisco (213), Veracruz (152) y Chiapas (131). Los estados donde se localizan el mayor número de especies de *Euphorbia* subsect. *Stormiae* fueron Jalisco (6) y un taxa intraespecífico, Nayarit (5), Sinaloa (5), Chihuahua (5) y Guerrero (5), por lo que la mayor diversidad se localiza en estados ubicados en la vertiente del Pacífico.

Las especies estudiadas se pueden dividir en dos grupos de acuerdo a su distribución geográfica. El primero incluye especies con distribución amplia, que se localizan en varios estados del país y en otros países americanos, se ubican en selvas bajas caducifolias, bosques de encino, matorrales y vegetación secundaria y que habitan en un amplio rango altitudinal desde el nivel del mar hasta los 2 600 m (Apéndice 3).

***Euphorbia cyathophora*** se distribuye en Estados Unidos, Centroamérica y Sudamérica. En México se localiza en la mayoría de los estados del país, excepto en la CDMX, Aguascalientes, Guanajuato y Tlaxcala. En la península de Yucatán se encuentra el mayor número de colectas y hay un número considerable en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Coahuila (Figura 2). En el estado de

Sinaloa sólo se encontró un ejemplar de herbario colectado en Mazatlán. Huft (1984) reporta su ubicación en Baja California, pero en esta búsqueda no se encontraron ejemplares en ese estado. Mayfield (1997) examinó ejemplares de Costa Rica, Honduras, Panamá, Argentina, Colombia, Ecuador, Paraguay, Venezuela, Bermuda, Bahamas y Antillas. En los recorridos efectuados en campo se ubicaron plantas creciendo a orillas de caminos o en sitios perturbados, teniendo un comportamiento de maleza.

***Euphorbia heterophylla***, la cual presenta una distribución amplia, se localiza en Estados Unidos, Centroamérica y Sudamérica. En México se encuentra en la mayoría de los estados excepto en Coahuila y CDMX. Esta especie se ha colectado principalmente en el centro y sur del país, el mayor número de registros se encuentra en Chiapas (Figura 3). Huft (1984) reporta su ubicación en Baja California. Durante las exploraciones realizadas en campo se observaron gran número de plantas en cultivos, orillas de camino y en sitios perturbados y vegetación secundaria derivada de distintos tipos de vegetación, principalmente selvas bajas caducifolias. Adicionalmente se observó que animales domésticos se alimentan de esta especie.

***Euphorbia pulcherrima*** se distribuye en Guatemala y en México se encuentra desde Sinaloa hasta Chiapas, también hay poblaciones en el estado de Morelos (Figura 4); sin embargo, hay ejemplares de herbario en la mayoría de los estados del país y también de Costa Rica, Nicaragua y Panamá, aunque se trata de materiales cultivados o con algún grado de manejo. Exploraciones en campo permitieron localizar poblaciones de *E. pulcherrima*, tres ubicadas en Guerrero, tres en Nayarit, una en Morelos, una en Chiapas, cuatro en Oaxaca y una en Sinaloa. Dichas poblaciones están integradas por un gran número de plantas y se ubican principalmente en cañadas de difícil acceso. Algunas de ellas presentan deterioro debido a la contaminación por basura. Las poblaciones con menos disturbio se localizan en lugares apartados de zonas habitadas. Se observó que, en muchos lugares, principalmente en poblados cercanos a donde

se encuentran localizadas las poblaciones silvestres de esta especie, las personas se llevan estacas para cultivarlas, por lo que es posible observarlas la especie en huertas, cultivos, orillas de camino. En ocasiones estas plantas se abandonan y éstas se propagan por sí mismas originando manchones de plantas que pueden confundirse con poblaciones silvestres. Adicionalmente se documentó una población en Oaxaca a partir de la cual se extraen nochebuenas silvestres que son comercializadas como flor de corte en los mercados cercanos a la comunidad.

***Euphorbia radians*** se distribuye en Estados Unidos y principalmente en estados del centro y norte de México, también se ubica en el estado de Oaxaca (Figura 5). El mayor número de colectas se ha hecho en el Estado de México, mientras que ***Euphorbia radians* var. *stormiae*** se ha colectado en tres estados: Michoacán, Jalisco y Estado de México.

El segundo grupo está conformado por especies con distribución restringida y endémicas. La mayoría se distribuyen en la vertiente del Pacífico, excepto, *E. hormorrhiza* que se localiza en la vertiente del Golfo de México. Se localizan principalmente en bosque de encino, bosque de pino-encino, selva baja caducifolia y en zonas de transición entre estos tipos de vegetación, en un rango altitudinal de 60 a 2 400 m (Apéndice 3).

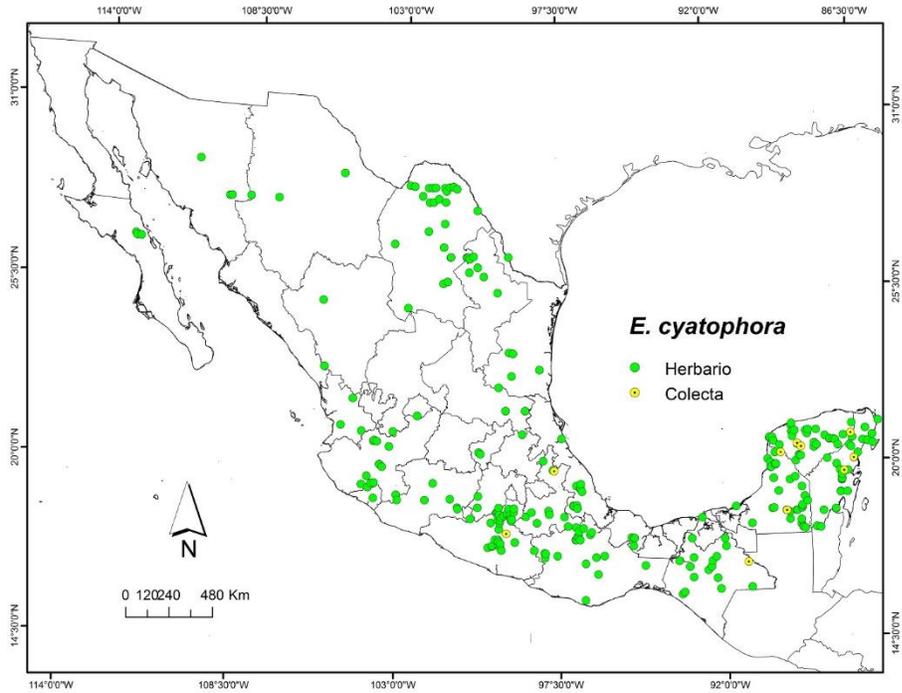


Figura 2. Distribución geográfica de *Euphorbia cyathophora* con base en ejemplares de herbario y colectas realizadas en este trabajo.

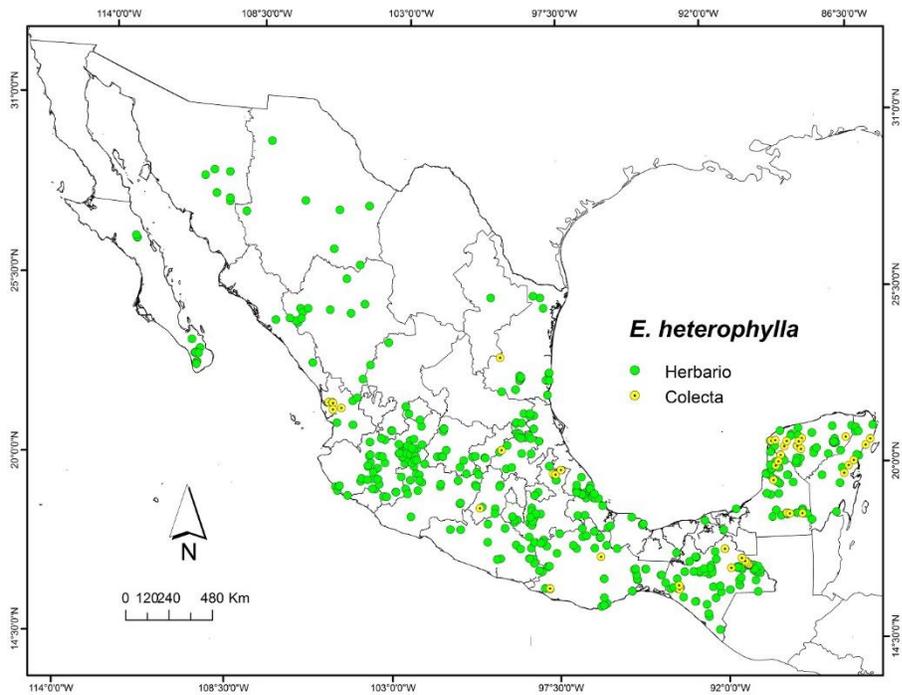


Figura 3. Distribución geográfica de *Euphorbia heterophylla* con base en ejemplares de herbario y colectas realizadas en este trabajo.

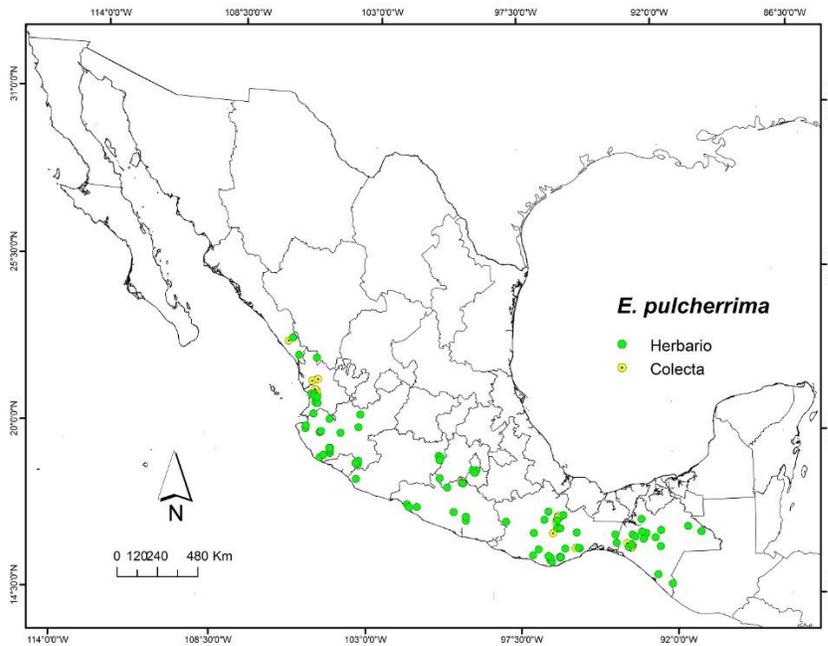


Figura 4. Distribución geográfica de *Euphorbia pulcherrima* con base en ejemplares de herbario y colectas realizadas en este trabajo.

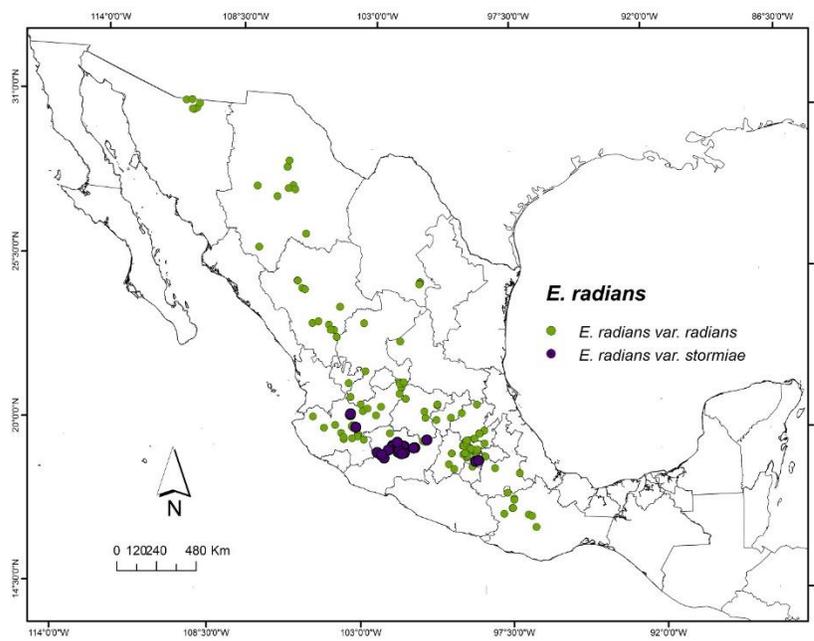


Figura 5. Distribución geográfica en México de *Euphorbia radians* y *E. radians* var. *stormiae*.

***Euphorbia colorata***. Su distribución se concentra en el noroeste de México en Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa y los límites de Durango y Zacatecas. En el portal de datos abierto de la UNAM se localizaron dos ejemplares, uno corresponde al estado de Guerrero y el otro al estado de Morelos; sin embargo, como no se revisaron físicamente los ejemplares, no se incluyeron en el mapa (Figura 6).

***Euphorbia strigosa*** se distribuye principalmente en el occidente del país, con algunos sitios de colecta en el noroeste, en Chihuahua, Colima, Durango, Jalisco, Nayarit, Sonora, Sinaloa y Zacatecas. En los recorridos en campo se encontraron tres poblaciones en Jalisco y dos en Nayarit (Figura 7).

La distribución de ***Euphorbia restiacea*** y ***E. pumicicola*** se restringe a dos estados, la primera se ubica en Jalisco y Nayarit, mientras que la segunda se localiza en Baja California Sur y Sonora. La distribución de ***E. hormorrhiza*** y ***Euphorbia cornastra*** se restringe a un sólo estado, la primera se localiza en Tamaulipas y la segunda en Guerrero. En las exploraciones en campo se visitaron los lugares de colecta registrados en los herbarios y sólo fue posible localizar la población de ***E. cornastra***, con un alto grado de perturbación debido a las actividades realizadas por los pobladores, así como a la construcción de una carretera (Figura 6 y 7).

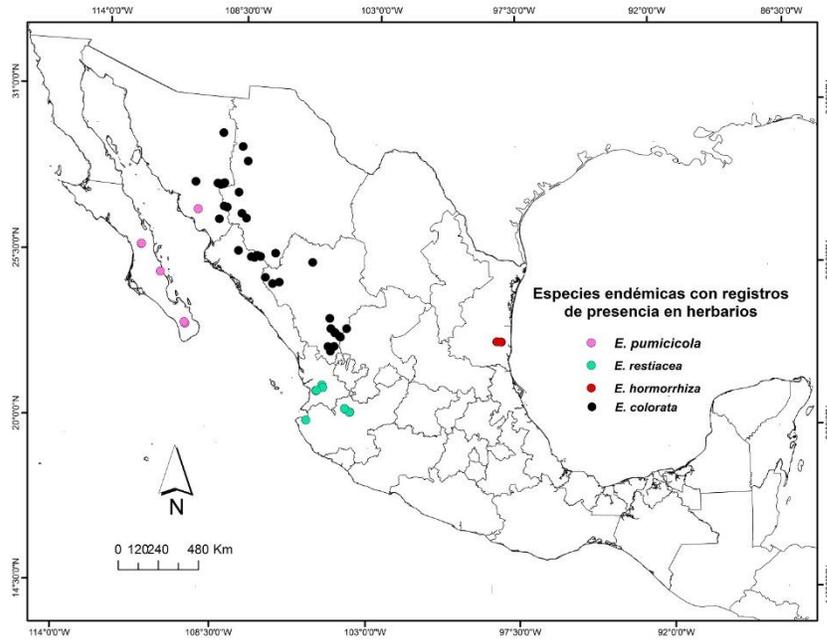


Figura 6. Distribución geográfica de especies endémicas de México con base en registros de herbarios.

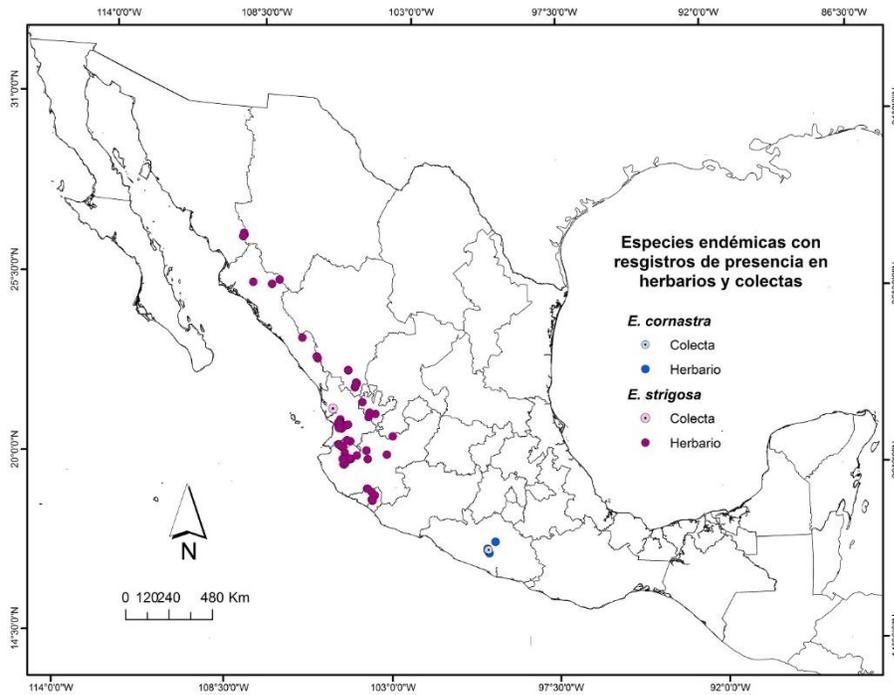


Figura 7. Distribución geográfica de especies endémicas de México con base en registros de herbarios y colectas en este trabajo.

La información obtenida en el presente estudio permite identificar que existen patrones de distribución definidos. Las especies que son hierbas anuales (Apéndice 4), *Euphorbia heterophylla* y *E. cyathophora* se localizan en casi todo el territorio Mexicano, lo cual puede deberse a su fácil propagación y adaptación a diversos hábitats. Crecen principalmente en áreas con climas cálido subhúmedo, templado subhúmedo, cálido húmedo, templado húmedo y en menor proporción en climas seco semicálido, semicálido subhúmedo y muy seco semicálido. Habitan sitios perturbados, orillas de caminos y cultivos, localizados en suelos tipo regosol, vertisol, litosol, rendizina, feozem, acrisol, andosol, xerosol, gleysol y andosol (Figura 8). *Euphorbia pumicicola* a pesar de ser una hierba anual es una especie de distribución restringida en clima muy seco semicálido, muy seco cálido y templado subhúmedo y crece en suelos tipo regosol, vertisol, litosol y yermosol (Figura 8).

Las especies que son hierbas perennes y arbustos (Apéndice 3) se localizan en la vertiente del Pacífico, en climas cálidos húmedos y templados subhúmedos, crecen en suelos de tipo regosol, litosol, cambisol, feozem y en menor proporción en suelos tipo acrisol, luvisol y andosol. *E. radicans* es una hierba perenne geófito que se distribuye en su mayoría en climas templado subhúmedo, semiseco templado y semicálido húmedo y se desarrolla en los tipos de suelos consignados para las especies anteriores, así como en yermosol, xerosol y planosol (Figura 9). De manera general, estas especies crecen en suelos con abundante materia orgánica, bien drenados, arenosos, superficiales o poco profundos y en climas cálidos y templados subhúmedos.

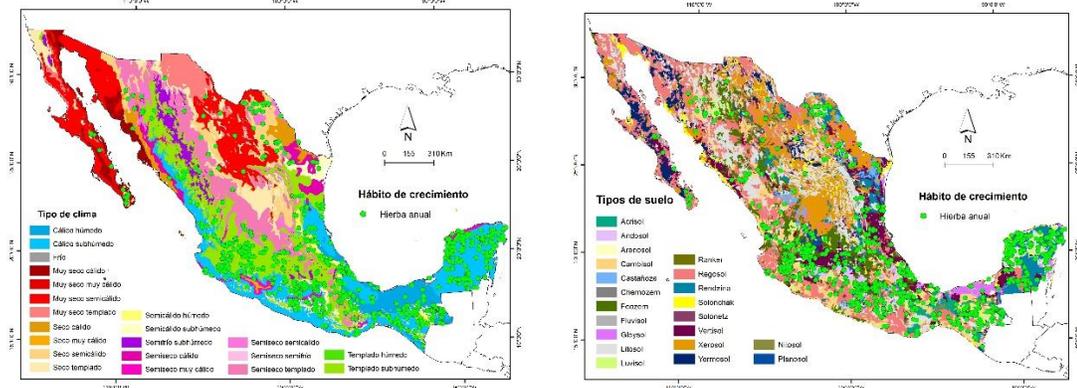


Figura 8. Distribución geográfica de hierbas anuales con base en el clima y tipo suelo.

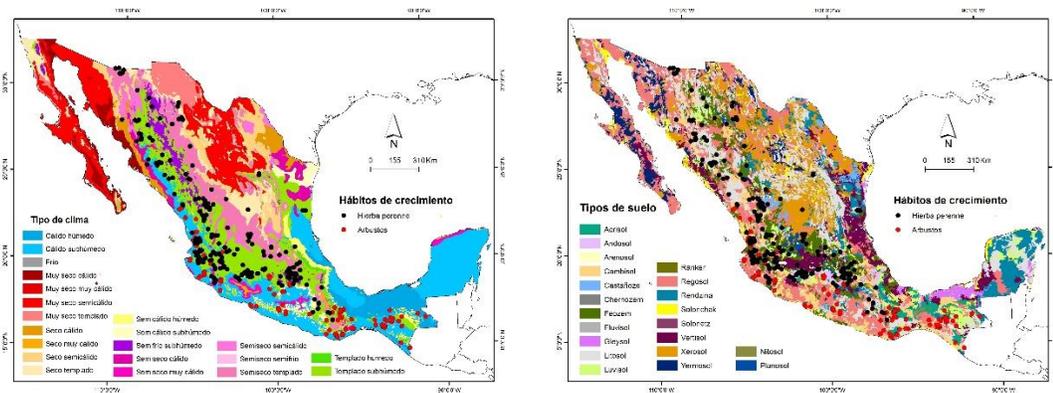


Figura 9. Distribución geográfica de hierbas perennes y arbustos con base en el tipo de clima.

## Potencial ornamental

Las especies que se colectaron y se establecieron en las colecciones bajo invernadero fueron *Euphorbia cornastra*, *E. cyathophora*, *E. heterophylla*, *E. pulcherrima* y *E. strigosa* (Figura 10). Debido a su hábito de crecimiento arbustivo *E. cornastra* podría ser utilizada como planta de exterior para jardines, huertos, parques, calles y caminos en zonas con sombra. Asimismo, podría ser usada como planta en maceta para interiores. El color blanco de sus brácteas y su arquitectura arbustiva en forma redondeada y erecta son las principales características estéticas sobresalientes. Un rasgo distintivo de esta especie que puede ser aprovechado en la agronomía es que florece en verano, a diferencia

de la nochebuena que florece en invierno, lo cual representa una valiosa alternativa para tener una planta muy parecida a la nochebuena pero que florece en otra época del año. Las plantas de *E. cornastra*, obtenidas a través de estacas cumplieron con la fase I, produjeron flores, mantuvieron su calidad y tuvieron una vida postcosecha de más de una semana; sin embargo, bajo condiciones de cultivo el tamaño de las brácteas disminuyó comparando con lo observado en campo y con el paso del tiempo la mayoría de las plantas murió.

Las pocas plantas que sobrevivieron se propagaron a través de estacas y de ellas se obtuvieron semillas, las cuales se pusieron a germinar. Se observó que la emergencia del hipocótilo ocurre a los ocho días después de la siembra, con porcentajes de emergencia de 80 %; no obstante, muchas plántulas murieron y las que sobrevivieron no alcanzaron a llegar a la etapa de floración, por lo cual se suspendió el proceso de producción. Estos resultados indican que esta especie se encuentra en la Fase II o en etapa de propagación, por lo que sería necesario establecer nuevos experimentos enfocados a mejorar las técnicas para la multiplicación de esta especie.

*Euphorbia pulcherrima* tiene el potencial de ser utilizada como planta de exterior y de interior, su valor estético se encuentra en el color de las brácteas. Las plantas establecidas han pasado la fase I, produjeron flores y mantuvieron su calidad y tuvieron una vida postcosecha de más de una semana. Las semillas emergen a los cuatro o cinco días, con porcentajes de germinación entre 80 y 95 %. Estas plantas se han utilizado para hacer cruces con variedades cultivadas y se han cosechado los frutos obtenidos, los cuales están siendo evaluados. Se encuentra en la fase II enfocada en la propagación y en un proceso de mejoramiento a través de selección de individuos con características deseables.

*Euphorbia strigosa* tiene potencial de ser usada como planta de exterior tipo césped y también como planta de interior en maceta. Los valores estéticos que presenta son su arquitectura, crece de manera semierecta o decumbente y se

extiende adquiriendo una forma esférica y presenta brácteas de tonalidades rojizas. Las plantas han pasado la fase I manteniendo su calidad y floreciendo en un periodo mayor a una semana; sin embargo, su propagación por semilla es difícil, por lo que se han probado distintos métodos de escarificación a pesar de los cuales se han seguido obteniendo bajos porcentajes de germinación de entre 30 y 40 %. Por lo tanto, esta especie se encuentra en la fase II, es decir, se está buscando el mejor método de propagación y monitoreando su comportamiento bajo invernadero.

*Euphorbia cyathophora* puede ser utilizada como planta de maceta y su valor estético se encuentra en sus brácteas con tonalidades que van del naranja al rojo. Las plantas han pasado la fase I con éxito ya que la propagación por semilla es fácil y se han obtenido varios ciclos de floración durante el año manteniendo su calidad bajo invernadero. *E. heterophylla* es una especie cercana a la nochebuena, no obstante, carece de valores estéticos. A pesar de ello, las plantas han pasado la fase I debido a que se han obtenido porcentajes de germinación del 90 y 100 %. Ambas especies invaden las macetas de otros ejemplares mostrando un comportamiento de maleza, por lo que se han mantenido pocos individuos de las mismas.

### **3.4. Discusión**

#### **Distribución geográfica**

La distribución de las especies analizadas en este trabajo presenta diferencias con lo reportado por Mayfield (1997). De acuerdo a este autor *Euphorbia heterophylla* se distribuye en 24 estados de México; sin embargo, en el presente estudio fue posible localizarla en otros cinco estados más: Aguascalientes, Campeche, Durango, Tlaxcala y Zacatecas. El mismo autor documentó que *E. cyathophora* se distribuía en 23 estados incluyendo la Ciudad de México, en la cual no fue posible localizar algún ejemplar. No obstante, en el presente estudio se ubicaron ejemplares en otros seis estados: Baja California Sur, Nuevo León,

Querétaro, Tabasco y Durango. En los herbarios de México no se localizan ejemplares del estado de Sinaloa; sin embargo, se localizó un ejemplar en los herbarios LL y TEX.

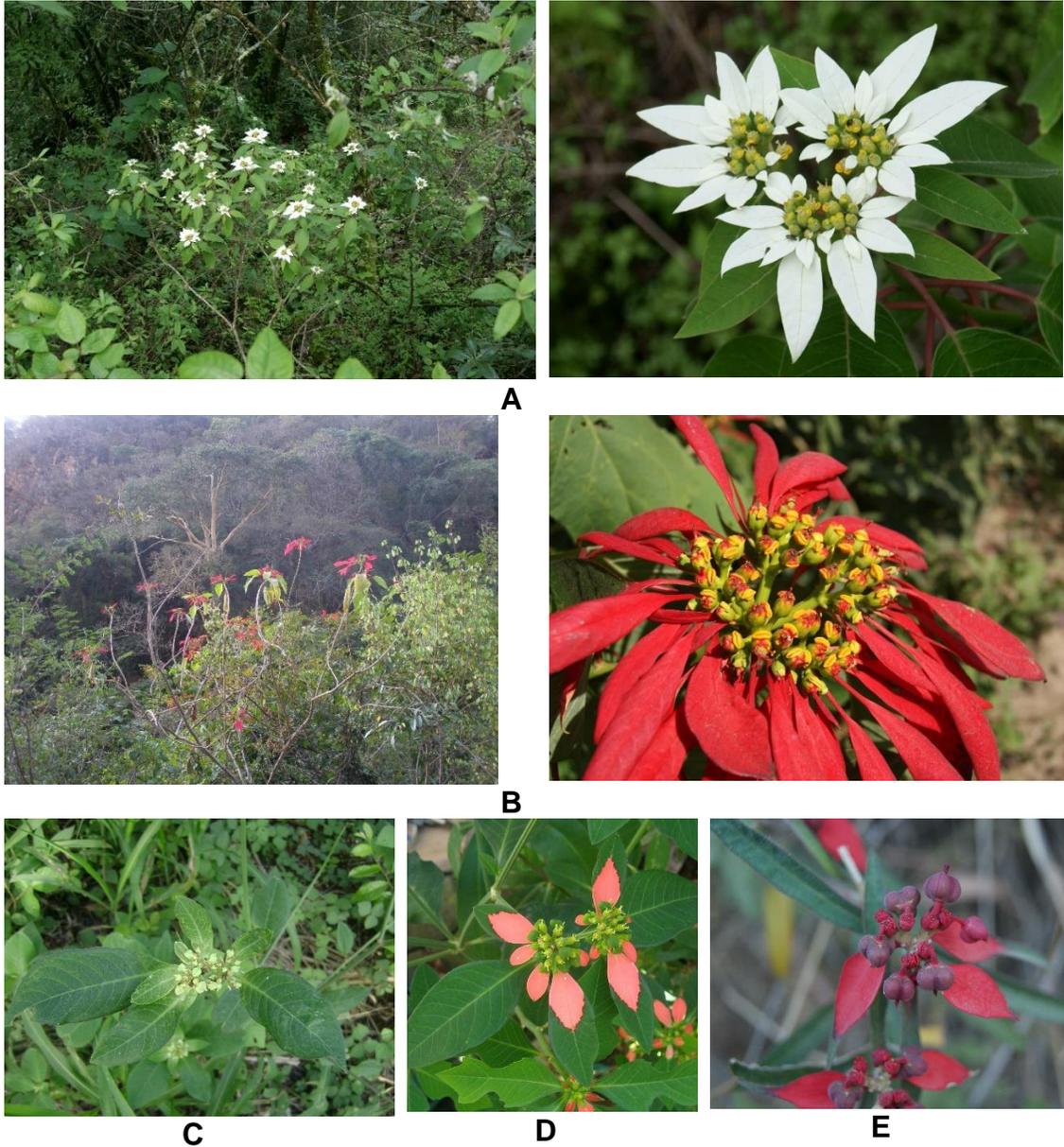


Figura 10. Especies del *Euphorbia* sect. *Poinsettia* con potencial ornamental. A. *E. cornastra*. B. *E. pulcherrima*. C. *E. heterophylla*. D. *E. cyathophora*. y E. *E. strigosa*.

La información obtenida en este trabajo amplía la distribución de *Euphorbia radians*, a seis estados más: Aguascalientes, Michoacán, Morelos, Querétaro, Veracruz y Zacatecas. *E. pulcherrima* se distribuye en todos los estados que menciona Mayfield (1997), excepto en Durango, en el cual no fue posible encontrar algún ejemplar. La distribución de poblaciones silvestres coincide con la reportada por Trejo *et al.* (2012). Cabe mencionar que se localizaron ejemplares de herbario que consignan como silvestres; sin embargo, como los puntos de colecta se localizan cerca de poblados es posible que se trate de plantas cultivadas en jardines. En los recorridos de campo realizados se observaron plantas que se han asilvestrado, generalmente son manchones cerca de los poblados, plantas en cultivos o en construcciones abandonadas.

*Euphorbia colorata* ha sido reportada en el estado de Zacatecas; sin embargo, en este estudio no se encontró algún ejemplar. Mayfield (1997) menciona que *E. restiacea* se distribuye en los estados de Durango y Nayarit, no obstante, en este estudio se encontró que se distribuye en Nayarit y Jalisco. Para el caso de *E. strigosa*, se reporta que se distribuye en cinco estados. Sin embargo, en este trabajo se adiciona Durango y también se localizó un ejemplar en el límite entre Sonora y Chihuahua en el herbario de ARIZ, así como un segundo ejemplar perteneciente a la Sierra de Charuco, el cual no pudo ser georreferenciado. En el herbario de MO hay una ejemplar de Zacatecas que se ubica entre los límites de Zacatecas y Jalisco. Por su parte, Valdez-Hernández *et al.* (2018) afirman que *E. strigosa* se distribuye en San Luis Potosí y Veracruz, pero no se encontraron ejemplares de herbario que corroboren dicha información.

Cabe mencionar que ejemplares localizados en herbarios de Estados Unidos no se localizaron en los herbarios de México, por lo que sería importante realizar exploraciones botánicas en los estados donde sólo se han colectado uno o dos ejemplares con objeto de corroborar la distribución indicada en los mismos. En la página de Naturalista se han realizado observaciones de algunas especies en estados donde no se registraron ejemplares de herbario: *E. cyathophora* en

Guanajuato, *E. hormorrhiza* en Nuevo León, *E. pumicicola* en Sinaloa y *E. radians* en Tlaxcala, por lo que sería conveniente realizar exploraciones y corroborar la identificación y distribución de las especies en dichos estados.

Existen patrones de distribución en función del hábito de crecimiento, las plantas anuales se distribuyen en casi todo el territorio mientras que las hierbas perennes y arbustos presentan distribución restringida, lo cual coincide con lo señalado por Vargas-Amado *et al.* (2013), quienes estudiando el género *Cosmos* determinaron que los hábitos de crecimiento mostraron patrones de distribución geográfica diferentes y observaron que las hierbas perennes tienen una distribución más restringida en comparación con las hierbas anuales. Esto no ocurrió con *E. pumicicola*, ya que a pesar de ser una hierba anual presenta distribución restringida, por lo que se sugiere realizar exploraciones que permitan determinar si se localiza en otros estados. Este patrón tampoco se observó en *E. pulcherrima*, que a pesar de presentar plantas con hábito arbustivo o como árboles pequeños tiene una distribución amplia en comparación con las otras hierbas perennes y arbustos evaluados en este trabajo.

Otro rasgo importante a resaltar es el endemismo, la mayoría de las especies son endémicas de nuestro país, por lo que con base en la propuesta de Rzedowski (1991) se podría considerar que *Euphorbia radians* es endémica en Megaméxico I y *E. pulcherrima* en Megaméxico II, por lo que podríamos considerar que, a excepción de las hierbas anuales, todas las especies estudiadas en este trabajo son endémicas. A pesar de que la mayoría de las especies tienen distribución restringida y son endémicas de México y de que las poblaciones observadas muestran algún grado de perturbación, no se encontraron dentro de alguna categoría de la NOM-059-SEMARNAT-2010 ni en los apéndices del CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres).

En el presente año, la nochebuena se integra a la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) bajo la categoría de preocupación menor, es decir, es considerada un taxon abundante y de amplia distribución y con una tendencia poblacional estable. Eso significa que no cumple con ninguno de los criterios que definen las categorías en peligro crítico, en peligro, vulnerable o casi amenazado. Sin embargo, durante los recorridos realizados en el presente estudio se observaron poblaciones con algún grado de perturbación debido a la deforestación y contaminación de sus hábitats. Por lo que se sugiere que se integren a programas de conservación *in situ* o *ex situ*, tomando como base lo documentado por Trejo *et al.* (2012), quienes mostraron que poblaciones de nochebuena se ubican dentro de áreas naturales protegidas con alta fragmentación y en sus observaciones de campo hablan de la posible extinción de cuatro poblaciones de *E. pulcherrima*, por lo que consideran importante la conservación de las poblaciones silvestres debido a que presentan características únicas.

### **Potencial de uso ornamental**

Aunque algunas especies como *E. cyathophora* y *E. heterophylla* se encuentran en los listados de plantas con potencial ornamental (Corona y Chimal, 2006) e incluso se han realizado estudios para su propagación *in vitro* (Rodríguez-Elizalde *et al.*, 2019), su comportamiento como maleza, dificulta su cultivo, por lo que es conveniente mantenerlas dentro de las colecciones de este género debido a que podrían ser de utilidad para conferir alguna característica a otras especies, por ejemplo, resistencia a plagas y enfermedades.

Por su parte, *Euphorbia cornastra* y *E. strigosa* presentan el potencial de ser usadas como plantas de ornato, bajo la condición de que se logre establecer un método efectivo de propagación para contar con un número considerable de plantas y se pueda dar paso a la siguiente fase que consiste en elegir técnicas de mejoramiento genético y realizar experimentos enfocados a su producción.

*Euphorbia cornastra* ha sido utilizada en Estados Unidos para obtener un híbrido con *E. pulcherrima*, además se ha establecido que tiene gran potencial como nuevo cultivo ornamental en maceta (Le Duc y Albrecht, 1996). En el caso de la nochebuena ya existen grupos de trabajo enfocados en generar variedades mexicanas (Canul-Ku *et al.*, 2018b), sin embargo, se debe resaltar el potencial que tiene para producir plantas de exterior que conserven su hábito arbustivo y obtener nochebuenas de sol, así como evaluar su uso como flor de corte.

Debido a la diversidad de la familia y el género se recomienda investigar otras especies que además de poseer valores estéticos habiten en lugares secos, tengan tolerancia al frío y resistencia a enfermedades, buscando que el manejo agronómico requiera menos agua y menos uso de agroquímicos. Se sugiere evaluar el potencial de otras especies incluidas dentro del Subgénero *Chamaesyce*, las cuales podrían ser especies cuya distribución se restringe al nuevo mundo de la sect. *Anisophyllum*, sect. *Alectorocotonum*, que son las secciones más cercanas a la sect. *Poinsettia*.

### **3.5. Conclusiones**

Las especies estudiadas en el presente trabajo se distribuyen en el continente americano, la mayoría se localiza en estados que se ubican en la vertiente del Pacífico y son endémicas de México, crecen principalmente en suelos tipo regosol, litosol y vertisol y en climas cálidos y templados subhúmedos. Entre las especies evaluadas, *Euphorbia cornastra* y *E. strigosa* tienen potencial para ser usadas como plantas ornamentales a reserva de que se encuentren métodos efectivos de propagación y se logren establecer experimentos enfocados a su cultivo. Un área de oportunidad es el mejoramiento de *E. pulcherrima* enfocado a generar variedades de plantas de exterior. Se recomienda buscar otras especies de euforbias que se puedan propagar con mayor facilidad que las evaluadas y establecerse bajo cultivo en menor tiempo para que se pueda

concluir a la brevedad el proceso de investigación y así pasar a la fase de comercialización.

### **Agradecimientos**

Se agradece a la Red de Nochebuena por el financiamiento de este trabajo, a los curadores de los herbarios por el acceso y facilidades otorgadas. Al M. en C. Amando Espinosa Flores encargado del Banco de Germoplasma de la UACH, al Dr. Víctor Steinmann por su amabilidad y disponibilidad para resolver dudas. A los revisores anónimos por sus sugerencias que mejoraron considerablemente este trabajo.

### **3.6. Literatura citada**

- APG. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181,1-20. doi:10.1111/boj.12385.
- Armitage, A.M. (1986). Evolution of new floricultural crops: A system approach. *HortScience*, 21, 9-11.
- Armitage, A.M. (1987). What is a new crop. *Acta Horticulturae*, 205, 1-2.
- Baillon, M. H. (1858). *Étude Générale du groupe des Euphorbiacées*. Librairie De Victor Masson, Paris.
- Bossier E. (1862). Euphorbiaceae. In: De Candolle, A. (Ed.). *Prodromus Systematis Universalis Regni Vegetabilis*. Parte 15 (2). Victoris Masson et Filli, Paris.
- Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Ramírez-Rojas, S.G. y Osuna-Canizalez, F. de J. (2010). Estrategias para el mejoramiento genético de Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch). *Investigación Agropecuaria*, 7(1), 44-54.
- Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Barrios-Gómez, E.J., Rangel-Estrada, S.E., Ramírez-Rojas, S.G. y Osuna-Canizalez, F. de J. (2017). Alondra: nuevo híbrido de nochebuena para interiores. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1203-1208. doi: 10.29312/remexca.v8i5.119.
- Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Barrios-Gómez, E.J., Osuna-Canizalez, F. de J., Rangel-Estrada, S.E. y Ramírez-Rojas, S.G. (2018a). Rubí, una nueva variedad mexicana de nochebuena roja para interior. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(1), 91-92.

- Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Barrios-Gómez, E.J. y Rangel-Estrada, S.E. (2018b). Formación de híbridos clonales en nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(3), 311-316.
- Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Barrios-Gómez, E.J. y Rangel-Estrada, S.E. (2019). Juanita, nueva variedad de nochebuena para interior derivada por mutagénesis. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42 (2), 191-192.
- Cázarez-Prado, M. (2013). *Propagación y conservación in vitro de Euphorbia strigosa Hook. & Arn.* (tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. México.
- Cerón-Venegas, I. (2006). *Colecta y caracterización de especies del género Euphorbia del Estado de Nayarit* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. México.
- Chimal, A. y Corona, V. (2003). Arbustos mexicanos con potencial ornamental. In: Mejía J, Espinosa A. (Eds.). *Plantas nativas de México con potencial ornamental: análisis y perspectivas*. Universidad Autónoma de Chapingo, México, pp. 31-51.
- Colinas-León, M. T., Espinosa-Flores, A., Mejía-Muñoz, J.M., Rodríguez-Elizalde, M.A., Pérez-Nicolás, M. y Alia-Tejacal, I. (2015). Cultivars of *Euphorbia pulcherrima* from Mexico. *Acta Horticulturae*, 1104, 487-490. doi. 10.17660/ActaHortic.2015.1104.70.
- CONABIO. (2008). Georreferenciación de localidades de Colecciones Biológicas. Manual de Procedimientos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 177 pp.
- Corona, V. y Chimal, A. (2006). *Plantas mexicanas con potencial ornamental*. México, CDMX.: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. ISBN 970-31-0541-6. 626 pp.
- Dressler, R.L. (1962). A synopsis of *Poinsettia* (Euphorbiaceae). *Annals Missouri Botanical Garden*, 48, 329-341.
- ESRI (2019). ArcMap 10.8. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, CA.
- Flores-Cabrera, G. (2014). *Evaluación de la germinación y caracterización morfológica en 24 cruces de nochebuena (Euphorbia pulcherrima Willd. ex Klotzsch)* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. México.
- Galindo-García, D., Alia-Tejacal, I., Andrade-Rodríguez, M., Colinas-León, M., Canul-Ku, J. y Sainz-Aispuro, M. (2012). Producción de nochebuena de sol en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 751-763. doi. 10.29312/remexca.v3i4.1428.
- Galindo-García, D. V., Alia-Tejacal, I., Núñez-Colín, C. A., Andrade-Rodríguez, M., Canul-Ku, J., Colinas-León, M. T., Sainz-Aispuro, M. (2019).

- Diversidad genética de nochebuena de sol (*Euphorbia* spp.) en Morelos, México con marcadores moleculares RAPD. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(2), 113-127. doi. 10.5154/r.rchsh.2018.06.012.
- GBIF (2018). The Global Biodiversity Information Facility. Recuperado de <http://www.gbif.org/what-is-gbif>. Fecha de consulta: Febrero, 2018.
- González-Fierro, P. H. (2007). *Germinación y desarrollo fenológico de Nochebuena silvestres (Euphorbia pulcherrima Willd. ex Klotzsch)* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. México.
- Graham, R. (1836). Description of several new or rare plants which have lately flowered in the Neighbourhood of Edinburgh, chiefly in the Royal Botanic Garden. *Edinburgh New Philosophical Journal*, 20, 412-413.
- Guadarrama-Martínez, N., Rubí-Arriaga, M., González-Huerta, A., Vázquez-García, L., Martínez-De la Cruz, I., López-Sandoval, J. y Hernández-Flores, G. (2012). Inventario de árboles y arbustos con potencial ornamental en el sureste del Estado de México. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 81, 221-228.
- Hernández-Carrillo, N. (2014). *Caracterización del desarrollo de Euphorbia cornastra (Dressler) Radcl. Sm.* (tesis de maestría). Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. México.
- Horn, W.J., Van Ee, W.B., Morawetz, J.J., Riina, R., Steinmann, W.V., Berry, E.P. y Wurdack, J.K. (2012). Phylogenetics and the evolution of major structural caracteres in the giant genus *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 63, 305-326. Doi: 10.1016/j.ympev.2011.12.022.
- House, H. D. (1924). Annotated list of the ferns and flowering plants of New York State. *New York State Museum Bulletin*, 245, 470-473.
- Huft, M. J. (1984). A review of *Euphorbia* (Euphorbiaceae) in Baja California. *Missouri Botanical Garden Press*, 71, 1021-1027.
- Hurrel, J. A. (2016). Ornamental Plants. En: Albuquerque, U. P. y Alves, R. (Eds). *Introduction to Ethnobiology*. Springer International Publishing Switzerland. 171-176 pp. doi:10.1007/978-3-319-28155-1.
- INEGI. (2008). Unidades climáticas, Estados Unidos Mexicanos. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Formato digital. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>. Fecha de consulta: Abril, 2020.
- INEGI. (2014). Perfiles de suelos, Estados Unidos Mexicanos. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Formato digital. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/co](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/co)

ntenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/PERFIL\_SUELO  
S/702825267636\_s.zip. Fecha de consulta: Abril, 2020.

- IPNI. (2019). International Plant Names Index. Recuperado de <http://www.ipni.org>. Fecha de consulta: Agosto, 2019.
- Le Duc, A. y Lewnes-Albrecht, M. (1996). Dogwood Poinsettia *Euphorbia cornastra* (Dressler) A. Radcliffe-Smith), A New Floral Pot Crop, *HortScience*, 31(3), 472.
- Li, X. y Zhou, Z. (2005). Endemic wild ornamental plants from Northwestern Yunnan, China. *HortScience*, 40(6), 1612-1619. doi. 10.21273/HORTSCI.40.6.1612.
- Martínez, M., Jiménez, J., Cruz, R., Juárez, E., García, R., Cervantes, A. y Mejía, R. (2002). Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México, Serie Botánica*, 73(2), 155-281. doi:10.13140/RG.2.1.3813.7762.
- Martínez, M., Steinmann, V., Jiménez, J., Cervantes, A., Ramírez, Y. y Ramírez, A. (2008). Euforbiáceas (Dicotiledóneas). En S. Ocegueda y J. Llorente-Bousquets (Coords.), *Catálogo taxonómico de especies de México, en Capital natural de México*, vol. I: *Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, CD1.
- Martínez-Villegas, Y., Andrade-Rodríguez, M., Colinas-León, M., Villegas-Torres, O., Castillo-Gutiérrez, A., Alia-Tejacal, I. (2015). Efecto de las sales inorgánicas del medio de cultivo en el crecimiento de pasquita (*Euphorbia leucocephala* Lotsy). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 369-374.
- Mayfield, M. H. (1997). *A Systematic Treatment of Euphorbia Subgenus Poinsettia (Euphorbiaceae)* (tesis de doctorado). University of Texas at Austin, EUA.
- Pérez-Nicolás, M. y Fernández, N. (2007). Plantas con potencial uso ornamental del estado de Morelos, México. *Polibotánica*, 24, 83-115.
- REMIB (2015). Red Mundial de Información sobre Biodiversidad. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remibnodosdb.html>. Fecha de consulta: Febrero, 2018.
- Rendón, A. y Fernández, N. (2007). Plantas con potencial uso ornamental del estado de Morelos, México. *Polibotánica*, 23, 121-165.
- Rodríguez-Elizalde, M. A., Ferrera-Cerrato, R., Vargas-Hernández, M., Colinas-León, M. T., Manzo-González, A. y Alarcón, A. (2019). Towards the micropopagation of *Euphorbia cyathophora* Murray: a wild plant species with medicinal and ornamental potential. *Ciencia Rural*, 49(9), 1-8. doi. 10.1590/0103-8478cr20180716.
- Rzedowski, J. (1991). El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botanica Mexicana*, 15, 47-64.

- Rzedowski, J. (1995). Aspectos de las Plantas Ornamentales Mexicanas. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 1(3),5-7.
- Steinmann, V. (2002). Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Acta Botanica Mexicana*, 61, 61-93. doi: 10.21829/abm61.2002.909.
- Steinmann, V y Porter M. J. (2002). Phylogenetic relationships in Euphorbieae (Euphorbiaceae) based on ITS and ndhF sequence data. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89(4), 453-490. doi: 10.2307/3298591
- Trejo, L., Feria-Arroyo, T.P., Olsen, K.M., Eguiarte, L.E., Arroyo, B., Gruhn, J.A. y Olson, M.E. (2012). Poinsettia's wild ancestor in the Mexican Dry Tropics: Historical, genetic, and enviromental evidence. *American Journal of Botany*, 99(7), 1146-1157. doi: 10.3732/ajb.1200072.
- Trejo, L., Olson, M. y Bye, R. (2015). Datos históricos y diversidad genética de las nochebuenas (*Euphorbia pulcherrima*) del Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 478-485. doi: 10.1016/j.rmb.2015.04.033.
- Tropicos (2018). Missouri Botanical Garden. Recuperado de <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>. Fecha de consulta: Febrero, 2018.
- UNAM. (2019). Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), Herbario Nacional de México, Plantas Vasculares. En portal de Datos Abiertos UNAM Colecciones Universitarias (en línea), México, Universidad Autónoma de México. Recuperado de <http://datosabiertos.unam.mx/>. Fecha de consulta: Enero, 2019.
- Valdez-Hernández, E., Juárez-López, P., Pedraza-Santos, M., Zamora-Becerra, B., Martínez-Cárdenas, L. y Colinas-León, M.T. (2017). Description of seeds of wild *Euphorbia strigosa* Hook & Arn from the state of Nayarit, México. *Temas Agrarios*, 22(1), 43-53. doi. 10.1016/j.rmb.2015.04.033.
- Valdez-Hernández, E., Flores-Vilchez, F., Pedraza-Santos, M., Colinas-León, M. T., Ramírez-Guerrero, L. G., Martínez-Cárdenas, L. y García-Díaz, R. F. (2018). Distribución de *Euphorbia strigosa* Hook and Arn planta nativa de México con potencial ornamental. *Revista BioCiencias*, 5(1), e303. doi: 10.1574/revbio.05.2018.02.
- Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902. doi: 10.1016/j.rmb.2016.06.017.
- Vargas-Amado, G., Castro-Castro, A., Harker, M., Villaseñor, J. L., Ortiz, E. y Rodríguez, A. (2013). Distribución geográfica y riqueza del género *Cosmos* (Asteraceae: Coreopsidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 536-555. doi: 10.7550/rmb.31481.
- Webster, G. L. (1994). Synopsis of the Genera and the Supragenetic Taxa of Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 81, 33-144.

Yang, Y., Rinna, R., Morawetz, J. J., Haevermans, T., Aubriot, X. y Berry, P. E. (2012). Molecular phylogenetics and classification of *Euphorbia* subgenus *Chamaesyce* (Euphorbiaceae). *Taxon*, 61(4), 764-789. doi:10.1002/tax.614005.

**Apéndice 1.** Clasificaciones que hacen referencia a la sección *Poinsettia*.

<i>Euphorbia</i> sect. <i>Poinsettia</i> Bossier, 1862	Género <i>Poinsettia</i> Dressler (1962)	<i>Euphorbia</i> subg. <i>Poinsettia</i> Mayfield, 1997	<i>Euphorbia</i> sect. <i>Poinsettia</i> (Graham) Baill. Yang <i>et al.</i> , 2012
<i>E. pulcherrima</i>	<i>P. pulcherrima</i>	Primer grupo:	<i>Euphorbia</i> subsect.
<i>E. dentata</i>	<i>P. radians</i>	<i>Euphorbia dentata</i>	<i>Lacerae</i> subsect.
<i>E. geniculata</i>	<i>P. restiacea</i>	alliance	nov.
<i>E. heterophylla</i>	<i>P. colorata</i>		
<i>E. cuphosperma</i>	<i>P. strigosa</i>	<i>E. pentadactyla</i>	
<i>E. barbellata</i>	<i>P. coccinea</i>	<i>E. cuphosperma</i>	
<i>E. colorata</i>	<i>P. pentadactyla</i>	<i>E. davidii</i>	<i>Euphorbia</i> subsect.
<i>E. eriantha</i>	<i>P. inornate</i>	<i>E. dentata</i>	<i>Erianthae</i> subsect.
<i>E. strigosa</i>	<i>P. heterophylla</i>	<i>E. schiedeana</i>	nov.
<i>E. radians</i>	<i>P. cyathophora</i>	<i>E. subilsae</i> sp. nov.	
<i>E. restiacea</i>	<i>P. dentata</i>	<i>E. tubadenia</i>	<i>Euphorbia</i> subsect. <i>Exstipulatae</i> subsect. nov.
		Segundo grupo: Subgénero <i>Poinsettia</i> <i>sensu stricto</i>	<i>Euphorbia</i> subsect. <i>Stormieae</i>
		<i>E. tiarata</i> sp. nov.	<i>E. chersonesa</i>
		<i>E. heterophylla</i>	<i>E. colorata</i>
		<i>E. kurtzii</i>	<i>E. cornastra</i>
		<i>E. abscondita</i>	<i>E. cuphosperma</i>
		<i>E. elliptica</i>	<i>E. cyathophora</i>
		<i>E. cyathophora</i>	<i>E. dentata</i>
		<i>E. richardsonii</i>	<i>E. heterophylla</i>
		<i>E. hormorrhiza</i>	<i>E. hormorrhiza</i>
		<i>E. pinetorum</i>	<i>E. pentadactyla</i>
		<i>E. colorata</i>	<i>E. pinetorum</i>
		<i>E. strigosa</i>	<i>E. pulcherrima</i>
		<i>E. radians</i> var. <i>radians</i>	<i>E. pumicicola</i>
		<i>E. radians</i> var. <i>stormiae</i>	<i>E. radians</i>
		<i>E. restiacea</i>	<i>E. strigosa</i>
		<i>E. pulcherrima</i>	<i>E. zonosperma</i>
		<i>E. cornastra</i>	
		<i>E. pumicicola</i>	
		<i>E. zonosperma</i>	

**Apéndice 2.** Nombres comunes, usos y floración de especies de *Euphorbia* sect. *Poinsettia* subsect. *Stormiaae*.

<b>Especie</b>	<b>Nombres comunes</b>	<b>Usos</b>	<b>Floración (colectas con flores)</b>
<i>E. colorata</i>	contrahierba, contrayerba (Sin, Son, Dgo), toxkolh bhich (Dgo)	Medicinal	Marzo a diciembre, principalmente en septiembre y octubre
<i>E. cornastra</i>	--	--	Junio, Julio y Agosto
<i>E. cyathophora</i>	pascua silvestre (Mex), pascuarilla (Gro), nochebuena silvestre (Jal), Tzutz zantun wamal-tzeltal (Chis), Hoboon kaak' Hobon xiu, xiach-halach, xuechiu (Yuc, Camp), hierba del alormo (Nay)	Medicinal y Forrajero	Durante todo el año
<i>E. heterophylla</i>	xhobon kaak (Yuc, Qro), lechosa, lechosilla, lecherilla, lechoso (Nay, Ver, Jal, Mich, Tab), hierba de la araña (Zac, Ver), pascuilla, pascuarilla (Mich, Gro), antizl chu' tzoltzil, ka'abak nich wamal, pameyat Tzeltal (Chis), pune yaquey-zoque (Oax), calderona, catalina, drago (Jal), contrahierba (Dur), nochebuena silvestre (Gro)	Medicinal y Forrajero	Durante todo el año
<i>E. hormorrhiza</i>	--	--	Octubre
<i>E. pulcherrima</i>	catarina (Oax), Catalina (Sin), pascua o flor de pascua (Jal), cuetlaxochitl o pascuaxochitl (Pue), chakmaché, flor de pastor (Chis) y peseva o bebeta (Ver)	Ornamental Medicinal Comestible	Agosto a Febrero
<i>E. pumicicola</i>	--	--	Agosto, septiembre y Octubre
<i>E. radians</i> var. <i>radians</i>	hierba de la golondrina, matarique (Jal) y colecitas (Mex)	Comestible	Marzo, abril y mayo
<i>E. radians</i> var. <i>stormiaae</i>	--	--	Enero a Mayo
<i>E. restiacea</i>	--	--	Abril
<i>E. strigosa</i>	nochebuena de campo (Nay)	Medicinal	Marzo y abril

**Apéndice 3.** Especies de *Euphorbia* sect. *Poinsettia* subsect. *Stormiae*. OC-orillas de camino, C-cultivos, M-matorrales, P-pastizales, VS-vegetación secundaria, BQ-bosque de *Quercus*, BP-bosque de *Pinus*, BPQ-Bosque de pino-encino, SBC-selva baja caducifolia, SMS-selva mediana subcaducifolia, SAP, Selva alta perennifolia, BMM-bosque mesófilo de montaña, VR-vegetación riparia, DC-dunas costeras.

Espece	Tipo de vegetación	Altitud (m)	Estatus	Ejemplares de herbario	Bases digitales
<i>E. colorata</i>	BQ, BPE, SBC, P	500 - 2 400	Endémica	56	115
<i>E. cornastra</i>	BQ	1930 - 2300	Endémica	10	10
<i>E. cyathophora</i>	OC, M, CH, P, VR, DC  VS de SBC, SMS, SAP, BQ, BPQ, BMM	0 - 2 000 (2800)	Nativa	298	520
<i>E. heterophylla</i>	OC, C, M, P, VR, DC  VS de SBC, SBS, BQ, BPQ	0 – 2 600	Nativa	785	1287
<i>E. hormorrhiza</i>	E de SBC, BQP	300-400	Endémica	2	3
<i>E. pulcherrima</i>	SBC, SBS, SMS	280 – 1 500	Endémica Megamexico II	206	247
<i>E. pumicicola</i>	M	60 - 500	Endémica	1	5
<i>E. radians</i> var. <i>radians</i>	C, M, P, BQ, BPQ VS de BPE, BE	1 350 - 2 600	Endémica Megamexico I	115	161
<i>E. radians</i> var. <i>stormiae</i>	OC, BQ, BP, VS de BQ, BP	1 500 - 2 800	Endémica	16	25
<i>E. restiacea</i>	BQ, BPQ	800 – 2000	Endémica	7	7
<i>E. strigosa</i>	BQ, BPQ, SBC, SBS, VS derivada de las anteriores	(100) 300 – 2 400	Endémica	44	91

**Apéndice 4.** Características morfológicas de especies de *Euphorbia* sect. *Poinsettia* subsect. *Stormiae*.

Especie	Hábito de crecimiento	Tallos	Raíces	Glándulas	Color de brácteas	Número cromosómico
<i>E. colorata</i>	Hierba perenne	Glabros	Tuberosa	1	Rojo brillante	Desconocido
<i>E. cornastra</i>	Arbusto	Tomentulosos	Fibrosa	1-2	Blanco	2n=28
<i>E. cyathophora</i>	Hierba anual	Glabros a esparcidament e pilosos o puberulentos	Fibrosa	1-2	Verde con anaranjado a rojo en la base	2n=28,56
<i>E. heterophylla</i>	Hierba anual	Esparcidament e pilosos a vilosos	Fibrosas	1-2	Verde, a veces amarillentas en la base	2n=28
<i>E. hormorrhiza</i>	Hierba perenne geófito	Glabros o con pocos y débiles tricomas patentes	Tuberosa	1	Verdes con la base naranja	2n=28
<i>E. pulcherrima</i>	Árboles o arbustos	Glabros a veces puberulentos	Fibrosas	1-2	Rojo y Amarillo	2n=28,56
<i>E. pumicicola</i>	Hierba anual	Glabros	Fibrosa	1	Verde	Desconocido
<i>E. radians</i>	Hierba perenne geófito	Glabros a puberulentos	Tuberosa	1-4 (5)	Rosa, blancas a rojizas	Desconocido
<i>E. radians</i> var. <i>stormiae</i>	Hierba perenne geófito	Algo pubescentes	Tuberosa	5-6	Inconspicuas	Desconocido
<i>E. restiacea</i>	Hierba Perenne geófito	Glabros	Tuberosa	1-2	Verde	2n=28
<i>E. strigosa</i>	Hierba Perenne geófito	Pubescentes	Tuberosa	1	Rojo brillante	Desconocido

#### **4. *Euphorbia fulgens* Karw. ex Klotzsch, ESPECIE MICROENDÉMICA DE MÉXICO Y CULTIVADA COMO ORNAMENTAL EN EL EXTRANJERO**

##### **Resumen**

Las plantas ornamentales son un recurso que no ha recibido la atención necesaria en nuestro país a pesar de contar con especies con gran potencial ornamental. *Euphorbia fulgens* es una especie que no se cultiva como ornamental en México, se desconocen aspectos sobre su biología, ecología y cultivo. Por lo que en este trabajo se documentan técnicas de cultivo en otros países y se evalúa su potencial ornamental y su distribución geográfica. Se describen poblaciones silvestres, se elabora la descripción morfológica de la especie y se registra su fenología bajo condiciones de campo e invernadero. Se realizó una revisión bibliográfica y de ejemplares de herbarios, mapa de distribución con QGIS, evaluación en campo, descripción de la especie y seguimiento de la fenología en campo y en invernadero con base en la escala BBCH. La especie se utiliza principalmente como flor de corte en Europa por ser de fácil adaptación a cultivo y presentar ramas arqueadas con inflorescencias atractivas con gran número de ciatios de colores naranja a rojo brillante. Es una especie microendémica de la Sierra Sur de Oaxaca y hasta ahora se han documentado tres poblaciones. El desarrollo fenológico en campo es parecido al observado bajo invernadero. Bajo estas condiciones se registraron siete estados fenológicos principales de acuerdo la escala BBCH, la etapa de floración y fructificación se traslapan durante parte del periodo invierno-primavera.

**Palabras clave:** BBCH, distribución geográfica, fenología, flor de corte.

#### 4.1. Introducción

Las plantas ornamentales se utilizan con propósitos decorativos y culturales. Se pueden clasificar por su forma de uso en plantas de exterior como las que se utilizan en jardines, huertos, parques, calles, caminos y proyectos de diseño de paisaje y plantas de interior que pueden ser en maceta o flores de corte. También se pueden clasificar de acuerdo a la parte decorativa que puede ser toda la planta (arquitectura), hábito decorativo, follaje, flores, frutos, color, olor, formas, texturas o una combinación de ellos (Li y Zhou, 2005; Hurrel, 2016).

Son un recurso que no ha recibido la atención necesaria y su producción en nuestro país se enfoca principalmente en plantas como crisantemo, rosas, gladiola, clavel, nochebuena y gerbera (SIAP, 2018), a pesar de contar con un gran número de especies con potencial de ser utilizadas como plantas ornamentales (Borys y Leszczyńska, 1992; Munguía-Lino *et al.*, 2010). La mayoría de las variedades que se comercializan son originadas en el extranjero, no obstante, México tiene potencial en el mercado de la floricultura debido a la gran diversidad de climas para el desarrollo de casi todos los cultivos, mano de obra suficiente y cercanía a Estados Unidos de América que es uno de los consumidores más importantes del mundo (Tejeda-Sartorius y Arévalo-Galarza, 2012).

Se han propuesto diversas especies silvestres para generar variedades mexicanas, entre ellas *Euphorbia fulgens* Karw. ex Klotzsch, especie que presenta el potencial de ser utilizada como planta de ornato en nuestro país (Corona y Chimal, 2006) ya que se comercializa principalmente como flor de corte en Europa, siendo su nombre común “scarlet plume” (pluma escarlata). Son pocos los estudios que se han realizado sobre esta especie y ninguno se ha enfocado en plantas silvestres. En cultivares se ha evaluado el efecto de factores como la temperatura y humedad en la inducción y floración (Rünger y Albert,

1975) y también se han hecho propuestas de técnicas para su cultivo *in vitro* (Zhang *et al.*, 1987). También se han evaluado tratamientos postcosecha para evitar el amarillamiento y abscisión de hojas (Van Leeuwen, 1986; Jiang *et al.*, 2009).

Sin embargo, se desconocen diversos aspectos sobre su biología, ecología y cultivo, y la información que existe proviene de artículos muy antiguos y en páginas de internet donde se comercializa. Por lo que el presente trabajo tuvo como objetivos documentar las técnicas de cultivo de *E. fulgens* en otros países, evaluar su potencial ornamental, estimar su distribución geográfica, describir poblaciones *in situ*, elaborar la descripción morfológica y por último registrar su fenología bajo condiciones de campo e invernadero, bajo el supuesto de que si se comercializa en otros países se trata de una especie que puede adaptarse como cultivo.

## **4.2. Materiales y Métodos**

### **Revisión de literatura**

Con la finalidad de documentar la forma de cultivo de *Euphorbia fulgens* en otros países, se revisaron diversas fuentes documentales: artículos científicos y páginas web de invernaderos y viveros donde se comercializa la especie. Se definió el potencial ornamental de la especie analizando los valores estéticos (Pérez-Nicolás y Fernández, 2007, Rendón y Fernández, 2007) que presenta. Por último, se evaluó en qué fase del proceso de investigación de nuevos cultivos se encuentra para definir si se pueden establecer bajo cultivo (ver Capítulo 1).

### **Distribución geográfica de *E. fulgens* en México**

Con el objeto de determinar la distribución geográfica de la especie, se revisaron las bases de datos de colecciones nacionales e internacionales disponibles en línea y con acceso libre: Global Biodiversity Information Facility ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)),

Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB) (<http://www.conabio.gob.mx/remib>) y la página de datos abiertos de la UNAM (<http://datosabiertos.unam.mx>). También se consultó la base de W3Tropicos del Missouri Botanical Garden ([www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)). Además, se realizó una búsqueda de ejemplares de herbario depositados en las colecciones más grandes en México (MEXU, ENCB, IEB). Con los registros de ejemplares de herbario se construyó una matriz de datos que contiene estado, municipio, localidad, latitud, longitud, tipo de vegetación, altitud, número de colector, colectores, nombre del determinador y herbario donde se localiza. También se consultó a los especialistas en la familia Euphorbiaceae en México sobre la distribución geográfica de la especie. Los datos de coordenadas geográficas se convirtieron a grados decimales y se validaron para después elaborar un mapa con el sistema de información geográfica QGIS versión 3.10.

### **Evaluación en campo**

Entre diciembre 2018 y enero 2019 se visitaron los sitios de colecta definidos en el mapa de distribución y se realizaron recorridos en cada sitio, donde se tomaron los siguientes datos: coordenadas geográficas, altitud y tipo de vegetación. Con la finalidad de conocer las características físicas y químicas del suelo se tomaron muestras a una profundidad de 20 cm hasta obtener un kilogramo y se llevaron al laboratorio Central de la Universidad Autónoma Chapingo para la determinación de: pH, conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ), porcentaje de materia orgánica, nitrógeno inorgánico ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), fósforo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), potasio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), calcio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), magnesio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), fierro ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), zinc ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), manganeso ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), boro ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ), porcentaje de arena, limo y arcilla así como textura (Apéndice 1).

### **Descripción de la especie**

Se revisó la descripción original hecha por Klotzsch (1834) y la descripción de Bossier (1862) y actualizaron mediante observaciones en campo y ejemplares

que fueron colectados y depositados en los herbarios CHAP y CHAPA, con el fin de conocer las estructuras vegetativas y reproductivas de la especie.

### **Fenología**

Entre abril de 2018 y enero de 2019 se visitaron las localidades señaladas en los ejemplares de herbario y se registró la etapa de desarrollo en que se encontraban las plantas. Para evaluar la fenología en el invernadero, en abril se colectaron frutos de *E. fulgens* en tres localidades. Las semillas fueron sembradas el 10 de mayo del mismo año en macetas de 7.5 x 5.5 x 5.1 cm que se llenaron con sustrato de turba y perlita en una proporción 50:50 v/v. El trasplante se realizó cuando las plántulas mostraron la cuarta hoja verdadera a bolsas negras de polietileno de 25 x 25 cm, conteniendo tierra negra/tierra de hoja de encino/corteza de pino/fibra de coco/vermicomposta (20:30:20:20:10 v/v). Se colocaron bajo una malla sombra de polietileno al 50 %.

El manejo agronómico consistió en riegos cada ocho días. En la primera etapa se utilizó el fertilizante inicial Ultrasol® inicial N15-P30-K15+M.E. AQTEX 0.5 g L<sup>-1</sup> y en la segunda se utilizó un fertilizante multipropósito N18-P18-K18 + M.E. AQTEX, 1 g L<sup>-1</sup>. Los riegos se realizaron usando agua potable. Se realizaron aplicaciones preventivas con fungicidas para evitar la aparición de hongos con Promyl® (i.a. Benomilo) 1.5 g L<sup>-1</sup>, para la prevención de mosca negra se aplicó Talstar® (i.a. bifendrina) 1.5 mL L<sup>-1</sup> alternando con Siroco® (i.a. cipermetrina) y se colocaron trampas cromáticas. Sin embargo, se presentó una plaga de araña roja, la cual fue controlada con Agrimec® (i.a. abamectina) y *Bacillus thuringiensis*. El control de malezas se llevó a cabo de manera manual.

Para registrar las etapas fenológicas, se seleccionaron aleatoriamente 10 individuos de cada localidad, por lo que en total se evaluaron 30 plantas usando la escala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) (Enz y Dachler, 1992; Pham *et al.*, 2015), para especies monocotiledóneas y dicotiledóneas. La escala usa un código decimal que se aplica a las mismas etapas de crecimiento de diferentes especies de plantas. El

ciclo de crecimiento completo de una planta se divide en 10 etapas principales, codificadas de 0 a 9 y éstas se subdividen en etapas secundarias que también se enumeraron del 0 al 9.

### **4.3. Resultados y Discusión**

#### **Cultivo de *Euphorbia fulgens* en otros países**

Las plantas de esta especie requieren sombra parcial y son consideradas de día corto con una duración crítica del día de 11 a 12 horas dependiendo de la temperatura (Rünger y Albert, 1975). La información que a continuación se presenta se obtuvo de páginas de internet de viveros localizados en diferentes países: Estados Unidos (Calix Flowers, 2020; Royer's Flowers & Gifts, 2020); Australia (Weslor Flowers Plant Nusery, 2020); Canadá (Pink Ontario, 2020); India (Nusery Pionner, 2020); Inglaterra (Triangle Nursery Ltd., 2010), Holanda (Flower Nursery De Googh, 2018) y en la página de The Royal Horticultural Society (2020). Se comercializa principalmente como flor de corte, aunque también se oferta planta en maceta o para plantaciones de cimientos o bordes mixtos (Rünger y Albert, 1975).

Las plantas pueden ser ramificadas o sin ramificaciones y curvadas hacia abajo. Las principales variedades que se comercializan actualmente son: 'Sunstream', 'Quicksilver', 'Yellow River', 'Tured', 'Orange', 'Algevo', 'Marielle', 'Red Surprise', 'Fire King', 'Marisda', 'Carmina', 'Judith', 'Astrid', 'Cornet', 'Albora' y 'Agripinba'. Esta especie es muy apreciada como flor de corte debido a que sus inflorescencias presentan una gran diversidad de colores: naranja, rosa, rojo, blanco, salmón, durazno y amarillo) y el color de las hojas puede ser verde, rojo oscuro o morado (Figura 1).

Se cultivan dentro de invernaderos en camas con sustratos arenosos. El proceso de cosecha consiste en cortar tallos que se ordenan por la longitud de la parte con inflorescencias (10, 20 o 30 cm), se hacen racimos de diez tallos y las partes

terminales se introducen en agua caliente (60-80 °C) por aproximadamente 10 s para detener la secreción de látex. Los ramos se ponen en agua conteniendo Chysal AVB® por tres horas para evitar el amarillamiento y abscisión de las hojas durante el transporte. Las plantas son muy sensibles al frío y a cambios bruscos de temperatura, por lo que se recomienda almacenar a 9 o 10 ° C y empaquetarlas bien antes de salir del invernadero durante los meses de invierno. La vida en florero es entre 7 y 12 días, su precio es de ocho euros, lo que equivale a 204 pesos mexicanos. Las semillas germinan entre 10 y 15 días, colocándolas a 6 mm de profundidad en suelo bien drenado, aunque se prefiere la propagación a través de esquejes que se cortan en los meses de mayo y junio para obtener la producción de noviembre a enero.

*Euphorbia fulgens*



Figura 1. Variedades comercializadas como flor de corte en otros países (tomado de Flower Nursery De Gough, 2018).

**Distribución geográfica y descripción de sitios**

*Euphorbia fulgens* se distribuye sólo en el estado de Oaxaca y hasta ahora se conocen únicamente tres poblaciones ubicadas en tres municipios diferentes de

la Sierra Sur: San Jerónimo Coatlán (población 1), Santiago Jamiltepec (población 2) y Santa Catarina Juquila (población 3) (Figura 2) por lo que se ha considerado que esta especie es microendémica de la Sierra Sur de Oaxaca. La primera población se ubica a 40 km en línea recta de la población tres y ésta se encuentra a 50 km en línea recta de la población 2, por lo que las poblaciones uno y dos son las más distantes, a 80 km en línea recta.

Las poblaciones se localizan en cañadas con pendientes pronunciadas y de difícil acceso. La población uno se ubica en una zona de bosque de pino encino con elementos de bosque mesófilo de montaña a 1,421 msnm (Figura 3). La población dos se sitúa en bosque de pino encino con elementos de bosque mesófilo de montaña a 1,160 m de altitud (Figura 4), mientras que la población tres se localiza en bosque mesófilo de montaña y vegetación secundaria derivada de la misma a 1,130 msnm (Figura 5).

El análisis de las muestras de suelo permitió corroborar que los sitios presentan características similares, tienen suelos de textura franco arenosa, pH de alrededor de 5 y un importante contenido de arena. El suelo de la población uno contenía 53.3 % de arena, 29.3 % de limo y 17.2 % de arcilla. El suelo de la población 2 presentó 55.5 % de arena, 31.3 % de limo y 13.2 % de arcilla, mientras que el suelo de la población tres contenía 65.9 % de arena, 16.0 % de limo y 18.1 % de arcilla. El sitio dos presentó mayor contenido de Ca, Mg y Fe en comparación con las otras poblaciones. El menor contenido de materia orgánica se encuentra en la población uno (4.48 %) (Cuadro 1).

Se consideró que las plantas de *Euphorbia fulgens* localizadas en cada uno de los tres sitios de colecta forman poblaciones independientes debido a que se encuentran separadas en distancia y por caminos, carreteras y asentamientos humanos y en consecuencia probablemente hay poco flujo genético entre ellas.

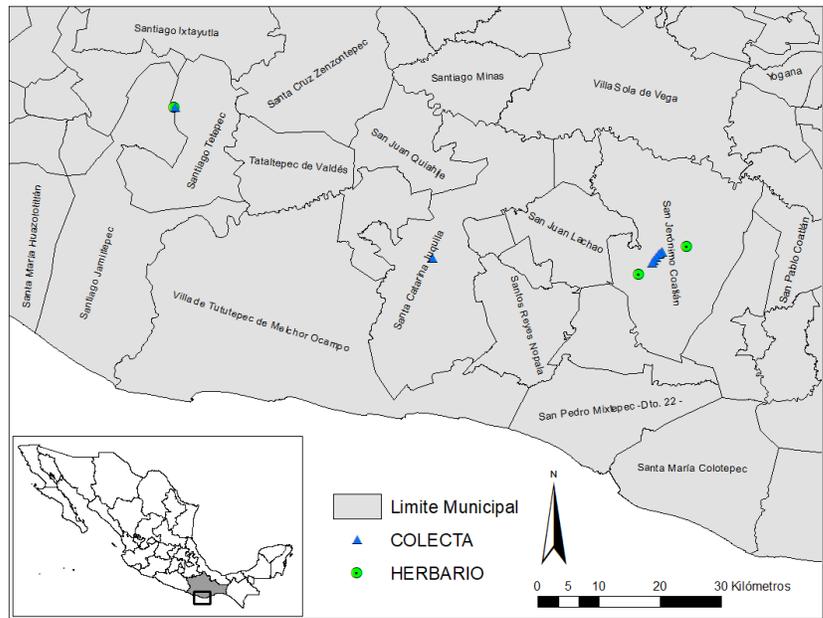


Figura 2. Distribución geográfica de *Euphorbia fulgens* en México. HERBARIO- Registros de herbario. COLECTA- Sitios en los que fueron realizadas las observaciones en campo y las colectas de semillas.



Figura 3. Población uno de *Euphorbia fulgens* en San Jerónimo Coatlán, Oaxaca.

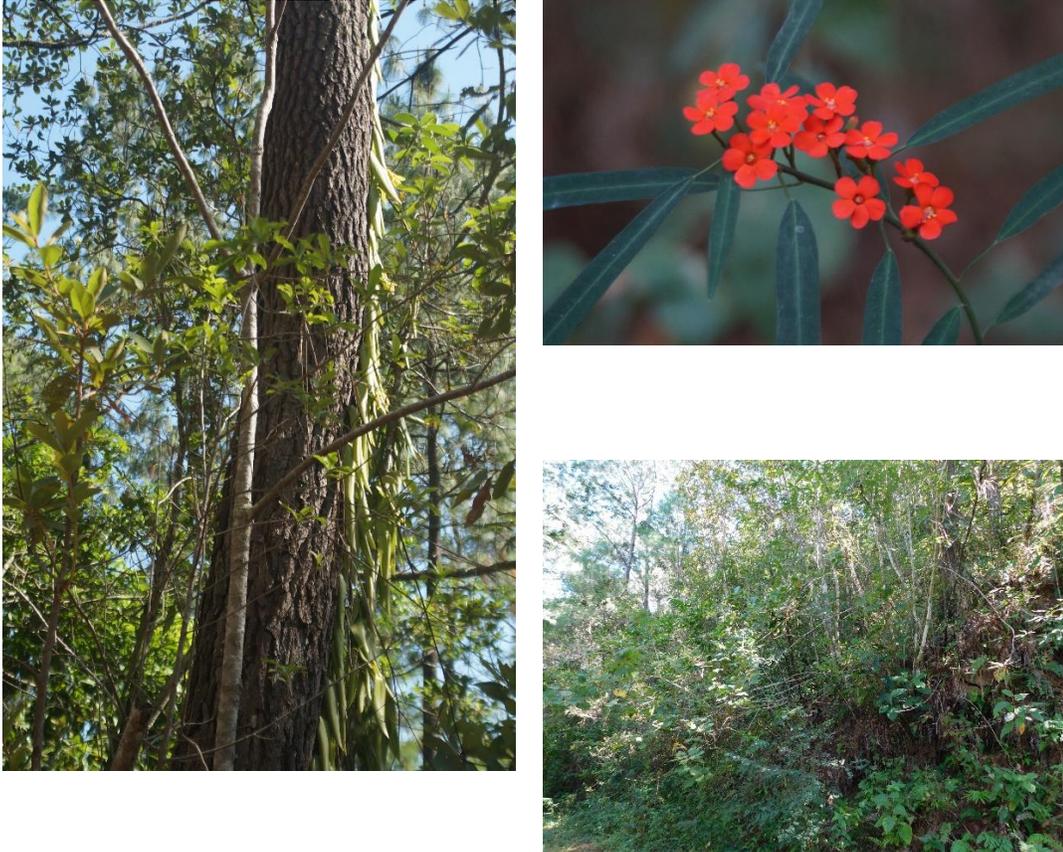


Figura 4. Población dos de *Euphorbia fulgens* en los límites de Santiago Jamiltepec y Santiago Tetepec, Oaxaca.

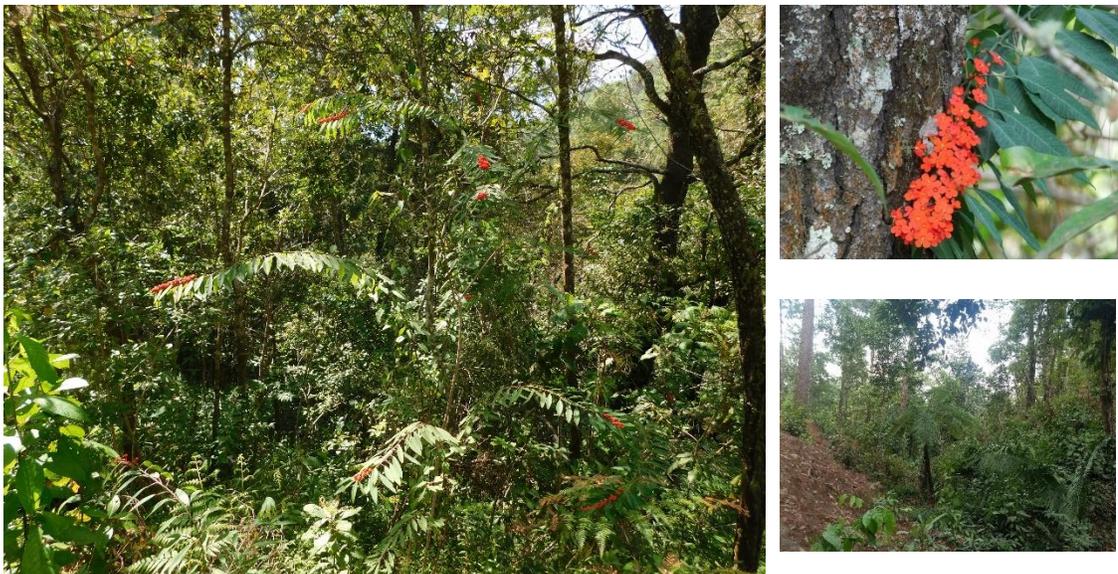


Figura 5. Población tres de *Euphorbia fulgens* en Santa Catarina Juquila, Oaxaca.

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo en tres poblaciones de *Euphorbia fulgens* del estado de Oaxaca, México. Población 1. San Jerónimo Coatlán. 2. Santiago Jamiltepec. 3. Santa Catarina Juquila.

Población	pH	C.E. dS m <sup>-1</sup>	MO %	N. Inorg.	P mg kg <sup>-1</sup>	K mg kg <sup>-1</sup>	Ca mg kg <sup>-1</sup>
1	5.27	0.03	4.48	11.4	0.78	230	287
2	5.43	0.06	7.07	15.9	2.77	364	910
3	5.25	0.04	7.54	15.8	4.73	144	164

Cuadro 1. Continuación

Población	Dens. Apar. g cm <sup>-3</sup>	Mg mg kg <sup>-1</sup>	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>	Mn mg kg <sup>-1</sup>	B mg kg <sup>-1</sup>
1	1.20	98	35.61	0.56	0.40	2.52	1.63
2	1.10	227	110.54	0.40	1.28	14.56	1.98
3	1.11	43	63.21	0.12	0.60	5.98	1.58

### Descripción morfológica de *Euphorbia fulgens* Karw. ex Klotzsch

Sufrútices de hasta 4 m de alto, erectos o algo flexuosos; raíz tuberosa; hojas alternas, pecíolo delgado, subflexuoso, de (1.7) 2.0 a 5.0 (5.8); láminas simples, de 5 a 13 cm de largo, 1.3 a 4.8 cm de ancho, ovado-elípticas a lanceoladas, ápice acuminado, base cuneada, glabras, margen entero, nervadura pinnada. Sinflorescencias de 10 a 40 cm de largo, ciatios pedunculados, agrupados en monocasios axilares de (2.5) 3 a 4.0 cm de largo, involucro campanulado o turbinado de 3 mm de alto, con 5 lóbulos, 5 glándulas amarillas, con apéndices petalíferos obovados, naranjas a rojos, de 0.4 a 0.7 cm de largo, a veces emarginados; en la base apéndices fimbriados de color amarillo pálido con naranja pálido. Flores estaminadas reducidas a un solo estambre, anteras con

dos tecas subglobosas. Flor pistilada solitaria pedicelada, perianto ausente, ovario trilobular; estilos 3 unidos en la base, bífidos. Fruto una cápsula trilobada, hasta de 7 mm de largo, glabro, estilos bífidos; semillas cilíndricas, lisas, color café, de hasta 4 mm de largo (Figura 6).



Figura 6. *Euphorbia fulgens* Karw. ex Klotzsch: A. rama con flores; B. Ciatio, a. apéndices petalíferos, b. ovario; C. cápsula, D. semilla.

### Potencial ornamental en México

*Euphorbia fulgens* es una especie que presenta diferentes valores estéticos, uno de ellos es la arquitectura de la planta ya que presenta ramas arqueadas y la parte que florece está compuesta por diversas cimas de ciatios de colores atractivos que van del anaranjado al rojo y son brillantes (Figura 7). La especie pasó la fase I del proceso para generar nuevos cultivos que consiste en tener un ciclo bajo invernadero con floración y que ésta mantenga su calidad y tenga una

vida postcosecha de más de una semana. Se mantuvo en etapa de floración aproximadamente 4 meses, por lo que en una misma rama se encuentran diferentes estadios de desarrollo de las flores. Su comportamiento bajo invernadero fue óptimo, es una especie que se adapta a condiciones de cultivo y se observó que las plantas son muy parecidas a algunas variedades cultivadas en Europa. Sólo se presentó la plaga de la araña roja y esta especie no fue susceptible a la mosca blanca, la cual representa un problema sanitario en cultivos de nochebuena donde se presenta en alta frecuencia y es difícil de erradicar.

Otra característica importante es que esta especie requiere menor irrigación que la nochebuena. Es una especie que puede ser utilizada como flor de corte debido a que es un sufrútice (parte basal lignificada), de igual manera se adapta como planta en maceta y también puede ser utilizada como planta de exterior en jardines a media sombra. Se encuentra en la fase II que consiste en la propagación para establecer la mejor técnica de cultivo, por lo que se está probando la propagación mediante esquejes y realizando experimentos enfocados a evaluar factores que determinan su manejo agronómico.



Figura 7. Valores estéticos en *Euphorbia fulgens*.

## **Fenología**

Las observaciones en campo permitieron encontrar frutos maduros a principios de abril, aunque éstos coexistían con plántulas por lo que probablemente la fructificación inicie desde el mes de febrero, ya que las inflorescencias se presentaron durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, mientras que el resto del año permanecen en etapa vegetativa. Las etapas de floración y fructificación se traslapan debido a que en una misma rama se pueden encontrar ciatios y frutos.

El cultivo en invernadero presentó siete estados fenológicos de acuerdo al código BBCH (Cuadro 2). La emergencia ocurrió de manera escalonada, los hipocótilos empezaron a emerger (etapa 09) a los trece días después de la siembra (DDS), y esta etapa se completó en todas las plantas a los 45 DDS. La elongación de los hipocótilos en cada planta tomó un día y en los dos días siguientes los cotiledones se desarrollaron completamente (etapa 10). Tres días después aparecieron las primeras hojas opuestas (etapa 11) y después de otros tres o cuatro días apareció la primera hoja alterna (etapa 12) (Figura 8). En los meses de junio, julio y agosto produjo el desarrollo vegetativo (etapas 13, 19). En septiembre se comenzaron a observar las primeras yemas florales. Las inflorescencias comenzaron a emerger (etapa 51) a finales de octubre y principios de noviembre, sin embargo, la mayoría de las plantas floreció entre los meses de diciembre y enero (etapa 65). Cabe aclarar que en una misma planta se pueden encontrar diferentes etapas de desarrollo, es decir, inflorescencias sin abrir, abiertas con estambres, con estigma, con ambas flores masculinas y femeninas, así como con frutos (Figura 8).

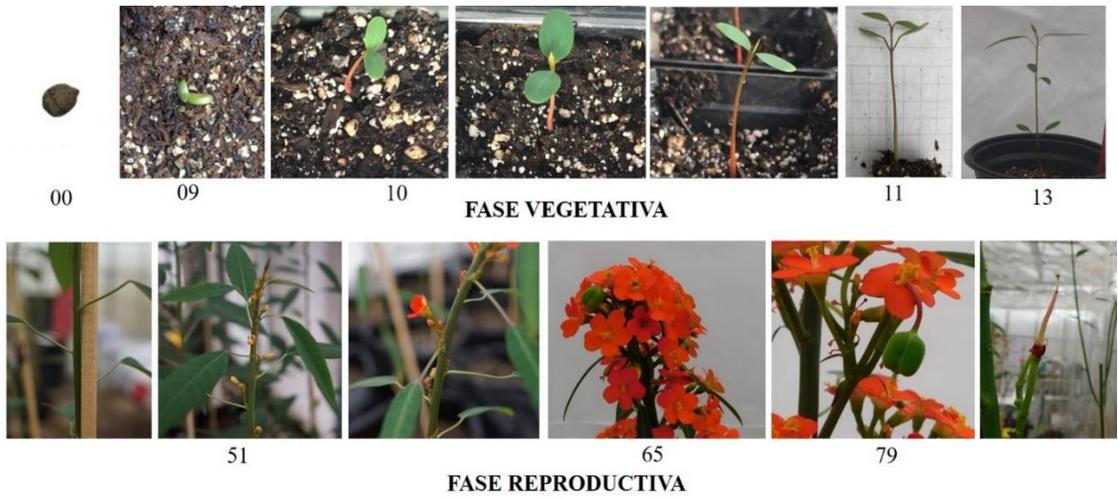


Figura 8. Etapas fenológicas en *Euphorbia fulgens* cultivada bajo invernadero.

Cuadro 2. Estados fenológicos de *Euphorbia fulgens* de acuerdo a la escala BBCH.

Estadios principales (Código BBCH)	Código BBCH	Descripción	
<b>0: Germinación</b> 23 mayo hasta el 24 de junio (germinación escalonada)	00	Semilla seca Siembra: 10 mayo	<b>Fase vegetativa</b>
	09	Emergencia: Los cotiledones salen a través de la superficie del suelo 13 días después de la siembra (DDS)	
<b>1: Desarrollo de hojas (tallo principal)</b> Mayo-Julio	10	Cotiledones completamente desarrollados 15 DDS	
	11	Desarrollo del primer par de hojas verdaderas (opuestas) 18 DDS	
	12	Desarrollo de la segunda hoja verdadera (alterna) 21 DDS	
	13	Desarrollo de la tercera hoja verdadera (alterna) 25 DDS	
	19	Desarrollo de 9 o más hojas verdaderas 90 DDS	
<b>3: Elongación del tallo</b> Julio-Octubre		El crecimiento del tallo es paralelo al desarrollo de las hojas	
<b>5: Aparición de órganos florales</b> Octubre-Noviembre	51	Botones florales visibles 150 DDS	<b>Fase reproductiva</b>
	59	Primeros apéndices petalíferos visibles 170 DDS	
<b>6: Floración</b> Noviembre-Febrero	60	Primeros ciatios abiertos	
	63	30 % de ciatios visibles: ciatios hermafroditas, masculinos y femeninos	
	65	Plena floración: 50% de las flores abiertas, los primeros apéndices petalíferos se secan 230 DDS	
<b>7: Formación del fruto</b> Diciembre-Febrero	70	Primeros frutos visibles 230 DDS	
	71	El 10 % de los frutos alcanza el tamaño específico de su especie	
	75	El 50 % de los frutos alcanza el tamaño específico de su especie	
	79	Los frutos han alcanzado el tamaño propio de su especie	
<b>8: Maduración de frutos y semillas</b>	81	Comienzo de la maduración 300 DDS	

<b>Marzo-Abril</b>	88	Disminución de la consistencia del fruto	
	89	Maduración plena. Los frutos se desprenden con relativa facilidad	

No se han realizado estudios sobre tipo de reproducción y polinización, sin embargo, las observaciones en campo llevadas a cabo en este estudio sugieren que pudiera tratarse de una especie alógama con polinización entomófila principalmente por dípteros, avispas pequeñas, chinches y hormigas (Figura 9).



Figura 9. Visitantes florales en poblaciones silvestres de *E. fulgens*.

#### 4.4. Conclusiones

*Euphorbia fulgens* es microendémica de la Sierra Sur de Oaxaca, su distribución se restringe a tres poblaciones, tiene gran potencial de ser cultivada como ornamental principalmente por sus ramas arqueadas, sus inflorescencias atractivas, su larga duración en etapa de floración y su adaptación a cultivo. La floración y fructificación se traslapan durante el periodo de invierno y primavera. Para su cultivo se sugiere usar sustratos arenosos con buena aireación y no realizar riegos abundantes. La especie se encuentra en la Fase II del proceso de generación de nuevos cultivos, por lo que sería pertinente realizar evaluaciones del efecto de la luz, temperatura, humedad, nutrición y fotoperiodo. Se sugiere que de existir interés en cultivar esta especie es necesario contactar con los autores de este artículo para obtener material bajo la condición que se haga un uso adecuado, con la finalidad de conservar la especie tanto *in situ* como *ex situ*, ya que como se mencionó anteriormente, no existen poblaciones silvestres en ningún otro país.

#### 4.5. Literatura citada

- Boissier, P. E. (1862). Euphorbiaceae, Euphorbieae. In: de Candolle, A. (Ed.). *Prodromus systematis naturalis regni vegetalis*. Vol. 15. Victoris Masson et Fil. Paris, Francia. Página 68.
- Borys, M. y Leszczyńska, H. (1992). Reflexiones sobre el potencial ornamental de plantas en México. *Manuales de Horticultura ornamental* 7. Universidad Autónoma del Estado de Puebla, Fitotecnia, México. 68 p.
- Calix Flowers. (2020). Scarlet Plume – *Euphorbia fulgens*. Calix Flowers The Flowers Lover's Flower, Inc. Consultado en <https://www.calyxflowers.com/floral-library/scarlet-plume/>. Fecha de consulta: Enero, 2020.
- Corona, V. y Chimal, A. (2006). *Plantas mexicanas con potencial ornamental*. México, CDMX.: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. ISBN 970-31-0541-6. 626 pp.
- Enz, M. y Dachler Ch. (1998). Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas escala BBCH extendida. BBA, BSA, IVA, IGZ. Consultado en: [https://www.agro.basf.es/Documents/es\\_files/pdf\\_1\\_files/services\\_files/d\\_escarga.pdf](https://www.agro.basf.es/Documents/es_files/pdf_1_files/services_files/d_escarga.pdf). Fecha de consulta: Abril, 2018.
- Flower Nusery De Goohg. (2018). Assorment *Euphorbia fulgens*. Consultado en: <https://www.googh.nl/euphorbia-fulgens-assortment.html>. Consultado: Febrero, 2018.
- GBIF.org (2018). The Global Biodiversity Information Facility. Consultado en: <http://www.gbif.org/what-is-gbif>. Fecha de consulta: Febrero, 2018.
- Hurrel, J. A. (2016). Ornamental Plants. En: Albuquerque, U. P. y Alves, R. (Eds). *Introduction to Ethnobiology*. Springer International Publishing Switzerland. 171-176 pp. doi: 10.1007/978-3-319-28155-1.
- Jiang, C. Z., Wu, I., Macnish, A. J., King, A., Yi, M. y Reid, M. S. (2009). Thidiazuron, a non-metabolized cytokinin, shows promise in extending the life of potted plants. *Acta Horticulturae*, 847, 59-65.
- Klotzsch, F. J. (1834). Nuevas euforbias en México. *Euphorbia fulgens*. *Allgemeine Gartenzeitung* 2, 26-27.
- Li, X. y Zhou, Z. (2005). Endemic wild ornamental plants from Northwestern Yunnan, China. *HortScience*, 40(6), 1612-1619. doi. 10.21273/HORTSCI.40.6.1612.
- Missouri Botanical Garden. (2018). W3 Tropicos. Recuperado de <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>. Fecha de consulta: Febrero, 2018.

- Munguía-Lino, G., Vázquez-García, L. M. y López-Sandoval, J. A. (2010). Plantas silvestres ornamentales comercializadas en los mercados de la flor de Tenancingo y Jamaica, México. *Polibotánica*, 29, 281-308. ISSN. 1405-2768.
- Nursery Pioneer. (2020). *Euphorbia fulgens* (scarlet plume). Consultado en <https://www.nurserypioneer.com/product/euphorbia-fulgens/>. Fecha de consulta: Enero, 2020.
- Pérez-Nicolás, M. y Fernández, N. (2007). Plantas con potencial uso ornamental del estado de Morelos, México. *Polibotánica*, 24, 83-115.
- Pham, V. T., Herrero, M. y Hormaza, J. I. (2015). Phenological growth stages of longan (*Dimocarpus longan*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, 189, 201-207.
- Pinck Ontario. (2020). *Euphorbia*, scarlet plume (*Euphorbia fulgens*). Consultado en <https://www.po.flowerscanadagrowers.com/our-products/3698/euphorbia/fulgens>. Fecha de consulta: Enero, 2020.
- SIAP. (2018). Datos abiertos. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado en: [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php). Fecha de consulta: Agosto, 2019.
- REMIB (2015). Red Mundial de Información sobre Biodiversidad. Consultado en: <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remibnodosdb.html>. Fecha de consulta: Febrero, 2018.
- Rendón, A. y Fernández, N. (2007). Plantas con potencial uso ornamental del estado de Morelos, México. *Polibotánica*, 23, 121-165.
- Roger's Flowers & Gifts. (2020). Floral Library- Scarlet Plume. Consultado en [https://www.royers.com/usrf.cfm?funfacts=floraldisplaypage&floral\\_id=47](https://www.royers.com/usrf.cfm?funfacts=floraldisplaypage&floral_id=47). Fecha de consulta: Enero, 2020.
- Rünger, W. y Albert G. (1975). Influence of temperature, soil moisture and CCC on the flowering of *Euphorbia fulgens*. *Scientia Horticulturae*, 3, 393-403.
- The Royal Horticultural Society. (2020). *Euphorbia fulgens*, scarlet plume. Consultado en <https://www.rhs.org.uk/Plants/24426/Euphorbia-fulgens/Details>. Fecha de consulta: Enero, 2020.
- Tejeda-Sartorius, O. y Arévalo-Galarza, M. L. (2012). La floricultura una opción económica rentable para el minifundio mexicano. *Agroproductividad*, 5(3), 11-27. ISSN-0188-7394.
- Triangle Nursery Ltd. (2020). *Euphorbia fulgens*. Consultado en <https://www.trianglenursery.co.uk/flower-guides/euphorbia-guide>. Fecha de consulta: Enero, 2020.
- UNAM. (2019). Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), Herbario Nacional de México, Plantas Vasculares. En portal de Datos Abiertos UNAM Colecciones Universitarias (en línea), México, Universidad

Autónoma de México. Disponible en: <http://datosabiertos.unam.mx/>. Fecha de consulta: Enero 2019.

Van Leeuwen, P. J. (1986). Post-harvest treatment of *Euphorbia fulgens*. *Acta Horticulturae*, 181, 467-471. doi:10.1111/eva.12634.

Weslor Flowers Plant Nursery. (2020). Scalet Plume-*Euphorbia fulgens* 125 mm. Consultado en <https://www.weslorflowers.com/product/scarlet-plume-euphorbia-fulgens-125mm/>. Fecha de consulta: Enero, 2020.

Zhang, B., Stoltz, L. P. y Snyder, J. C. (1987). In vitro propagation of *Euphorbia fulgens*. *HortScience*, 22(3), 486-488.

## Apéndice 1.

### **Metodología para análisis de suelo utilizada en el Laboratorio Central Universitario. Departamento de Suelos.**

**pH:** Potenciométrico, relación suelo-agua, 1:2.

**Conductividad eléctrica (CE):** Puente de conductividad eléctrica en suspensión muestra: agua, 1:2.

**Materia Orgánica (MO):** Wlakely y Black.

**Nitrógeno Total (N Tot.):** Determinado por arrastre de vapor: Kjeldahl.

**Nitrógeno Inorgánico (N. Inorg.):** Extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor.

**Fosforo asimilable (P):** Bray P-1.

**Potasio (K):** Extraído en acetato de Amonio 1.0 N, pH 7.0, relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de emisión de flama.

**Calcio, Magnesio (Ca, Mg):** Extraído con acetato de amonio 1.0 N, pH 7.0, relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.

**Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso (Fe, Cu, Zn, Mn):** Extraído con DTPA relación 1:4 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.

**Boro (B):** Extraído con CaCl<sub>2</sub> 1.0M y determinado por fotocolorimetría con Azometina-H.

**Densidad Aparente (DAP.):** Método de la probeta.

**Textura (Tex):** Hidrómetro de Bouyoucos.

## 5. VARIACIÓN FENOTÍPICA EN POBLACIONES SILVESTRES Y BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO DE UNA ESPECIE MICROENDÉMICA DE MÉXICO: *Euphorbia fulgens* Karw. ex Klotzsch

### Resumen

La determinación de la variación fenotípica es útil en programas de conservación y de mejoramiento genético, por lo que en el presente trabajo se evaluó esta variación en *Euphorbia fulgens*, especie microendémica y con potencial de ser utilizada como ornamental en México. La caracterización de poblaciones silvestres en campo se realizó midiendo 30 caracteres morfológicos de estructuras vegetativas y reproductivas, mientras que bajo invernadero se evaluaron 39 variables morfométricas. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para campo e invernadero de manera independiente y cuando existieron diferencias significativas se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha < 0.05$ ). Para identificar los caracteres responsables de las diferencias entre invernadero y campo se llevó a cabo un análisis discriminante lineal (ADL). Se observó una mayor variación en caracteres morfométricos en campo en comparación con la obtenida en invernadero. El ADL separó a las poblaciones de acuerdo a longitud de la inflorescencia, la relación longitud de peciolo y longitud de lámina y la redondez de las hojas. Las variables que determinaron la separación de los individuos entre poblaciones silvestres y bajo invernadero fueron el número de cimas, el diámetro Feret de hojas y la longitud de la inflorescencia. Existe variación fenotípica entre poblaciones silvestres en esta especie microendémica de distribución restringida y dicha variación disminuye bajo cultivo.

**Palabras clave:** flor de corte, inflorescencia, ornamental, morfometría, scarlet plume.

## **Abstract**

The determination of phenotypic variation is useful for conservation and genetic improvement programs. Thus, in this study the phenotypic variation present in *Euphorbia fulgens*, an endemic species with potential to be used as ornamental in Mexico, was evaluated. Characterization of a wild population in the field was obtained measuring 30 morphological traits from vegetative and reproductive structures, while 39 morphometric variables were evaluated under greenhouse conditions. An analysis of variance (ANOVA) was carried out for wild and greenhouse populations, and when there were significant differences, Tukey means comparisons ( $\alpha < 0.05$ ) were performed. In order to identify the main traits responsible for those differences a linear discriminant analysis (LDA) was conducted. Greater morphological variation was observed under conditions compared to greenhouse conditions. LDA separated populations by inflorescence length, petiole and blade length ratio, and leaves roundness. Separation of individuals into field and greenhouse populations were based on the number of cymes, Feret diameter of leaves, and inflorescence length.

**Keywords:** cut flower, inflorescence, ornamental, morphometry, scarlet plume.

## **5.1. Introducción**

La variación fenotípica hace referencia a las diferencias morfométricas observadas como resultado de aspectos genéticos y factores ambientales (Schmid, 1992; Willmore *et al.*, 2007); dicha variación se ha estudiado en diversas especies que han sido sometidas a distintas formas de manejo *in-situ* y *ex-situ* como la agricultura, la recolección, la tolerancia, la inducción y la protección (Casas *et al.*, 1997ab; Blancas *et al.*, 2013; Cruse-Sanders y Casas, 2017). Diversos autores han propuesto que el proceso de domesticación de un recurso genético genera variabilidad fenotípica debido a la selección de caracteres deseables para el ser humano y por esto evalúan diferencias morfológicas entre plantas cultivadas, semicultivadas y sus parientes silvestres (Casas *et al.*, 2007; De Freitas *et al.*, 2013; Aguirre-Dugua *et al.*, 2013; Betancourt-Olvera *et al.*,

2018). Los principales estudios al respecto se han realizado en plantas comestibles y son pocos los enfocados en plantas con otros usos. A la fecha son escasas las investigaciones a nivel mundial donde evalúa la variación morfológica entre plantas ornamentales cultivadas y sus parientes silvestres (Aros *et al.*, 2006; Trejo *et al.*, 2018), la mayoría se enfoca a caracterizar diversos genotipos de plantas cultivadas o con algún grado de manejo (Ferreira de Melo *et al.*, 2016; Mladenović *et al.*, 2017; Aros *et al.*, 2019; Dalda-Şekerci, 2020).

Por otro lado, se ha estudiado cómo contribuyen diversos factores ambientales como la altitud, precipitación, características físicas y químicas del suelo, intensidad lumínica, orientación de la ladera, entre otros, a la variación fenotípica en diversas especies como resultado de un proceso de adaptación a diversos hábitats (Bruschi *et al.*, 2003; Ounsavi y Sokpon, 2010; López-Gómez *et al.*, 2012; Ouédraogo *et al.*, 2019). La mayoría de las investigaciones han estudiado especies silvestres de distribución amplia, aunque también se han realizado con especies microendémicas ya que, debido a su distribución restringida, permiten evaluar si existe variación morfométrica asociada a características edafoclimáticas y además se puede inferir su respuesta ante escenarios de posibles cambios ambientales (Gutiérrez *et al.*, 2013; Arteaga *et al.*, 2015; Matesanz *et al.*, 2017; Winkler *et al.*, 2019).

*Euphobia fulgens* Karw. ex Klotzsch es una especie microendémica de México con distribución restringida que se produce y comercializa como planta ornamental en otros países, principalmente en Europa, en donde se conoce como “scarlet plume” (pluma escarlata). Se utiliza como flor de corte, planta en maceta y para plantaciones de cimiento (Rünger y Albert, 1975; Van Leeuwen, 1986). Debido a su importancia ornamental en otros países, principalmente como flor de corte, *E. fulgens* es un recurso fitogenético que puede ser aprovechado de manera sustentable en México, ya que presenta valores estéticos, principalmente las inflorescencias y se adapta fácilmente a condiciones de cultivo (ver Capítulo 2).

Por lo que es una especie con potencial ornamental, donde resulta conveniente evaluar la variación fenotípica debido a su condición de microendémica, lo que puede ser el inicio para establecer programas de conservación exitosos. La evaluación de la variación en condiciones controladas permite generar información útil para establecer programas de mejoramiento genético que en un determinado tiempo den respuesta a la demanda de diversos productores de flores ornamentales de contar con variedades mexicanas que sean resistentes a las condiciones climáticas de nuestro país y así reducir costos de producción, ya que actualmente las variedades de plantas que se comercializan son originadas en el extranjero (Canul-Ku *et al.*, 2010).

Por lo que el objetivo de este trabajo fue cuantificar la variación fenotípica de *E. fulgens* Karw. ex Klotzsch en poblaciones silvestres y en condiciones de cultivo, bajo el supuesto de que debido a su distribución restringida presente escasa variación morfométrica, la cual deberá reducirse aún más bajo condiciones de cultivo.

## **5.2. Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

El estudio se llevó a cabo en tres poblaciones de *Euphorbia fulgens* localizadas en los municipios de San Jerónimo Coatlán, Santa Catarina Juquila y en los límites entre Santiago Jamiltepec y Santiago Tetepec, pertenecientes al estado de Oaxaca. Esta especie tiene distribución restringida y es microendémica de la Sierra Sur de Oaxaca. (Figura 1). Se encuentra en cañadas con pendientes pronunciadas y de difícil acceso; presenta características edafoclimáticas similares, habita suelos con textura franco arenosa, con un pH de alrededor de 5 y un alto porcentaje de arena (Cuadro 1) (ver Capítulo 2).

Cuadro 1. Características principales de las localidades donde se ubican las poblaciones silvestres de *Euphorbia fulgens*.

Población	Altitud	Tipo de vegetación	Arena	Limo	Arcilla	Materia orgánica
1	1421	BPE	53.3	29.3	17.2	4.48
2	1130	BPE	55.5	31.3	13.2	7.07
3	1160	BMM, VSBMM	65.9	16.0	18.1	7.54

BPE-bosque de pino encino, BMM-bosque mesófilo de montaña, VSBMM-vegetación secundaria de bosque mesófilo de montaña.

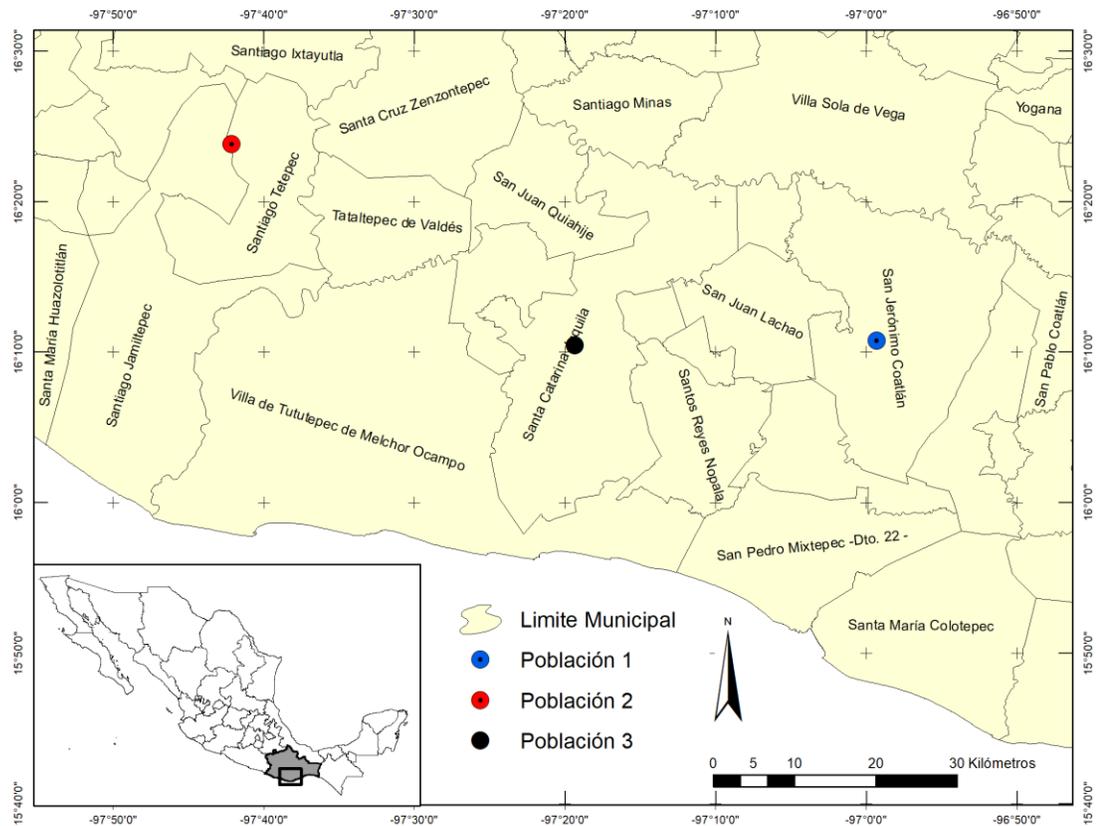


Figura 1. Ubicación geográfica de poblaciones silvestres de *E. fulgens* en México.

## Variación fenotípica en poblaciones silvestres

Entre diciembre 2018 y enero 2019 se visitaron las poblaciones silvestres definidas en el mapa de distribución (Figura 2) y se hicieron transectos en línea horizontal cada 50 m. Se seleccionó el individuo más cercano cada 10 m y en total se muestrearon 30 individuos por población en un área de una hectárea. Las variables morfométricas registradas en cada individuo fueron 11 de estructuras vegetativas y 19 de estructuras reproductivas. Primero se midió la altura de planta (cm), el diámetro basal (cm) y se contó el número de ramas con flores. Posteriormente se cortaron tres hojas del segundo tercio del tallo y se registró: la longitud del peciolo (cm), longitud de la lámina (cm) y ancho de la lámina (cm); para ello, estas estructuras se colocaron previamente sobre una hoja blanca tamaño carta, con el objeto de medirlas con una regla y a la vez usarla de escala para después fotografiarlas con una cámara Nikon Coolpix B500. Con las imágenes resultantes se calcularon las variables: área foliar (cm), perímetro (cm), diámetro Feret y redondez, usando el programa Image J v. 1.8.0\_112 (Schneider *et al.*, 2012). Adicionalmente se calculó la relación entre ancho de la lámina y longitud de la lámina y entre longitud de peciolo y longitud de la lámina.

Las inflorescencias están organizadas en tres niveles: el primer nivel corresponde al ciatio, el segundo nivel corresponde a las cimas y el tercer nivel corresponde a la inflorescencia, es decir, a todo el conjunto de inflorescencias (Apéndice 1) (Yang *et al.*, 2012). En este estudio se denomina inflorescencia para hablar de este último nivel de organización (Apéndice 1). Se registraron la longitud de la inflorescencia (cm), número de ciatios por cima axilar, longitud de la cima más larga, número de cimas axilares, número de ciatios hermafroditas, número de ciatios masculinos y femeninos. Se cortaron tres ciatios y se registraron la longitud de pedúnculo (cm), longitud del involucro (cm), largo y ancho del apéndice petalífero (cm), longitud de pedicelo (cm), largo del ovario (cm), largo de estilos (cm) y largo del estambre (cm) (apéndice 1). Con base en lo sugerido en la guía técnica para variedades de *Euphorbia fulgens* de la UPOV, se registró

el color de los apéndices petalíferos mediante las cartas de color The Royal Horticulture Society. También se registró el color de la lámina de la hoja del tercio superior y del tercio inferior de la inflorescencia (verde o rojizo) y la intensidad del color rojo si es que éste se presentó (ligero, medio u oscuro).

### **Variación fenotípica bajo invernadero**

En abril de 2018 se recolectaron frutos en las poblaciones antes definidas. De cada planta se colectó la tercera parte de los frutos con el propósito de evitar la alteración de las poblaciones. Éstos se colocaron en bolsas de papel, donde permanecieron hasta que se secaron a temperatura ambiente y comenzaron a liberar las semillas debido a que son dehiscentes. En los frutos que no se abrieron de manera natural se utilizaron pinzas de disección para sacar las semillas. Éstas fueron sembradas en el invernadero de cristal del área de posgrado en Horticultura ubicado en la Universidad Autónoma Chapingo, la cual se localiza en Texcoco, Estado de México, a 19°29' Latitud Norte y -98° 53' Longitud Oeste, a una altitud de 2,450 m.

El número de semillas obtenidas para cada población fue diferente: 100 semillas en las poblaciones 1 y 2, mientras que para la 3 sólo se obtuvieron 60 semillas. La siembra de semillas se realizó el 10 de mayo de 2018 y se utilizaron macetas de 7.5 x 5.5 x 5.1 cm que se llenaron con sustrato de turba/perlita (50:50 v/v). Se obtuvieron 35 plántulas para la población uno, 67 plántulas para la población dos y 15 plántulas para la población tres. En la etapa de plántulas se regaron con fertilizante Ultrasol® inicial N15-P30-K15+M.E. AQTEX.

El trasplante se realizó cuando las plántulas tuvieron su cuarta hoja verdadera, se utilizaron bolsas negras de polietileno de 25 x 25 cm, con sustrato tierra negra/tierra de hoja de encino/corteza de pino/fibra de coco/vermicomposta (20:30:20:20:10 v/v). Se colocaron bajo una malla sombra de polietileno al 50 %. Al agua de riego se le adicionó Ultrasol® Multipropósito N18-P18-K18 + M.E.

AQTEX. Se realizaron aplicaciones preventivas de fungicidas para prevenir la aparición de hongos con Promyl® (i.a. Benomilo) 1.5 gL<sup>-1</sup> y para la prevención de mosca negra se aplicó Talstar® (i.a. bifendrina) 1.5 ml L<sup>-1</sup>. El control de malezas se llevó a cabo de manera manual.

La toma de datos se realizó cuando las plantas presentaron uno o dos frutos (Figura 3), se eligieron aleatoriamente 15 plantas por población ya que fue el mayor número de plantas obtenidas para la población tres. En este estado fenológico se registraron 14 variables vegetativas y 25 reproductivas, las mismas evaluadas en campo, y debido a la facilidad de trabajo en invernadero se adicionaron otras nueve variables: longitud de entrenudos (cm), número de hojas antes de la inflorescencia, longitud de entrenudos en la inflorescencias (cm), diámetro de la inflorescencia (ciatio) (cm), largo del fruto (cm), ancho del fruto (cm), número de frutos, número de semillas y número de brotes vegetativos después de cosechar los frutos.



Figura 2. Poblaciones silvestres de *E. fulgens* del estado de Oaxaca.



Figura 3. *E. fulgens* bajo invernadero en su primer ciclo de cultivo.

### **Análisis estadístico**

Con objeto de determinar si existían diferencias significativas en las variables morfométricas entre las poblaciones bajo estudio se realizaron análisis de varianza (ANOVA) independientes de las 30 variables morfométricas medidas en campo y las 39 variables cuantificadas en invernadero y cuando existieron diferencias significativas se aplicó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $\alpha < 0.05$ ). Antes de llevar a cabo el análisis estadístico de los resultados todas las variables se estandarizaron sustrayendo la media de su grupo y dividiendo ese resultado por la desviación estándar del grupo. Se aplicaron las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilks) y homocedasticidad (Kolmogorov) y todas las variables cumplieron con estos supuestos por lo que se procedió a realizar el análisis paramétrico.

Con el objeto de identificar las variables responsables de la separación espacial de los grupos campo e invernadero definidos *a priori*, se llevó a cabo un análisis discriminante lineal (ADL), donde la variable dependiente fueron las poblaciones bajo estudio y las independientes las distintas variables morfométricas consideradas. Previo a ello se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) de forma separada a las poblaciones silvestres y bajo invernadero para eliminar variables altamente correlacionadas entre sí y con menor factor de carga. Por lo que de las 28 variables morfológicas iniciales quedaron únicamente 19 variables.

Las variables con las que se procedió a realizar el ADL fueron: número de ramas con flores, longitud de peciolo, ancho de la lámina, relación ancho de lámina y longitud de la lámina, relación longitud de peciolo y longitud de la lámina, área foliar, redondez de hoja, longitud de la inflorescencia, número de ciatios por cima, número de cimas axilares, número de ciatios hermafroditas, número de ciatios masculinos, número de ciatios femeninos, longitud de pedúnculo, ancho de apéndice petalífero, longitud de pedicelo, largo de estilos, largo del estambre y color de apéndices. Todos los análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

### **5.3. Resultados**

#### **Variación fenotípica en poblaciones silvestres**

Se detectaron diferencias significativas entre poblaciones silvestres de *E. fulgens* (Cuadro 2). Las variables morfométricas que fueron estadísticamente diferentes en las tres poblaciones fueron la longitud de la lámina y el largo del estambre. No obstante, cuando se realizaron comparaciones entre pares de poblaciones se observaron diferencias entre un mayor número de variables. Entre la población uno y dos hubo diferencia significativa en 16 de las 30 variables morfométricas.

Las diferencias corresponden a seis variables de estructuras vegetativas y diez de estructuras reproductivas. Entre las poblaciones uno y tres las variables que mostraron diferencias significativas fueron 10, siendo seis de estructuras vegetativas y cuatro de estructuras reproductivas. Finalmente, entre las poblaciones dos y tres fueron 12 variables las que evidenciaron diferencias significativas, dos en estructuras vegetativas y diez a estructuras reproductivas (Cuadro 2).

La representación gráfica del ADL muestra que el eje canónico 1 explicó el 73.76 % de la variación entre grupos y el eje canónico 2 el 26.24 %, ambos significativos ( $p < 0.001$ ), sugiriendo una clara diferenciación entre poblaciones, siendo las más opuestas entre ellas la 1 y la 2 (Figura 4). A partir de la primera función discriminante estandarizada por las covarianzas comunes puede verse que la longitud de la inflorescencia (-0.87) es la variable más importante para la discriminación sobre este eje, seguido por la relación longitud de peciolo y longitud de lámina (0.83) y la redondez de las hojas (-0.83). En el eje 2 las variables más importantes para la discriminación entre grupos fueron la relación del ancho de la lámina y longitud de lámina (2.39), el ancho de la lámina (-1.85) y la longitud de la inflorescencia (-0.68). La tasa de error aparente promedio en la clasificación de grupos fue baja (4 %) (Figura 4).

Cuadro 2. Variables morfométricas de tres poblaciones silvestres de *Euphorbia fulgens* del estado de Oaxaca, México.

<b>Variable</b>	<b>Valor p</b>	<b>Población 1</b>	<b>Población 2</b>	<b>Población 3</b>
<b>Altura de planta</b>	0.0696	145.53a	158.63a	180.63a
<b>Diámetro basal</b>	0.0240	0.78ab	0.64b	1.02a
<b>Longitud de peciolo</b>	0.0007	3.46a	2.94b	2.95b
<b>Longitud de lámina</b>	0.0001	7.99c	9.03b	9.73a
<b>Ancho de lámina</b>	0.0204	2.75a	2.36b	2.45ab
<b>Ancho de lámina / Longitud de lámina</b>	0.0001	0.35a	0.26b	0.25b
<b>Longitud de peciolo / Longitud de lámina</b>	0.0001	0.43a	0.33b	0.30b
<b>Área foliar de la hoja</b>	0.8267	14.43a	13.77a	14.08a
<b>Perímetro de hoja</b>	0.4161	27.88a	27.46a	28.73a
<b>Diámetro Feret de hoja</b>	0.0504	11.12b	11.58ab	12.01a
<b>Redondez de hoja</b>	<0.0001	0.34a	0.26b	0.25b
<b>Número de ramas con inflorescencias</b>	0.0037	4.20a	1.80b	4.07a
<b>Longitud de la inflorescencia</b>	0.0080	12.07b	22.92a	18.72ab
<b>Número de ciatios por cima axilar</b>	0.1527	3.03a	3.37a	3.07a
<b>Longitud de la cima más larga</b>	0.0068	2.72ab	2.87a	2.41b
<b>Número de cimas axilares</b>	0.9085	14.27a	13.40a	13.73a
<b>Número de ciatios hermafroditas</b>	0.0001	1.53b	9.30a	0.73b
<b>Número de ciatios masculinos</b>	0.0011	14.33a	7.13b	8.17b
<b>Número de ciatios femeninos</b>	0.5249	1.03a	0.60a	0.67a

<sup>abc</sup> Poblaciones con letra distinta en el sentido de la fila son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 1. Continuación.

Variable	Valor p	Población 1	Población 2	Población 3
Longitud del pedúnculo	0.0001	1.53a	1.05b	1.51a
Largo del involucro	0.0007	0.31b	0.30b	0.33a
Largo del apéndice petalífero	0.6668	0.54a	0.54a	0.53a
Ancho del apéndice petalífero	0.0044	0.50a	0.50a	0.44b
Longitud de pedicelo	0.0033	0.98a	0.85b	1.02a
Largo del ovario	0.0136	0.32a	0.29b	0.31ab
Largo del estilo	0.0117	0.15a	0.12ab	0.11b
Largo del estambre	<0.0001	0.46c	0.67a	0.53b
Color de apéndices petalíferos	<0.0001	1.57b	3.20a	1.30b
Color de la lámina de la hoja en el tercio superior de la inflorescencia	0.3721	1.00a	1.00a	1.03a
Intensidad de color de la lámina de la hoja en el tercio superior de la inflorescencia	0.3721	1.00a	1.00a	1.13a

<sup>abc</sup> Poblaciones con letra distinta en el sentido de la fila son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

### Variación fenotípica de *E. fulgens* bajo invernadero

En el cultivo bajo invernadero se detectó menor variación fenotípica en comparación con la obtenida en campo (Cuadros 2 y 3). Las variables significativamente diferentes entre las tres poblaciones fueron el ancho de la lámina y la relación ancho de la lámina y longitud de lámina (Cuadro 3). Las variables significativamente diferentes entre la población uno y dos fueron nueve. Manteniéndose las diferencias detectadas en campo para la mayoría de las estructuras vegetativas, mientras que en estructuras reproductivas disminuyó la variación y sólo se encontró en el número de ciatios femeninos y en el color de

las hojas que se ubican en el racimo. Las diferencias morfométricas se registraron tanto en estructuras vegetativas (seis variables) como reproductivas (tres variables) (Cuadro 3).

Con respecto a las poblaciones uno y tres, nueve variables morfométricas relacionadas con estructuras vegetativas y tres con estructuras reproductivas mostraron diferencias significativas, manteniéndose la mayoría de las variables de estructuras vegetativas obtenidas en campo y sólo la variable largo del estambre se comportó igual que en campo (Cuadro 3). Por último, las variables significativamente diferentes entre la población dos y tres fueron siete, conservándose como caracteres de diferenciación la longitud de la cima más larga y el diámetro basal, los cuales también fueron registrados en campo (Cuadro 3). En general la variación en estructuras vegetativas fue similar en campo y en cultivo mientras que la variación en estructuras reproductivas disminuyó considerablemente en condiciones de cultivo.

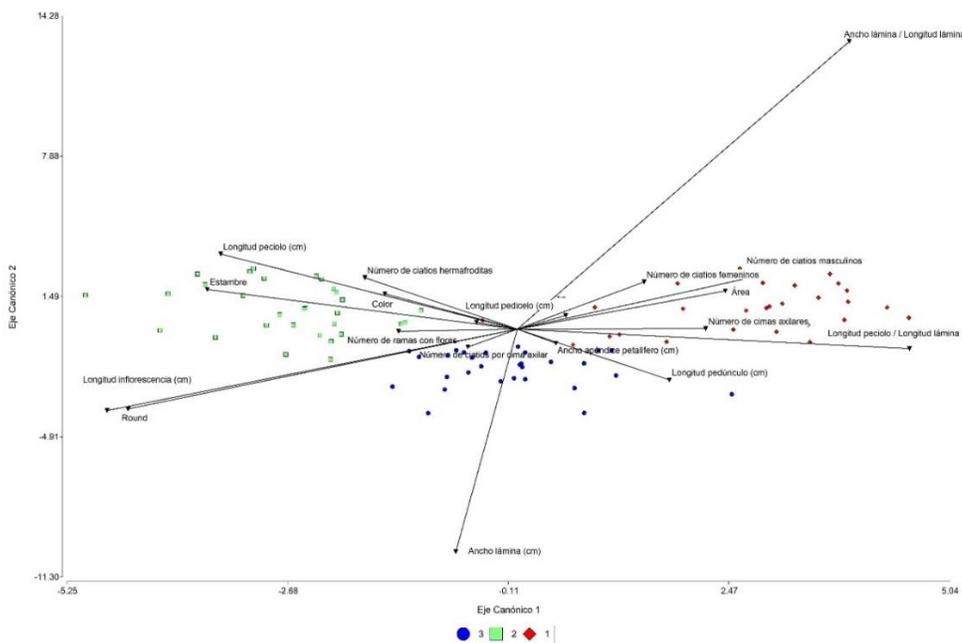


Figura 4. Análisis lineal discriminante entre tres poblaciones silvestres de *E. fulgens* del estado de Oaxaca.

## Variación morfométrica entre poblaciones naturales y bajo condiciones de invernadero de *E. fulgens*

El ADL indicó que el eje canónico 1 explicó el 48.65 % de la variación entre grupos, mientras que el eje 2 explicó el 24.44 %, ambos significativos ( $p < 0.001$ ), mostrando una clara diferenciación entre poblaciones silvestres y cultivadas bajo invernadero. A partir de la primera función discriminante estandarizada por las covarianzas comunes puede verse que el número de cimas (1.48) es la variable más importante para la discriminación sobre este eje, seguida del diámetro Feret (-1.05) y la longitud de la inflorescencia (-1.01). En el eje 2 las variables más importantes para la discriminación fueron el perímetro de hoja (1.31), el ancho del apéndice petalífero (1.25) y la longitud del peciolo (-1.22) (Figura 5).

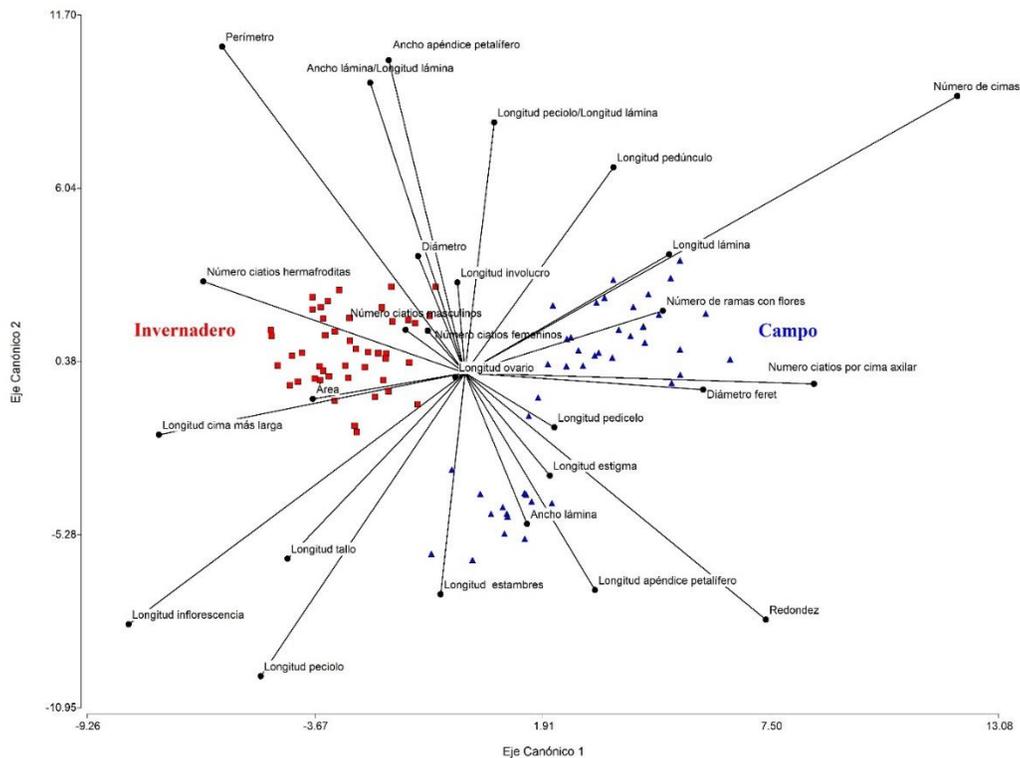


Figura 5. Análisis discriminante lineal entre tres poblaciones silvestres y bajo invernadero de *E. fulgens* del estado de Oaxaca.

Cuadro 3. Variables morfométricas de plantas bajo invernadero de *Euphorbia fulgens* procedentes de tres poblaciones de colecta del estado de Oaxaca, México.

<b>Variable</b>	<b>Valor p</b>	<b>Población 1</b>	<b>Población 2</b>	<b>Población 3</b>
<b>Altura de la planta</b>	0.0007	88.50b	83.69b	110.87a
<b>Diámetro basal</b>	0.0102	0.44b	0.44b	0.49a
<b>Longitud de peciolo</b>	0.0024	3.25a	2.73b	2.60b
<b>Longitud de lámina</b>	0.0032	7.74b	8.51ab	8.88a
<b>Ancho de lámina</b>	<0.0001	2.41a	1.38c	1.92b
<b>Ancho de lámina / Longitud lámina</b>	<0.0001	0.32a	0.15c	0.21b
<b>Long peciolo / Longitud lámina</b>	<0.0001	0.43a	0.33b	0.29b
<b>Longitud de entrenudos</b>	0.0712	1.77a	1.95a	2.08a
<b>Área foliar</b>	0.0002	13.58a	9.38b	12.59a
<b>Perímetro Hoja</b>	0.7648	29.44a	29.50a	30.11a
<b>Diámetro Feret Hoja</b>	0.0422	10.61b	11.20ab	11.55a
<b>Redondez Hoja</b>	<0.0001	0.31a	0.17b	0.21b
<b>Número de hojas antes de las inflorescencias</b>	0.0877	31.13a	25.87a	28.47a
<b>Longitud de la inflorescencia</b>	0.1890	20.13a	16.97a	21.92a
<b>Número de ciatios por cima axilar</b>	0.0180	3.47ab	2.93b	3.93a
<b>Longitud de la cima más larga</b>	0.0471	4.23ab	4.74a	3.77b
<b>Número de cimas axilares</b>	0.1277	14.33a	10.67a	12.40a
<b>Número de ciatios hermafroditas</b>	0.0633	33.87a	20.60a	29.80a

<sup>abc</sup> Poblaciones con letra distinta en el sentido de la fila son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 2. Continuación

<b>Variable</b>	<b>Valor p</b>	<b>Población 1</b>	<b>Población 2</b>	<b>Población 3</b>
<b>Número de ciatios masculinos</b>	0.5016	14.47a	11.13a	10.40a
<b>Número de ciatios femeninos</b>	0.0298	5.87a	2.13b	4.87ab
<b>Longitud de entrenudos en la inflorescencia</b>	0.2370	1.05a	1.12a	1.87a
<b>Longitud del pedúnculo</b>	0.1880	1.13a	1.39a	1.19a
<b>Largo del involucro</b>	0.8454	0.32a	0.32a	0.33a
<b>Diámetro del ciatio</b>	0.2550	1.40a	1.41a	1.27a
<b>Largo del apéndice petalífero</b>	0.0352	0.55a	0.54a	0.45a
<b>Ancho del apéndice petalífero</b>	0.7939	0.49a	0.51a	0.48a
<b>Longitud de pedicelo</b>	0.0636	0.83a	0.89a	0.73a
<b>Largo del ovario</b>	0.2002	0.30a	0.30a	0.27a
<b>Largo del estilo</b>	0.3040	0.10a	0.12a	0.11a
<b>Largo del estambre</b>	0.0156	0.70a	0.68ab	0.59b
<b>Color de los apéndices petalíferos</b>	0.5167	3.40a	3.53a	3.07a
<b>Color de la lámina de la hoja en el tercio superior de la inflorescencia</b>	0.0018	1.60a	1.20b	1.00b
<b>Intensidad de color de la lámina de la hoja en el tercio superior de la inflorescencia</b>	0.0011	2.87a	1.53b	1.07b
<b>Largo del fruto</b>	0.1489	0.69a	0.67a	0.60a
<b>Ancho del fruto</b>	0.5954	0.60a	0.58a	0.56a
<b>Número de frutos</b>	0.6511	5.67a	4.40a	4.93a
<b>Número de semillas</b>	0.9118	11.00a	10.40a	9.80a
<b>Número de brotes vegetativos</b>	0.2209	6.07a	4.47a	4.40a

<sup>abc</sup> Poblaciones con letra distinta en el sentido de la fila son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

## 5.4. Discusión

### Variación fenotípica en poblaciones silvestres

Las diferencias entre poblaciones silvestres se observaron en la mayoría de estructuras vegetativas y reproductivas a pesar de que la especie tiene una distribución restringida, con tan sólo tres poblaciones reportadas hasta el momento. Las poblaciones uno y dos fueron las más contrastantes en forma y tamaño de hojas, así como en tamaño y color de inflorescencias; considerando que son las más alejadas entre sí, a 80 km de distancia en línea recta y presentan iguales tipos de vegetación, aunque altitudes y características físicas y químicas del suelo diferentes (Cuadro 1). Por otro lado, las poblaciones dos y tres se localizan a similar altitud, comparten características edafoclimáticas y su diferenciación es en su mayoría en estructuras reproductivas. Lo anterior sugiere que la variación fenotípica está determinada por factores edafoclimáticos.

Los resultados obtenidos concuerdan con los encontrados por otros autores. Se ha reportado que la altitud influyó en variación morfológica de hojas en *Yucca capensis* una especie endémica de Baja California Sur (Arteaga *et al.*, 2015), así como en la morfología de conos y acículas en pinos (Gutiérrez *et al.*, 2013). Así mismo, la altitud influyó en las diferencias morfológicas en hojas y frutos del árbol de karité (Gwali *et al.*, 2012). En un estudio de las características físicas y químicas del suelo se observaron diferencias en altura y tamaño de hojas en árboles de Iroko (Ouinsavi y Sokpon, 2010).

Otros factores que no fueron analizados en este trabajo pero que se ha visto tienen impacto en la variación morfométrica de estructuras vegetativas y reproductivas fueron la pendiente del terreno, profundidad de suelo, pedregosidad, temperatura, velocidad del viento, precipitación y humedad relativa (Araiza-Lizarde *et al.*, 2016; Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2017), por lo que se sugiere tomarlos en cuenta en estudios posteriores. Por el contrario, en otros estudios realizados en el género *Opuntia* se determinó que las diferencias

fenotípicas en cladodios entre poblaciones estuvieron más relacionadas con la densidad de población que con los factores ambientales (Muñoz-Urías *et al.*, 2008). Por lo que se sugiere en trabajos posteriores aumentar el número de variables bajo estudio para determinar sus efectos y con ello proporcionar la información útil en el diseño de experimentos de propagación o manejo agronómico del suelo.

La información obtenida en este estudio sobre la variación fenotípica presente en poblaciones silvestres de *Euphorbia fulgens* contribuirá para establecer programas de conservación *in situ* de un germoplasma que no se localiza en ninguna otra parte del mundo. Las especies endémicas son susceptibles al cambio climático porque su distribución restringida se debe a que no son capaces de adaptarse a otras condiciones ambientales, por lo que es importante realizar estudios donde se estime el comportamiento de plantas endémicas ante escenarios de cambios ambientales para tratar de predecir su comportamiento bajo condiciones específicas y poder establecer planes de manejo como se ha hecho en especies endémicas en las que se evalúa su respuesta al calentamiento y a la sequía (Matesanz *et al.*, 2017; Winker *et al.*, 2019).

### **Variación fenotípica de *E. fulgens* bajo invernadero**

Las plantas establecidas en el invernadero mostraron una variación morfométrica en estructuras vegetativas similar a la obtenida en campo, por lo que se puede suponer que dichas características son bastante estables en la especie. En la mayoría de los estudios en plantas ornamentales se evalúan las diferencias fenotípicas en estructuras con valor estético o por las cuales se comercializan; por ejemplo, en *Alstroemeria*, la longitud de tallo, firmeza, número de flores, tamaño de flores, color y el olor (Aros *et al.*, 2019), en girasol longitud y número de ramas, duración de la floración, altura, color de flores del disco y liguladas, diámetro de la cabeza central (Mladenović *et al.*, 2017) y en calabacitas ornamentales los caracteres a evaluar son hábito de crecimiento, ramificación,

lámina de las hojas, forma, tamaño y color del fruto con la finalidad de obtener genotipos ideales para flor de corte, ramos, arreglos o para maceta (Dalda-Sekerci *et al.*, 2020).

El establecimiento de *Euphorbia fulgens* bajo invernadero permitió comprobar que ésta se adapta y tiene buen desarrollo en condiciones controladas, por lo que se podría iniciar un programa de mejoramiento genético enfocado a utilizar de una manera sustentable este recurso que ya ha sido aprovechado por otros países. En este primer ciclo de cultivo se identificaron individuos con características deseables, por ejemplo, algunos con panículas más largas, mayores diámetros de ciatios, mayor número de cimas, color y tamaño de apéndices petalíferos atractivos que podrían ser utilizados como progenitores en posibles hibridaciones. Por lo que se sugiere evaluar el efecto de variables edafoclimáticas o de manejo agronómico para su probable cultivo bajo invernadero.

### **Variación morfométrica entre poblaciones naturales y bajo condiciones de invernadero de *E. fulgens***

La separación de los individuos de poblaciones silvestres y cultivadas bajo invernadero fue determinada por las variables: número de cimas, ancho de apéndices petalíferos y longitud de inflorescencias y de hojas fueron, longitud de peciolo, perímetro y diámetro Feret. Las plantas bajo invernadero presentaron inflorescencias de mayor tamaño y mayor número de cimas, lo cual puede ser consecuencia de la aplicación de fertilizante. En contraste con los resultados, en un estudio desarrollado en *Alstroemeria* las variables que determinaron la separación de individuos cultivados y silvestre fueron el color de las flores y la longitud de tallo (Aros *et al.*, 2006). Diversos autores consideran que las diferencias morfométricas y la separación de grupos de individuos silvestres y cultivados se debe al proceso de domesticación, como fue el caso en *Chrysophyllum cainito* L. (caimito), donde las diferencias en características de

frutos y semillas se debieron fundamentalmente al proceso de selección artificial de frutos (Parker *et al.*, 2010), esto fue observado también en *Crescentia cujete* L., donde debido a su uso como bandeja se ha realizado una fuerte selección de frutos más grandes, formas más redondas y pedúnculos más cortos y anchos (Aguirre-Dugua *et al.*, 2012; Aguirre-Dugua *et al.*, 2013).

En la nochebuena también se han encontrado diferencias entre cultivares y plantas silvestres en tamaño de hojas, distancia de entrenudos, longitud y diámetro del tallo. Sin embargo, a pesar del proceso de domesticación la relación entre el área de la hoja y el volumen del tallo ha permanecido constante, por lo que se ha sugerido que no se puede modificar bajo un proceso de selección artificial (Trejo *et al.*, 2018). El presente trabajo sobre la variación en poblaciones silvestres de una especie que se comenzará a cultivar, permitirá hacer un seguimiento de cómo se modifica la morfología con el manejo y selección de caracteres deseables; los resultados obtenidos serán de utilidad en programas de mejoramiento genético enfocados al uso de la especie como ornamental en nuestro país.

## **5.5. Conclusiones**

*Euphorbia fulgens* es una especie microendémica de distribución restringida que presenta variabilidad fenotípica en estructuras vegetativas (hojas) y en estructuras reproductivas (inflorescencias) a pesar de localizarse en poblaciones con características edafoclimáticas similares. La variación morfológica disminuye en cultivo, a pesar de no llevarse a cabo un proceso de selección de caracteres deseables. La información generada en este trabajo podría ser de utilidad para establecer programas de conservación *in situ* de un germoplasma que no se localiza en ninguna otra parte del mundo, así como para iniciar con el mejoramiento genético enfocado a la utilización de esta especie como planta ornamental en México, ya que presenta valores estéticos y además es apta para cultivo.

## 5.6. Literatura citada

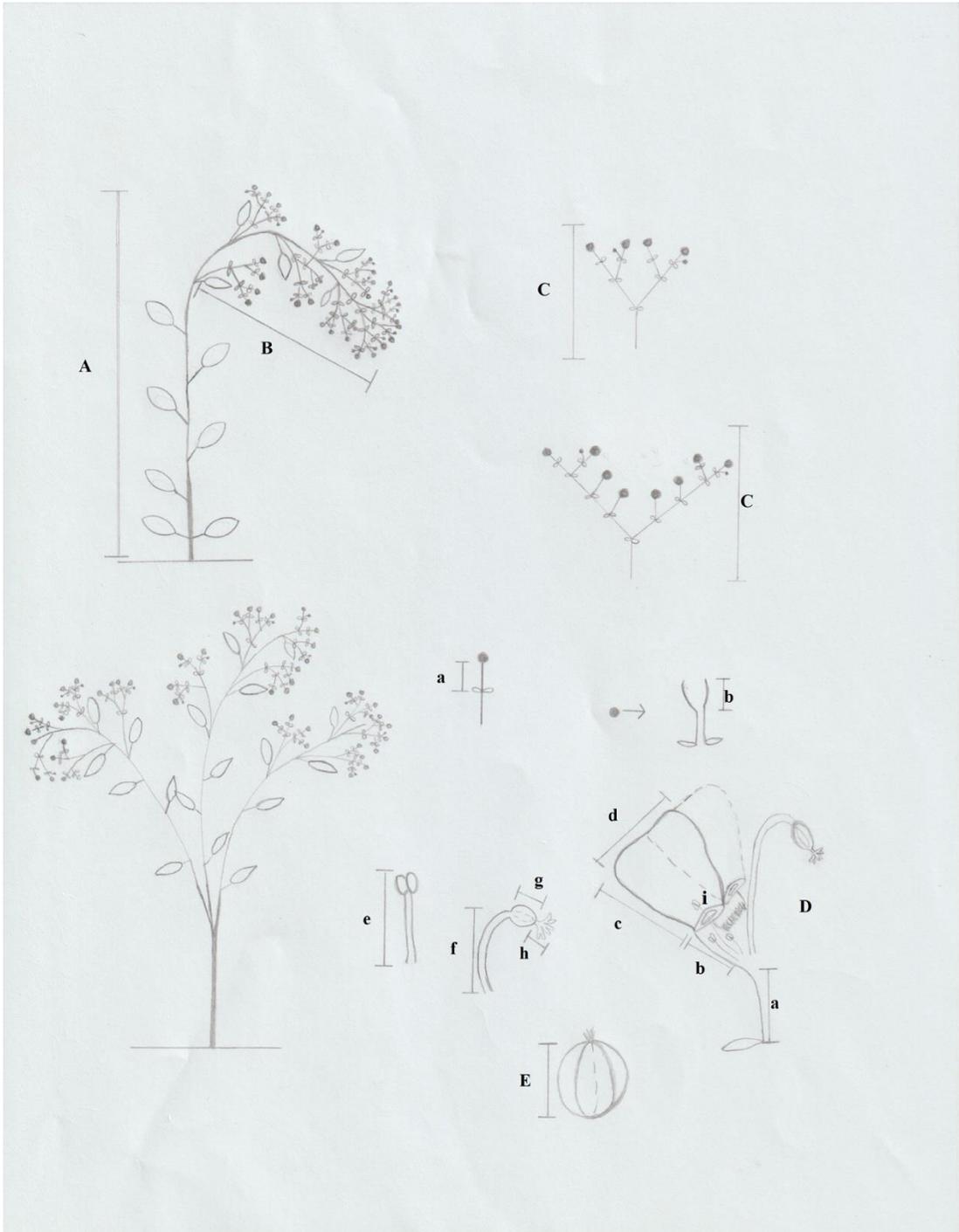
- Aguirre-Dugua, X., Eguiarte, L. E., González-Rodríguez, A. y Casas, A. (2012). Round and large: morphological and genetic consequences of artificial selection on the gour tree *Crescentia cujete* by the Maya of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Annals of Botany*, 109, 1297-1306. doi:10.1093/aob/mcs068.
- Aguirre-Dugua, X., Pérez-Negrón, E. y Casas, A. (2013). Phenotypic differentiation between wild and domesticated varieties of *Crescentia cujete* L. and culturally relevant uses of their fruits as bowls in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9, 76. doi:10.1186/1746-4269-9-76.
- Araiza-Lizarde, N., Alcaraz-Meléndez, L., Angulo-Escalante, M. A., Reynoso-Granados, T., Cruz-Hernández, P., Ortega-Nieblas, M. y Valdez-Zamudio, D. (2016). Caracterización y distribución de germoplasma silvestre de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) en el Noroeste de México. *Polibotánica*, 42, 137-152. doi:10.18387/polibotanica.42.7.
- Aros, D., Meneses, C. e Infante, R. (2006). Genetic diversity of wild species and cultivated varieties of alstroemeria estimated through morphological descriptors and RAPD marker. *Scientia Horticulturae*, 108, 86-90. doi: 10.1016/j.scienta.2006.01.009.
- Aros, D., Suazo, M., Rivas, C., Zapata, P., Úbeda, C. y Bridgen, M. (2019). Molecular and mophological characterization of new interspecific hybrids of alstroemeria originated from *A. caryophylleae* scented lines. *Euphytica*, 215, 93. doi: 10.1007/s10681-019-2415-4.
- Arteaga, M. C., Bello-Bedoy, R., León de la Luz, J. L., Delgadillo, J. y Domínguez, R. (2015). Phenotypic variation of flowering and vegetative morphological traits along the distribution for the endemic species *Yucca capensis* (Agavaceae). *Botanical Sciences*, 93(4), 765-770. doi: 10.17129/botsoci.214.
- Beltran-Rodríguez, L., Romero-Manzanares, Luna-Cavazos, M. y García-Moya, E. (2017). Variación arquitectónica y morfológica de *Hintonia latiflora* (Rubiaceae) en relación a la cosecha de corteza y factores ambientales. *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 900-916.
- Betancourt-Olvera, M., Nieto-Ángel, R., Urbano, B. y González-Andrés, F. (2018). Analysis of the biodiversity of hawthorn (*Crataegus spp.*) from the morphological, molecular, and ethnobotanical approaches, and implications for genetic resource conservation in scenery of increasing cultivation: the case of Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65, 897-916. doi: 10.1007/s10722-017-0583-4.

- Blancas-Vásquez, J., Casas, A., Pérez-Salicrup, D. y Caballero, J. (2013). Ecological and socio-cultural factors influencing plant management in náhuatl communities of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9,39. doi: 10.1186/1746-4269-9-39.
- Bruschi, P., Vendramin, G. G., Bussotti, F. y Grossoni, P. (2003). Morphological and Molecular Diversity Among Italian Populations of *Quercus petraea* (Fagaceae). *Annals of Botany*, 91, 707-716. doi: 10.1093/aob/mcg075.
- Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Ramírez-Rojas, S.G. y Osuna-Canizalez, F. de J. (2010). Estrategias para el mejoramiento genético de Nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch). *Investigación Agropecuaria*, 7(1), 44-54.
- Casas, A. (2017). *La perspectiva sustentable del manejo de recursos genéticos y los desafíos de la investigación científica*. En: Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Eds.). *Domesticación en el continente americano. Volumen 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo*. Universidad Autónoma de México, Universidad Nacional Agraria La Molina, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México. Ediagraria, Lima, Perú.
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C. y Zárate, S. (1997a). 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., Pickersgill, Caballero, J., Valiente-Banuet, A. (1997b). Ethnobotany and domestication in xoconochtlí, *Stenocereus stellatus* (Cactaceae), in the Tehuacán Valley and La Mixteca Baja, Mexico. *Economic Botany* 51, 279-292.
- Casas, A., Otero-Arnaiz, A., Pérez-Negrón, E. y Valiente-Banuet, A. (2007). In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*, 100, 1101-1115.
- Cruise-Sanders, J. M. y Casas, A. (2017). Impactos evolutivos de las actividades humanas sobre las plantas: manejo, domesticación y conservación *in situ* y *ex situ*. En: Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Eds.) *Domesticación en el continente americano. Vol. 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo*. 452-473.
- Dalda-Şekerci, A., Karaman, K. y Yetişir, H. (2020). Characterization of ornamental pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. *ovifera* (L.) Alef.) genotypes: molecular, morphological and nutritional properties. *Genetic Resources Crop Evolution*, 67, 533-547. doi: 10.1007/s10722-020-00883-x.
- De Freitas Lins Neto, E. M., de Oliveira, I. f., Britto, F. B. et al. Traditional knowledge, genetic and morphological diversity in populations of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae). *Genetic Resources Crop Evolution*, 60, 1389-1406. doi: 10.1007/s10722-012-9928-1.

- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado en <http://www.infostat.com.ar>.
- Ferreira de Melo, C. A., Magalhães-Souza, M., Viana, A. P., Azevedo-Santos, E., de Oliveira-Souza, V. y Corrêa, R. X. (2016). Morphological characterization and genetic parameter estimation in backcrossed progenies of *Passiflora* L. for ornamental use. *Scientia Horticulturae*, 212, 91-103. doi: 10.1016/j.scienta.2016.08.013.
- Gutiérrez-Vázquez, B. N., Gómez-Cárdenas, M., Gutiérrez Vázquez, M. H. y Mallén-Rivera, C. (2013). Variación fenotípica de poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 46-60.
- Gwali, S., Nakabonge, G., Lamoris-Okullo, J. G., Eilu, G., Nyeko, P. y Vuzi, P. (2012). Morphological variation among sea tree (*Vitellaria paradoxa* subsp. *nilotica*) 'ethnovarieties' in Uganda. *Genetic Resources Crop Evolution*, 59, 1883-1898. doi: 10.1007/s10722-012-9905-8.
- López-Gómez, V., Zedillo-Avelleyra, P., Anaya-Hong, S., González-Lozada, E. y Cano-Santana, Z. (2012). Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Botanical Sciences*, 90(4), 453-457.
- Matesanz, s., Rubio-Teso, M. L., García-Fernández, A. y Escudero, A. (2017). Habitat fragmentation differentially affects genetic variation, phenotypic plasticity and survival in populations of a Gypsum endemic. *Frontiers in Plant Science*, 8, 843. doi: 10.3389/fpls.2017.00843.
- Muñoz-Arias, A., Palomino-Hasbach, G., Terrazas, T., García-Velasquez, A. y Pimienta-Barrios, E. (2008). Variación anatómica y morfológica en especies y entre poblaciones de *Opuntia* en la porción sur del desierto Chihuahuense. *Boletín de la Sociedad Mexicana*, 83, 1-11.
- Mladenović, E., Cvejić, Jocić, S., Ćukanović, J., Jocković, M. y Malizdža, G. (2017). Variability of morphological characters among ornamental sunflower collection. *Genetika*, 49(2), 573-582. doi: 10.2298/GENSR1702573M.
- Ouinsavi, C. y Sokpon, N. (2010). Morphological variation and ecological structure of Iroko (*Milicia excelsa* Welw. C. C. Berg) Populations across different biogeographical Zonas in Benin. *International Journal of Forestry Research*, 658396. doi: 10.1155/2010/658396.
- Ouédrago, L., Fuchs, D., Schaefer, H. y Kiendrebeogo, M. (2019). Morphological and Molecular characterization of *Zanthoxylum zanthoxyloides* (Rutaceae) from Burkina Faso. *Plants*, 8, 353. doi: 10.3390/plants8090353.
- Parker, I. M., López, I., Petersen, J. J., Anaya, N., Cubilla-Rios, L. y Potter, D. (2010). Domestication Syndrome in Caimito (*Chrysophyllum cainito* L.): fruit

- and seed characteristics. *Economic Botany*, 64, 161-175. doi: 10.1007/s12231-010-9121-4.
- Rünger, W. y Albert G. (1975). Influence of temperature, soil moisture and CCC on the flowering of *Euphorbia fulgens*. *Scientia Horticulturae*, 3, 393-403.
- Schmid, B. (1992). Phenotypic variation in plants. *Evolutionary Trends in Plants*, 6(1), 45-60.
- Schneider, C., Rasband, W. y Eliceiri, K. (2012). NIH image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9, 671-675. doi: 10.1038/nmeth.2089.
- Trejo, L., Rosell, J. A. y Olson, M. E. (2018). Nearly 200 years of sustained selection have not overcome the leaf area-stem size relationship in the poinsettia. *Evolutionary Applications*, 11, 1401-1411. doi: 10.1111/eva.12634.
- Van Leeuwen, P. J. (1986). Post-harvest treatment of *Euphorbia fulgens*. *Acta Horticulturae*, 181, 467-471. doi: 10.1111/eva.12634.
- Willmore, K. E., Young, N. M. y Richtsmeier, J. T. (2007). Phenotypic variability: its components, measurement and underlying developmental processes. *Evolutionary Biology*, 34, 99-120. doi: 10.1007/s11692-007-9008-1.
- Winkler, D. E., Yu-Chan Lin, M., Delgadillo, J., Chapin, K. J. y Huxman, T. E. (2019). Early life history responses and phenotypic shifts in a rare endemic plant responding to climate change. *Conservation Physiology*, 7, coz076. doi: 10.1093/conphys/coz076.

**Apéndice 1.** Variables morfométricas evaluadas en *Euphorbia fulgens*. A. altura de la planta. B. Longitud de la inflorescencia o sinflorescencia (nivel 3). C. Longitud de la cima (nivel 2). D. Ciatio (nivel 1). a. longitud de pedúnculo, b. largo del involucre, c. largo del apéndice petalífero, d. ancho del apéndice petalífero, e. largo del estambre, f. largo del pedicelo, g. largo del ovario, h. largo del estilo, i. glándula. E. Largo del fruto.



## 6. DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA DE *Euphorbia fulgens* Karw. ex Klotzsch, ESPECIE MICROENDÉMICA DE LA SIERRA SUR DE OAXACA, MÉXICO

### Resumen

*Euphorbia fulgens* es una especie que habita en los bosques de pino encino y bosques mesófilos de montaña en la Sierra Sur de Oaxaca. Hasta ahora se han documentado tres poblaciones, por lo que se le considera rara y sus hábitats se encuentran amenazados por actividades humanas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la diversidad y estructura de las poblaciones. Se analizaron 45 individuos procedentes de tres poblaciones usando inicialmente diez *loci* microsatélites, de los cuales 8 amplificaron y fueron polimórficos. Se obtuvieron en total 38 alelos, el número promedio de alelos por locus polimórfico fue de 4.6. En la población uno la heterocigosidad observada fue mayor que la esperada ( $H_o = 0.64$ ;  $H_e = 0.57$ ), en la población dos ambas fueron iguales ( $H_o = 0.51$ ;  $H_e = 0.50$ ), mientras que en la población tres la heterocigosidad observada fue menor que la esperada ( $H_o = 0.41$ ;  $H_e = 0.53$ ). La diferenciación genética entre poblaciones fue baja, lo que sugiere que podría tratarse de una población ancestral que se haya fragmentado y apenas comienza a diferenciarse genéticamente. La información generada puede ser utilizada en programas de conservación de la especie.

**Palabras clave:** conservación, *Euphorbia*, microsatélites, ornamental.

## 6.1. Introducción

La familia Euphorbiaceae *sensu lato* está representada por 8,700 especies (Webster, 1994), por lo que se considera una de las más importantes dentro de las angiospermas (Secco *et al.*, 2012). Estudios filogenéticos y moleculares actuales han cambiado la taxonomía de esta familia ancestral dividiéndola en cinco familias: Phyllanthaceae, Picrodendraceae, Peraceae, Putranjivaceae y Euphorbiaceae *sensu stricto* (APG IV, 2016).

En México es una de las familias más diversas y se compone de 714 especies. El género *Euphorbia* es un género diverso con 245 especies (Villaseñor, 2016), de las cuales 132 son endémicas. Por otra parte, Steinmann (2002) reporta 114 especies endémicas de un total de 241 especies, mientras que Martínez (2002) señala 78 especies endémicas de un total de 138 especies. De estas especies, 38 se distribuyen en un sólo estado del país (Villaseñor, 2016) mientras que Martínez *et al.*, (2002) reportó 34 especies y en este trabajo se consideran 30 especies de distribución restringida, microendémicas de México (Cuadro 1) que han sido poco estudiadas.

*Euphorbia fulgens* Karw. ex Klotzsch es una especie microendémica de la Sierra Sur de Oaxaca, se conocen hasta ahora únicamente tres poblaciones y con base en su área de distribución se puede considerar microendémica. Es una especie que habita bosques de pino encino y en bosques mesófilos de montaña, así como en vegetación secundaria derivada de este tipo de vegetación, en altitudes que van de los 1 000 a 1 400 m (ver Capítulo 2). La mayor parte de la población uno presenta poco disturbio debido a que se localiza en lugares de difícil acceso, con pendientes pronunciadas y lejos de poblaciones humanas; sin embargo, debido a la actividad de extracción de madera de pino se abren caminos para extraer madera lo cual provoca perturbación del ambiente. La población dos se localiza también en pendientes pronunciadas, pero se observa un mayor grado de disturbio y en el caso de la población tres existen zonas muy conservadas,

mientras que las que se encuentran en vegetación secundaria derivada de bosque de mesófilo de montaña, presentan disturbio debido a la cercanía de asentamientos humanos de venta de comida, por lo que se considera que la actividad humana está poniendo en riesgo la supervivencia de esta especie al provocar la fragmentación de sus hábitats.

Esta especie se describe como un sufrútice de hasta 4 m de alto, con hojas alternas, inflorescencias arregladas en monocasios, ciatios con apéndices petalíferos de color naranja a rojo, con glándulas amarillas y que florece en invierno (ver Capítulo 2). En la clasificación taxonómica más reciente se le ubica dentro del subgénero *Chamaesyce* sect. *Alectoroctonum* (Yang *et al.*, 2012). Es una especie que ha sido poco estudiada, se desconocen aspectos ecológicos y evolutivos, tampoco se conoce su diversidad y estructura genética que proporcione información sobre su endemismo, por lo que se ignora si éste se debe a factores genéticos o a factores ambientales.

Los estudios de diversidad y estructura genética son útiles para estimar el nivel de variación genética que tienen las poblaciones silvestres de distintas especies de organismos, sobre todo en sistemas de especies de distribución restringida, endémicas y de aprovechamiento como recurso para el ser humano. El conocer si existe diferenciación genética de las poblaciones a diferentes niveles permite identificar los factores ambientales que están afectándolas. El estimar el flujo genético entre poblaciones permite a su vez determinar los niveles de endogamia o exogamia que existen, lo cual resulta de utilidad para la conservación y/o preservación de los recursos fitogenéticos.

Existen escasos estudios sobre diversidad genética de especies del género *Euphorbia*, entre los cuales se encuentra un trabajo en *Euphorbia pulcherrima* donde se detectó abundante variación genética en poblaciones silvestres ubicadas en diferentes estados de nuestro país, mediante el uso de regiones de plastidios (trnG-trnS, psbA-trnH) y nucleares (G3pdh) (Trejo *et al.*, 2012). No se

encontraron estudios genéticos en euforbias endémicas de México. En China se caracterizó molecularmente la especie *Euphorbia kansui*, endémica de este país, mediante el uso de 12 microsatélites y la técnica de secuenciación Illumina. El número de alelos fluctuó entre 2 y 11 con un promedio de 4.1 de alelos por locus (Yan *et al.*, 2014). Un estudio realizado en *Euphorbia palustris*, especie endémica de Europa en el que se usaron 7 microsatélites para estudiar la estructura genética de sus poblaciones y el flujo genético entre poblaciones permitió encontrar 3 y 13 alelos por locus, así como altos niveles de heterocigosidad (Durka, 2009). Por su parte Li *et al.*, (2013) caracterizaron molecularmente poblaciones de *Euphorbia lamarckii*, especie endémica de las Islas Canarias mediante 10 loci microsatélites, encontrando entre 2 a 13 alelos.

Estudios moleculares usando microsatélites realizados en especies vegetales pertenecientes a otras familias han permitido evaluar la diferenciación genética entre poblaciones. Así, McCauley *et al.* (2010) usaron 10 loci microsatélite en poblaciones de *Guaiacum unijugum* encontrando que la diferenciación genética entre ellas era reducida y se atribuyó a la presencia de alelos raros y únicos en algunas de ellas. En *Paeonia jishanensis*, endémica de China, se evaluó la diversidad genética y estructura poblacional mediante 21 loci microsatélites y se detectaron niveles moderados de diversidad genética (Xu, 2016).

Por su parte Turchetto *et al.* (2016) usaron 15 loci microsatélite para estudiar poblaciones de *Petunia secreta*, especie rara y endémica de Brasil, encontrando una alta diversidad genética entre poblaciones. El estudio de poblaciones de *Sophora alopecuroides*, especie endémica de China mediante 18 loci microsatélites permitió estimar una baja diversidad genética con base en el número de alelos efectivos, así como que dicha variabilidad genética fue mayor dentro de las poblaciones que entre ellas (Wang *et al.*, 2019).

Los marcadores moleculares tipo microsatélites (Secuencia Simple Repetida o SSR) suelen presentar una tasa elevada de polimorfismo, aportan información

útil que se puede aplicar para resolver problemas tanto específicos como individuales y sirven para determinar la variabilidad genética dentro y entre poblaciones. Permiten identificar poblaciones con una diversidad genética reducida que generalmente serían más vulnerables a un posible cambio ambiental, especies en peligro de extinción, así como distinguir subpoblaciones genéticamente diferenciadas del resto para dirigir los esfuerzos de conservación hacia ellas (González, 2003; Bajay *et al.*, 2011; Carneiro *et al.*, 2016). Por lo que el presente estudio tuvo como objetivo determinar la diversidad y estructura genética poblacional en tres poblaciones silvestres de *Euphorbia fulgens* de la Sierra Sur de Oaxaca. Debido a que esta especie presenta una distribución geográfica reducida se espera que presenta distribución geográfica restringida sus niveles de diversidad genética sean bajos y que las poblaciones analizadas estén genéticamente diferenciadas. La información generada en este trabajo podría ser utilizada en proyectos de conservación de esta especie, ya que su escasa prevalencia la pone en riesgo de extinción debido a la fragmentación de sus hábitats.

Cuadro 1. Especies del género *Euphorbia* que se distribuyen en un sólo estado de México.

Estado	Especies
BC	<i>E. pondii</i>
BCS	<i>E. apicata</i> , <i>E. brandegeei</i> , <i>E. cerralvensis</i> , <i>E. chersonesa</i> , <i>E. lagunensis</i> , <i>E. peninsularis</i> , <i>E. taluticola</i> , <i>E. vizcainensis</i>
CHIH	<i>E. henricksonii</i>
CHIS	<i>E. lundelliana</i>
COAH	<i>E. ivanjohnstonii</i>
GRO	<i>E. cornastra</i> , <i>E. dressleri</i> , <i>E. sloanei</i>
JAL	<i>E. barnesii</i> , <i>E. colligata</i> , <i>E. floribunda</i> , <i>E. soobyi</i>
MICH	<i>E. grammata</i> , <i>E. rzedowskii</i>
MOR	<i>E. muscicola</i>
NL	<i>E. nesomii</i>
OAX	<i>E. konzattii</i> , <i>E. cyri</i> , <i>E. fulgens</i> , <i>E. picachensis</i>
PUE	<i>E. violacea</i>
SLP	<i>E. tomentella</i>
SON	<i>E. alatocaulis</i>

## 6.2. Materiales y Métodos

### Material vegetal

En este estudio se evaluaron tres poblaciones de *Euphorbia fulgens* originarias y endémicas de Oaxaca. La población uno se localiza a 40 km de la población tres y a 50 km de la población dos, mientras que las poblaciones uno y dos son las más alejadas geográficamente, ya que se encuentran a 80 km entre sí en línea recta (Figura 1, ver Capítulo 2). Se seleccionaron 15 individuos por población y de cada individuo se colectaron hojas jóvenes y sanas que se colocaron en bolsas Ziploc® y se trasladaron bajo condiciones de refrigeración al Laboratorio de Mejoramiento Genético Asistido del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, con sede en Chapingo, Estado de México.

### **Extracción de ADN**

El ADN se extrajo usando la metodología CTAB (Doyle y Doyle, 1987) con algunas modificaciones. Al amortiguador de extracción se le agregó el antioxidante 2-mercaptoetanol de tal manera que se obtuviera una concentración final de 0.2 %. Para determinar la calidad en pureza y cantidad de ADN ( $\text{ng } \mu\text{l}^{-1}$ ) de cada una de las muestras procesadas se utilizó un Nanodrop Lite marca Thermo Scientific®. Una vez determinadas las cantidades se procedió a realizar los cálculos necesarios para hacer diluciones y obtener una concentración final homogénea en todas las muestras de  $10 \text{ ng } \mu\text{l}^{-1}$  de ADN. La calidad de ADN fue evaluada mediante electroforesis en gel de agarosa al 2 % a 120 voltios por una hora y media. Luego el gel fue teñido con bromuro de etidio y documentado en un fotodocumentador Digidoc-It® Imaging System.

### **Caracterización molecular con microsatélites (SSR)**

Debido a que no existen estudios previos de caracterización molecular de *Euphorbia fulgens* en el presente estudio se usaron 10 marcadores moleculares microsatélites que han sido usados con éxito en otras especies del género: *Euphorbia kansui*, endémica de China (Yan et al., 2014), *E. lamarckii*, endémica de las Islas Canarias (Li et al., 2013) y *E. palustris*, nativa de Europa (Durka, 2009). La reacción en cadena de la polimerasa (PCR) se realizó para los 10 pares microsatélites sin marcaje fluorescente (Cuadro 2). La mezcla de reacción de PCR tuvo un volumen final de  $13.6 \mu\text{L}$ , conformado con los siguientes reactivos:  $9.45 \mu\text{L}$  de agua grado biología molecular,  $3.00 \mu\text{L}$  de amortiguador de reacción 5x (Bioline®),  $0.5 \mu\text{L}$  del iniciador forward (T4Oligo®),  $0.5 \mu\text{L}$  del iniciador reverse (T4Oligo®) y  $0.15 \mu\text{L}$  de Taq polimerasa (Bioline® 500 U). A cada muestra de ADN ( $2.00 \mu\text{L}$ ) se agregaron  $13.6 \mu\text{L}$  de la mezcla maestra. La amplificación se realizó con termocicladores Techne Flexigene® y se usó el siguiente programa de PCR: un ciclo de predesnaturalización a  $94 \text{ }^\circ\text{C}$  por 5 minutos, 35 ciclos de desnaturalización a  $94 \text{ }^\circ\text{C}$  por 30 segundos, 1 ciclo de alineamiento de 30 segundos a la temperatura óptima recomendada para cada par de iniciadores, 35

ciclos de extensión a 72 °C por 30 segundos y un ciclo de extensión final a 72 °C por 5 minutos. Los fragmentos amplificados fueron separados por electroforesis a 110 volts durante 40 minutos en geles de agarosa MetaPhor®-Nusieve® al 3.5 %, los cuales fueron cubiertos con solución amortiguadora 1x TBE. El revelado de geles se hizo usando la solución de tinción Red Safe™ y los geles se documentaron con una transiluminador de luz ultravioleta Labnet®. Estos análisis se realizaron en el Taller de Sistemática y Biogeografía del Departamento de Biología Evolutiva de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

### **Análisis estadístico**

A partir de los patrones de bandeo obtenidos se realizaron las siguientes pruebas estadísticas: desequilibrio de ligamiento, prueba de Hardy-Weinberg, análisis de varianza molecular AMOVA, estadísticos F de Wright promedio y para pares de poblaciones se hizo una prueba exacta de diferenciación poblacional. A partir de estas pruebas se obtuvieron estadísticos de Heterocigosidad esperada y observada, diversidad genética dentro y entre poblaciones y nivel de flujo genético mediante el uso del programa Arlequín versión 3.5 (Excoffier *et al.*, 2010).

Por otro lado, se realizaron estimaciones del número más probable de poblaciones (K) mediante el programa STRUCTURE versión 2.3 (Pritchard *et al.*, 2000). El programa corrió con seis réplicas independientes para K (i.e. poblaciones distintas o grupos de genes con K de uno a 10). El periodo de descarte fue de 10,000 réplicas seguidas de 50,000 simulaciones de Monte Carlo en un modelo que supone que no hay mezclas y frecuencias de alelos independientes. El número más probable de grupos se determinó mediante el método propuesto por Evanno *et al.* (2005).

Cuadro2. Descripción de los loci microsatélites utilizados en *Euphorbia fulgens*.

LOCUS	SECUENCIAS → (5' 3')	FUENTE	TA (°C)
1 Ek3216	F: AAACCACAACCTCAATTCA R: AAGCAAAAGGACACAAAA	Yan <i>et al.</i> , 2014	48
2 Ek8578	F: CAAAACCACAACCTTAAACCATCTA R: TTCTTCCATTTCTGAAAATTGAGAG	Yan <i>et al.</i> , 2014	42
3 E78	F: AGTGAGAAAGTGTGTGGATA R: AGCCACAGAAAGCATAGCTC	Li <i>et al.</i> , 2014	42
4 E86	F: CTCTGGGGCTTCTCCTGATA R: ACACACCTGGACACACGGTA	Li <i>et al.</i> , 2014	42
5 E90	F: CCATTCAAGCAGACTCAAC R: AAGAGTTCAAGTGAGGGAAAG	Li <i>et al.</i> , 2014	59
6 E92	F: AACACATGGCACCAGTGAAC R: TTCCTTCTCTCTCTTCCATTCC	Li <i>et al.</i> , 2014	--
7 E97	F: GAGAGATACAAGGAGCAAGCAA R: TGACCCAATCTGCATACCAA	Li <i>et al.</i> , 2014	48
8 Ep75	F: TGTACGCCTCTCTCTCACTCC R: TGACGTGCAATTTGTAGTTGC	Durka, 2009	--
9 Ep05	F: AAAGCCCACTACGCAACAAG R: AAAACACTCCGACGGTCAAG	Durka, 2009	59
10 Ep61	F: CAGATTCCAGAAAATCAACAGC R: CGTCGTCTTCATTTCTGTCC	Durka, 2009	42

### 6.3. Resultados

De los 10 pares de marcadores moleculares utilizados inicialmente sólo 8 de ellos amplificaron, todos fueron polimórficos y generaron 38 alelos. Los marcadores con mayor número de alelos fueron Ep90, con 12 alelos, seguidos por los marcadores Ep05 con 6 alelos, E97 y Ep61 con 4 alelos y el resto con 3 alelos. El número promedio de alelos por locus polimórfico fue de 4.6, por lo que la

diversidad alélica fue relativamente baja a moderada. Respecto al análisis a nivel intrapoblacional, la prueba de Hardy-Weinberg indicó que en los 8 loci, la heterocigosidad observada en la población uno varió de 0.28 a 0.73, con un promedio de 0.64, mientras que la heterocigosidad esperada osciló entre 0.42 a 0.75 con un promedio de 0.57. En la población dos la heterocigosidad observada fue de 0.40 a 1.00, con un promedio de 0.51 mientras que la heterocigosidad esperada varió de 0.23 a 0.71, con un promedio de 0.50. En la población tres la heterocigosidad observada osciló entre 0.15 a 0.92, con un promedio de 0.41, mientras que la heterocigosidad esperada fue de 0.14 a 0.69, con un promedio de 0.53 (Cuadro 3). En la población uno la heterocigosidad observada fue mayor que la esperada, en la población dos y la población tres ambas fueron iguales, mientras que en la población tres la heterocigosidad observada fue menor que la esperada. La prueba de desequilibrio de ligamiento indicó que en la población 1 se encontraron 5 loci en desequilibrio, en la población dos fueron 3 loci, mientras que para la población tres se presentaron 4 loci ( $p=0.05$ ) (Apéndice 1).

La estructura genética analizada mediante el análisis molecular de varianza (AMOVA) utilizando los 8 loci amplificados mostró que la mayor proporción de variabilidad molecular se localizó dentro de las poblaciones (93.84 %) en lugar de entre poblaciones (Apéndice 2). Los estadísticos F de Wright para medir la estructura genética muestran bajos valores de diferenciación genética entre poblaciones ( $F_{ST}=0.05587$ ) y bajos niveles de endogamia total en las tres poblaciones ( $F_{IS}=0.00602$  y  $F_{IT}=0.06156$ ). Debido a que hubo datos perdidos cuando utilizamos los ocho loci, se realizó un AMOVA con tres loci que fueron los más informativos (1,2 y 7). El análisis indicó que el 5.57 % de la variación genética está entre las poblaciones, el 6.55 % está en los individuos dentro de las poblaciones mientras que el 87.88 % se encuentra dentro de los individuos de las tres poblaciones (Apéndice 3). Los estadísticos F de Wright fueron similares a los obtenidos para los ocho loci microsatélites, la diferenciación genética es baja, con muy poca o nula subdivisión intrapoblacional ( $F_{ST}=0.05597$ ) y bajos niveles de endogamia total ( $F_{IS}=0.06936$  y  $F_{IT}=0.12117$ ).

Cuadro 3. Medidas de diversidad genética de tres poblaciones de *Euphorbia fulgens*.

Locus	Población 1				Población 2				Población 3			
	Go	Ho	He	p-valor	Go	Ho	He	p-valor	Go	Ho	He	p-valor
<b>Ek3216</b>	14	0.28571	0.75132	0.00010	15	0.40000	0.61609	0.01014	13	0.15385	0.60000	0.00036
<b>Ek8578</b>	15	0.93333	0.63678	0.07935	15	0.73333	0.71954	0.09874	13	0.92308	0.68615	0.01717
<b>E78</b>	13	0.84615	0.50769	0.02360	11	0.81818	0.50649	0.06619	7	0.42857	0.53846	1.00000
<b>E86</b>	14	0.50000	0.42593	1.00000	--	--	--	--	13	0.15385	0.14769	1.00000
<b>E90</b>	14	0.35714	0.50529	0.00739	8	0.00000	0.23333	0.06690	13	0.00000	0.36923	0.00127
<b>E97</b>	14	0.78571	0.56878	0.17616	13	1.00000	0.63077	0.00484	11	0.45455	0.55844	0.04943
<b>Ep05</b>	15	0.73333	0.57011	0.41937	15	0.73333	0.66897	0.03284	13	0.53846	0.68615	0.09562
<b>Ep61</b>	15	0.73333	0.65287	0.09693	10	0.40000	0.67368	0.01272	9	0.66667	0.69935	0.00641

Go-genotipos observados, Ho-heterocigosidad observada, He-Heterocigosidad esperada.

Los índices FIS específicos por población (FIS1= -0.04103, FIS2=0.07109 Y FIS3=0.18710) comprueban que prácticamente no hay endogamia, por lo tanto, no hay subdivisión intrapoblacional (Apéndice 4). La comparación por pares de poblaciones utilizando pruebas pareadas (Apéndice 5) indicó que la población 1 es diferente a las poblaciones 2 y 3 pero éstas últimas no difieren entre sí. El nivel de flujo génico que existe entre las tres poblaciones fue alto sobre todo entre las poblaciones 2 y 3 (Apéndice 5).

El análisis bayesiano de estructuración muestra que las poblaciones analizadas se dividieron en dos grandes grupos genéticos o clusters (K=2) (Cuadro 4). La heterocigosidad esperada entre individuos en el mismo cluster fue de 0.6115 para el cluster 1 y 0.5316 para el cluster 2, lo cual indica alta variación genética en ambos cluster. Las tres poblaciones tienen una distribución mixta (Figura 1). Sin embargo, se observa que la mayoría de los individuos de la población uno se agrupa preferentemente en el grupo 1 mientras que los individuos de las poblaciones 2 y 3 se distribuyen de manera muy similar. El índice de fijación obtenido para el grupo 1 (FST=0.0262) fue menor al encontrado para el grupo 2 (FST=0.1739, lo cual sugiere un mayor grado de diferenciación genética entre los individuos de este segundo grupo, sin embargo, no es significativa. El valor del flujo génico estimado en el grupo 1 (Nm = 9.29) fue mucho mayor al calculado para el grupo 2 (Nm = 1.1876), lo cual sugiere una mayor diferenciación genética debida a la entrada de genes debida a la polinización cruzada o alogamia (ver Capítulo 2). El análisis de la estructura genética muestra que desde el punto de vista molecular se trata de sólo dos poblaciones en lugar de las tres consideradas *a priori* con base en su localización geográfica; estas poblaciones mantienen un alto nivel de flujo génico que previene la divergencia genética. La diferenciación genética entre las poblaciones dos y tres es muy baja probablemente ambas provinieron de la población uno, la cual se fragmentó y apenas se está diferenciando genéticamente.

Cuadro 4. Proporción de miembros de cada población predefinida en los dos grupos.

Población	Clusters		Número de individuos
	1	2	
1	0.634	0.366	15
2	0.453	0.547	15
3	0.447	0.553	13

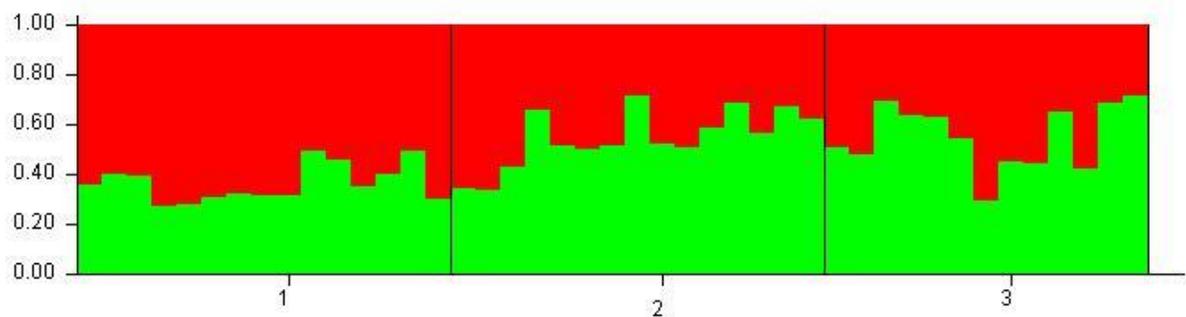


Figura 1. Análisis de la estructura genética de tres poblaciones de *Euphorbia fulgens* con 8 SSR. Gráfico generado con las salidas del programa Structure y organizados por el valor K. Cada color representa un grupo (cluster) definido por el programa. Población 1, 2 y 3.

#### 6.4. Conclusiones

La diversidad genética fue moderada y la estructura genética molecular reveló que sólo se trata de dos poblaciones genéticas en lugar de las tres que se habían definido a priori con base a su localización geográfica. Este estudio aporta información que puede ser utilizada en programas de conservación de la especie.

## Agradecimientos

Al Q. Ricardo Gaspar y M. en C. María Elisa Cano Alvarado por su guía y apoyo en el Laboratorio de Mejoramiento Genético Asistido del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

A la M. en C. Fabiola Ramírez Corona por su guía y supervisión en el Taller de Sistemática y Biogeografía del Departamento de Biología Evolutiva de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

## 6.5. Literatura citada

- APG. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181,1-20. Doi:10.1111/boj.12385.
- Carneiro, V. M. L., Santini, L., Lima, D. A. y De Freitas M. C. 2016. Microsatellite markers: what they mean and why they are so useful. *Genetics and Molecular Biology*, 39(3): 312-328. Doi: 10.1590/1678-4685-GMB-2016-0027.
- Bajay, M. M., Zucchi, M. I., Manabe-Kiihl, T. A., Araújo-Batista, C. E., Montero, M. & Baldín-Pinheiro, J. 2011. Development of a novel set of Microsatellite markers for Castor 131nvi, *Ricinus communis* (Euphorbiaceae). *American Journal of Botany*: e87-e89. Doi: 10.3732/ajb.1000395.
- Doyle, J. J. y Doyle, J. L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19, 11-15.
- Durka, W. (2009). Isolation and characterization of microsatellite loci for *Euphorbia palustris* (Euphorbiaceae). *Genome*, 52, 1037-1039. Doi: 10.1139/G09-072.
- Excoffier, L. y Lischer, H. E. (2010). Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*, 10, 564-567. Doi: 10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x.
- Evanno, G., Regnaut, S. y Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14(8), 2611-2620. Doi: 10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x.
- González, E. G. 2003. Microsatélites: sus aplicaciones en la conservación de la Biodiversidad. *Graellsia*, 59(2-3):377-388. Doi: 10.3989/graellsia.2003.v59.i2-3.253.

- Li, Y. S., Sun, Y., Wang, F. G. y Xing, F. W. (2014). Isolation and characterization of microsatellite loci in *Euphorbia lamarckii* Sweet (Euphorbiaceae) from the Canary Islands. *Conservation Genetic Resources*, 6, 313-314. Doi:10.1007/s12686-013-0076-5.
- Martínez, M., Jiménez, J., Cruz, R., Juárez, E., García, R., Cervantes, A. y Mejía, R. (2002). Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México, Serie Botánica*, 73(2), 155-281. doi: 10.13140/RG.2.1.3813.7762.
- Steinmann, V. (2002). Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Acta Botanica Mexicana*, 61, 61-93. Doi: 10.21829/abm61.2002.909.
- McCauley, R. A., Cortés-Palomex, C. y Oyama, K. (2010). Distribution, genetic structure, and conservation status of the rare microendemic species, *Guaiaacum unijugum* (Zygophyllaceae) in the Cape Region of Baja California, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, 745-758. Doi:10.22201/ib.20078706e.2010.003.646.
- Pritchard, J. K., Stephens, M., Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155, 945-959. PMC1461096.
- Secco, R., Cordeiro, I., Ribes de Lima, L., Sá-Haid, B. (2012). An overview of recent taxonomi studies on Euphorbiaceae s.l. in Brazil. *Rodriguésia* 63(81), 227-242. Doi: 10.1590/S2175-78602012000100014.
- Trejo, L., Feria-Arroyo, T.P., Olsen, K.M., Eguiarte, L.E., Arroyo, B., Gruhn, J.A. y Olson, M.E. (2012). Poinsettia's wild ancestor in the Mexican Dry Tropics: Historical, genetic, and 132nvironmental evidence. *American Journal of Botany*, 99(7), 1146-1157. Doi: 10.3732/ajb.1200072.
- Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559-902. Doi: 10.1016/j.rmb.2016.06.017.
- Turchetto, C., Segatto, A. L., Mäder, G., Rodrigues, D. M., Bonatto, S. L. y Freitas, L. B. (2016). High levels of genetic diversity and population structure in an endemic and rare species: implications for conservation. *AoB Plants*, 8, 1-50. Doi: 10.1093/aobpla/plw002.
- Wang, Y., Zhou, T., Li, D., Zhang, X., Yu, W., Cai, J., Wang, G., Guo, Q., Yang, X. y Cao, F. (2019). The genetic diversity and population structure of *Sophora alopecuroides* (Faboideae) as determined by microsatellite markers developed from transcriptome. *Plos One*, 14(12), e0226100. Doi: 10.1371/journal.pone.0226100.
- Webster, G. L. (1994). Synopsis of the Genera and the Supragenetic Taxa of Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 81, 33-144.
- Xu, X. X., Cheng, F. Y., Xian, H. L. y Peng, L. P. (2016). Genetic diversity and population structure of endangered endemic *Paeonia jishanensis* in China

and conservation implications. *Biochemical Systematics and Ecology*, 66, 319-325. Doi: 10.1016/j.bse.2016.05.003.

Yan, X. H., Fang, M. F., Qian, Z. Q., Liu, Z. L., Tian, C. P., Du, M. H., Li, Y. J. Li, Z. H. y Zhao, G. F. (2014). Isolation and characterization of polymorphic microsatellites in the perennial herb *Euphorbia kansui* using paired-end Illumina shtgun sequencing. *Conservation Genetic Resources*, 6, 841-843. Doi: 10.1007/s12686-014-0274-9.

Yang, Y., Rinna, R., Morawetz, J. J., Haevermans, T., Aubriot, X. y Berry, P. E. (2012). Molecular phylogenetics and classification of *Euphorbia* subgenus *Chamaesyce* (Euphorbiaceae). *Taxon*, 61(4), 764-789. Doi: 10.1002/tax.614005.

**Apéndice 1.** Prueba de desequilibrio de ligamiento ( $p = 0.05$ ).

Locus	Población 1								Población 2								Población 3								
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>1</b>	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	+	*	-	-	-	-	-	+	-	+
<b>2</b>	-	*	+	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-
<b>3</b>	-	+	*	-	-	+	+	+	-	-	*	-	-	+	+	-	-	-	*	-	-	+	-	-	
<b>4</b>	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	
<b>5</b>	-	-	-	-	*	-	-	+	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	
<b>6</b>	-	-	+	-	-	*	-	-	-	-	+	-	-	*	-	+	-	+	-	-	*	-	-	+	
<b>7</b>	-	-	+	-	-	-	*	-	-	-	+	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-	
<b>8</b>	-	-	+	-	+	-	-	*	+	-	-	-	-	-	-	*	+	-	-	-	-	+	-	*	

**Apéndice 2.** AMOVA utilizando 8 loci amplificados

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Componentes de varianza	Porcentaje de variación
<b>Entre poblaciones</b>	10.956	0.12888	5.58728
<b>Entre individuos dentro poblaciones</b>	78.049	0.01312	0.56864
<b>Dentro individuos</b>	82.500	2.16472	93.84408
<b>Total</b>	171.504	2.30672	

**Apéndice 3.** AMOVA utilizando 3 loci amplificados

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Componentes de varianza	Porcentaje de variación
Entre poblaciones	5.371	0.05745	5.57
Entre individuos dentro poblaciones	41.687	0.06760	6.55
Dentro individuos	39.000	0.90698	87.88
Total	86.058	1.03203	

**Apéndice 4.** Índices FIS específicos por población.

Población	FIS	P(FIS>=FISobservado)
1	-0.04103	0.691105
2	0.07109	0.276637
3	0.18710	0.069404

1023 permutaciones

**Apéndice 5.** Comparación por pares de poblaciones utilizando pruebas pareadas.

	1	2	3
1	0.00000		
2	0.07502	0.00000	
3	0.10487	-0.01376	0.00000

Método de distancia: número de diferentes alelos (FST)

Valores FST ( $p=0.05$ )

Población	1	2	3
1	*		
2	0.00195+-0.0014	*	
3	0.00098+-0.0010	0.82520+-0.0137	*

Número de permutaciones: 1023

Matriz de significancia FST ( $p=0.05$ )

Población	1	2	3
1		+	+
2	+		-
3	+	-	

**Apéndice 6.** Matriz de Slatkin linearizada.

	1	2	3
1	0.00000		
2	0.08110	0.00000	
3	0.11716	0	0.00000

FST  $t/M=FST/(1-FST)$ . ( $M=2Nm$ )

Matriz de valores M ( $M=2Nm$ )

	1	2	3
1			
2	6.16504		
3	4.26460	inf	

## 7. EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA EN SEMILLAS DE *Euphorbia fulgens* Karw. ex Klotzsch

### RESUMEN

A través de la mutagénesis se han generado un gran número de variedades ornamentales, ya que es una técnica adecuada para inducir variabilidad en especies donde ésta no existe. *Euphorbia fulgens* es una especie que presenta poca variabilidad en el color de las flores, por lo que este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de radiación gamma  $^{60}\text{Co}$  en semillas y en caracteres morfológicos de plantas adultas de *E. fulgens* provenientes de dos sitios de colecta. Se irradiaron bolsas conteniendo 20 semillas cada una en dosis de  $^{60}\text{Co}$  (50, 100, 150, 200, 250, 300, 450, 600, 750 Gy) más el testigo sin irradiar. El porcentaje de emergencia para el testigo en el sitio 1 fue de 80 % mientras que en el sitio 2 fue del 55 %, dosis de radiación de 250 Gy o superiores provocaron que los porcentajes de germinación de las semillas fueran inferiores al 50 %. La supervivencia de las plantas a dosis altas (450 a 750 Gy) fue baja, de 1 a 3 plantas. Los tratamientos produjeron diferencias en las variables número de ramas con inflorescencias y apéndices petalíferos de color naranja claro. La dosis de 300 Gy generó individuos con ramificación y colores diferentes a los demás tratamientos, presentando color naranja claro. En la comparación entre sitios se detectó variación en estructuras vegetativas como longitud de peciolo y ancho de la lámina, y en la mayoría de las estructuras reproductivas. Por ser una especie microendémica de distribución restringida lo más recomendable sería irradiar esquejes a dosis bajas, los cuales podrían obtenerse de los materiales generados en este trabajo para inducir variabilidad en color de ciatios y con ello no tener que extraer material de poblaciones silvestres contribuyendo a su conservación.

**Palabras clave:** rayos gamma, mutagénesis inducida, planta ornamental

## 7.1. Introducción

La mutagénesis inducida es una técnica por la cual se han generado 671 variedades mutantes de ornamentales que en su mayoría corresponden a *Chysanthemum* spp. (285 variedades), *Rosa* spp. (67 variedades), *Dahlia* spp. (35 variedades), *Alstroemeria* spp. (35 variedades) y *Streptocarpus* spp. (30 variedades) originadas principalmente en China, Holanda, Japón, India y Alemania (FAO/IAEA, 2020). Es una técnica muy utilizada y adecuada ya que la mayoría de las plantas de ornato se propagan vegetativamente lo que permite la fácil reproducción de mutantes (Rangaiah, 2006; Yamaguchi, 2018), al no ser considerados organismos genéticamente modificados (OGMs) este método está libre de restricciones regulatorias (Parry *et al.*, 2009).

Las mutaciones inducidas son las provocadas por agentes exógenos denominados mutágenos, los cuales pueden ser químicos o físicos; entre los químicos se encuentran el etilmetanosulfonato (EMS), sulfato de dimetilo y sulfato de dietilo, metilnitrosourea (MNU) y etilnitrosourea (ENU) (Oladosu *et al.*, 2016). Los agentes físicos son rayos x, rayos gamma (Jain, 2006, Yamaguchi *et al.*, 2008), luz ultravioleta (Ahloowalia y Maluszynski, 2001) e iones de carbono (Wu *et al.*, 2009).

Los rayos x, los rayos gamma y los iones de carbono son los mutágenos más utilizados en el mejoramiento por este método en ornamentales (Jain, 2006, Yamaguchi, 2008; Wu *et al.*, 2009; Yamaguchi *et al.*, 2018). Se ha visto que estos mutágenos pueden estimular la germinación, aceleran el desarrollo de las plantas, favorecen la resistencia a diferentes tipos de estrés, principalmente enfermedades, y provocan cambios morfológicos como el color, forma y tamaño de flores (Maluszynski *et al.*, 2000; Ahloowalia y Maluszynski, 2001, Chopra, 2005; Datta y Teixeira, 2006).

Las ventajas de este proceso son, la posibilidad de generar variabilidad, la rapidez con la que se puede obtener un individuo con caracteres deseables, es

decir, reduce el tiempo en comparación con el mejoramiento tradicional. La desventaja es que las mutaciones ocurren de manera impredecible en todo el genoma y son puntuales, por lo que es difícil obtener un mutante con múltiples características deseadas. Así mismo, requiere un gran número de semillas o partes vegetativas para que se logre identificar el efecto de un agente mutagénico, por lo que resulta difícil identificar un pequeño número de individuos con fenotipos novedosos dentro de una gran población, además de que muchas mutaciones no tienen un efecto detectable en las plantas.

Es importante considerar que esta técnica se justifica cuando no se tiene variabilidad natural suficiente por lo que entonces se requiere inducirla, lo cual permite tener un abanico más grande de individuos con características deseables (De la Cruz, 2010). En especies donde no se cuenta con información previa, lo primero que se debe hacer es un estudio de radiosensibilidad, que consiste en evaluar la sensibilidad que tienen las células, tejidos y estructuras vegetativas de la especie. La radiosensibilidad varía de acuerdo a la especie, el nivel de ploidía, grado de diferenciación del tejido y contenido de humedad (De la Cruz, 2010).

En México se han realizado experimentos donde se ha determinado que la radiación gamma  $^{60}\text{Co}$  estimula la germinación en semillas de *Laelia autumnalis* (Lex.) Lindl. (Hernández-Muñoz *et al.*, 2017). En nardo (*Polianthes tuberosa* L.) se ha evaluado su efecto en tubérculos y plantas *in vitro* (Estrada-Basaldúa *et al.*, 2011), en crisantemo (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitam.) se produjeron mutantes con genotipos de lento desarrollo, enanos y con moteado en hojas (Castillo-Martínez *et al.*, 2015), en bulbos de *Tigridia pavonia* (L. f.) DC., se logró modificar el color de la flor (Díaz-López *et al.*, 2003), en girasol (*Helianthus annuus* L.), jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) se ha evaluado la sensibilidad en semillas y en ésta última adicionalmente se cuantificaron las diferencias en algunos parámetros morfológicos en plantas adultas (Canul-Ku *et al.*, 2012).

*Euphorbia fulgens* es una especie que se comercializa como ornamental en Europa y otros países, principalmente como flor de corte, aunque también se oferta planta en maceta o para plantaciones de cimientos o bordes mixtos. Su nombre común es scarlet plume (pluma escarlata), es considerada una planta de día corto (Rünger y Albert, 1975). Se comercializan diversos cultivares con distintos colores de inflorescencias: naranja, rosa, rojo, blanco, salmón, durazno y amarillo; mientras que el color de las hojas puede ser verde, rojo oscuro o morado. En nuestro país de donde es originaria, en las poblaciones silvestres se encuentran ciatios con apéndices petalíferos con tonalidades que van del naranja al rojo (ver Capítulo 2). Por lo que se supone que dichas variedades se originaron a través de mutagénesis inducida. La variedad 'Albora' desarrollada en Holanda, aprobada oficialmente en 1976, se desarrolló por irradiación de esquejes con rayos X (40Gy) y su principal atributo mejorado es el color de los apéndices petalíferos de los ciatios (FAO/IAEA, 2020).

Por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de radiación gamma  $^{60}\text{Co}$  en semillas y en caracteres morfológicos de plantas adultas de *E. fulgens* provenientes de dos sitios de colecta, para determinar la dosis en la cual no se ve afectada la sobrevivencia de las plantas con la finalidad de contar con información para que en un futuro se pueda inducir variabilidad en el color de las flores en una especie en la que de manera natural existe poca variabilidad. Se espera que a dosis altas las semillas no sobrevivan y que la radiación tenga efectos en la morfología del material vegetal.

### **7.3. Materiales y métodos**

#### **Sitio experimental**

El experimento se realizó en un invernadero de cristal ubicado en la Universidad Autónoma Chapingo, la cual se localiza a 19° 20' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a 2,240 m de altitud. La temperatura y humedad relativa se registró con un data logger HOBO® U12-012 (Onset Computer Corporation, Massachusetts,

EUA); la temperatura media en ese periodo varió de 16 a 24 °C y la humedad relativa de 38 a 68 %.

### **Material vegetal y tratamientos**

En abril del año 2018 se colectaron frutos de *Euphorbia fulgens* en dos municipios del estado de Oaxaca; el sitio 1 se localiza en San Jerónimo Coatlán y el sitio 2 en Santiago Jamiltepec. Se colocaron en bolsas de papel de estraza hasta que se secaron y liberaron sus semillas. Las semillas se depositaron en bolsas de glassine y se mantuvieron a temperatura ambiente, se eligieron 200 semillas de cada sitio las cuales se distribuyeron en 5 bolsas conteniendo 20 semillas cada una. Se tomaron fotografías con una cámara Nikon Coolpix B500.

El 4 de mayo del mismo año se llevaron las semillas a irradiar al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), el cual cuenta con un irradiador Gammacell 220. Se establecieron 9 dosis de radiación de  $^{60}\text{Co}$  (50, 100, 150, 200, 250, 300, 450, 600, 750 Gy) más el testigo sin irradiar. Ese mismo día se sembraron las semillas irradiadas en charolas de unicel de 200 cavidades utilizando como sustrato turba/perlita (50:50 v/v). Las plantas en etapa de primer par de hojas verdaderas opuestas (finales de mayo, principios de junio) se transplantaron a macetas de 11 x 11 x 15 cm, utilizando como sustrato turba/agrolita/vermiculita (40:30:30 v/v/v). En esta etapa se agregó al agua de riego fertilizante Ultrasol® inicial N15-P30-K15+M.E. AQTEX 0.5 gL<sup>-1</sup> cada ocho días. A finales de julio, agosto y septiembre se aplicó Ultrasol® Multipropósito N18-P18-K18 + M.E. AQTEX 1 gL<sup>-1</sup> cada ocho días.

A inicios de octubre las plantas se cambiaron a bolsas negras de polietileno de 25 x 25 cm que contenían sustrato de tierra de hoja de encino/fibra de coco/vermicomposta/tierra negra/corteza de pino (30:30:20:10:10). Se realizaron aplicaciones preventivas con fungicidas para prevenir la aparición de hongos con Promyl® (i.a. Benomilo) 1.5 gL<sup>-1</sup>, para evitar la aparición de mosca negra se usó

Talstar® (i.a. bifendrina) 1.5 ml L<sup>-1</sup> alternando con Siroco® (i.a. cipermetrina), adicionalmente se colocaron trampas cromáticas. No obstante, la plaga que se presentó fue la araña roja, por lo que se controló con Agrimec® (i.a. abamectina) y *Bacillus thuringiensis*. El control de malezas se realizó de manera manual.

### **Variables evaluadas**

Las semillas se colocaron en una hoja blanca con una regla como escala y se fotografiaron con una cámara Nikon Coolpix B500. Estas imágenes se utilizaron para calcular las variables: área (mm), perímetro (mm), diámetro Feret y la redondez, usando el programa Image J v. 1.8.0\_112 (Schneider *et al.*, 2012). Se registró el porcentaje de emergencia y el número de plantas que sobrevivieron hasta la etapa adulta con dos a tres frutos desarrollados. En esta etapa fenológica, se utilizó un flexómetro para medir la altura de planta (cm) y mediante una regla se midieron las siguientes variables: longitud de peciolo (cm), longitud de lámina (cm) y ancho de la lámina (cm). Estos datos fueron usados para calcular la relación entre el ancho de la lámina y la longitud de la lámina (cm) y la relación entre la longitud de peciolo y la longitud de la lámina (cm).

Adicionalmente se midió la longitud de entrenudos (cm), se contabilizó el número de ramas con ciatios, se midió la longitud de la inflorescencia (cm), se contabilizó el número de cimas y número de ciatios hermafroditas, longitud de la cima más larga (cm), longitud de entrenudos en la inflorescencia (cm), longitud de pedúnculo (cm), longitud de involucro (cm), largo del apéndice petalífero (cm), ancho del apéndice petalífero (cm), largo del pedicelo (cm), longitud del ovario (cm), longitud de los estilos (cm), largo de los estambres (cm), largo del fruto (cm) y el diámetro del fruto (cm), el cual se midió con un vernier Pretul®.

Por último, se registraron otras variables con base en la guía para variedades de *E. fulgens* de la Unión Internacional para la protección de nuevas variedades de plantas (UPOV, 1988) que fueron: el color de los apéndices petalíferos, el color

de las láminas del tercio superior de la parte con cimbras (rojo o verde), la intensidad del color rojo en las mismas láminas, así como el color de las láminas en el tercio inferior de la parte con cimbras (rojo o verde) para la cual se utilizaron las cartas de color de The Royal Horticultural Society.

### **Análisis estadístico**

Las variables registradas en semillas se analizaron mediante una prueba de t de student, se hizo un análisis de varianza (ANOVA) entre los diferentes tratamientos (0, 50, 100, 200 Y 300 Gy) y entre sitios (1 y 2); cuando se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos se aplicó la prueba de separación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) utilizando el paquete estadístico Infostat (2008) como lo indican Di Rienzo *et al.* (2008).

### **7.4. Resultados y Discusión**

Se detectaron diferencias significativas entre sitios en las variables de semillas: área (T -5.28,  $p < 0.0001$ ), perímetro (T -11.54,  $p < 0.0001$ ), diámetro Feret (P - 9.69,  $p < 0.0001$ ) y la redondez (T 7.84,  $p < 0.0001$ ). En ambos sitios de colecta el tratamiento testigo (sin radiación) presentó el mayor porcentaje de emergencia, el cual disminuyó conforme se incrementó la dosis de radiación. Se calculó un modelo de regresión lineal simple por sitio de colecta entre la dosis de radiación y el porcentaje de emergencia, el cual explicó el 86 % del comportamiento observado; en el sitio 1 por cada Gray de radiación  $^{60}\text{Co}$  la emergencia disminuyó en 0.08 %, mientras que en el sitio 2 disminuyó en 0.03 % (Figura 1).

El porcentaje de emergencia para el testigo en el sitio 1 fue de 80 % mientras que en el sitio 2 fue del 55 % (Figura 1). En las dosis más altas (450, 600 y 750 Gy) emergieron pocas plántulas en comparación con el testigo y la mayoría presentaron hipocótilos deformes, sin clorofila y con cotiledones, deformes y también sin clorofila. Algunas plantas provenientes de semillas irradiadas murieron antes de llegar a la etapa adulta; a partir de 250 Gy se murieron

aproximadamente el 55 % de las plantas del sitio 1 y el 56 % de las del sitio 2. En las dosis más altas sobrevivieron de una a tres plantas (Figura 2). A las dosis de 750 Gy sobrevivió una planta de cada sitio, por lo que no fue posible calcular la dosis letal media. Las plantas que sobrevivieron a las dosis más altas presentaron malformaciones en hojas e inflorescencias y se obtuvieron frutos de las mismas pero sus semillas no fueron viables (Figura 3).

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con Marcu *et al.* (2013), quienes observaron que al aumentar la dosis de irradiación en maíz el porcentaje de germinación disminuyó y las plantas que sobrevivieron a dosis más altas no lo hicieron por más de diez días. En otro estudio desarrollado en este mismo cultivo se observó que la radiación a dosis bajas aumentó la germinación de semilla en condiciones *in vitro* (Beyaz *et al.*, 2016). Canul-Ku *et al.* (2012) no encontraron diferencia en número de plantas obtenidas de nochebuena entre el testigo sin irradiar y cuando usaron una dosis de 275 Gy. Por su parte Díaz-López *et al.* (2017) tampoco observaron diferencias en número de plantas obtenidas sin irradiar y usando 35 Gy en jamaica y girasol. La sobrevivencia de plantas a altas dosis de radiación encontrada en este trabajo se puede explicar debido a que las semillas irradiadas provienen de plantas silvestres, las cuales tienen mayor plasticidad para adaptarse a cambios repentinos en su hábitat en comparación con las especies cultivadas.

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos para la mayoría de las variables consideradas. En el número de ramas con flores el tratamiento 300 Gy (1.21 a) fue significativamente diferente al tratamiento 200Gy (0.89 b), mientras que el resto de los tratamientos no produjeron diferencias significativas. Para la variable color de los apéndices petalíferos, el tratamiento 300 Gy (2.57a) fue significativamente diferente al testigo (1.20b) y a los tratamientos 50 Gy (1.33b) y 100 Gy (1.20b) (Cuadro 1). Esto puede deberse a que, si la radiación aplicada a las semillas causó alguna mutación, éstas en su mayoría son recesivas y se expresaran hasta la siguiente generación. En trabajos

con semillas irradiadas de nochebuenas silvestres ha sido posible detectar efectos inmediatos (Canul-Ku *et al.*, 2012).

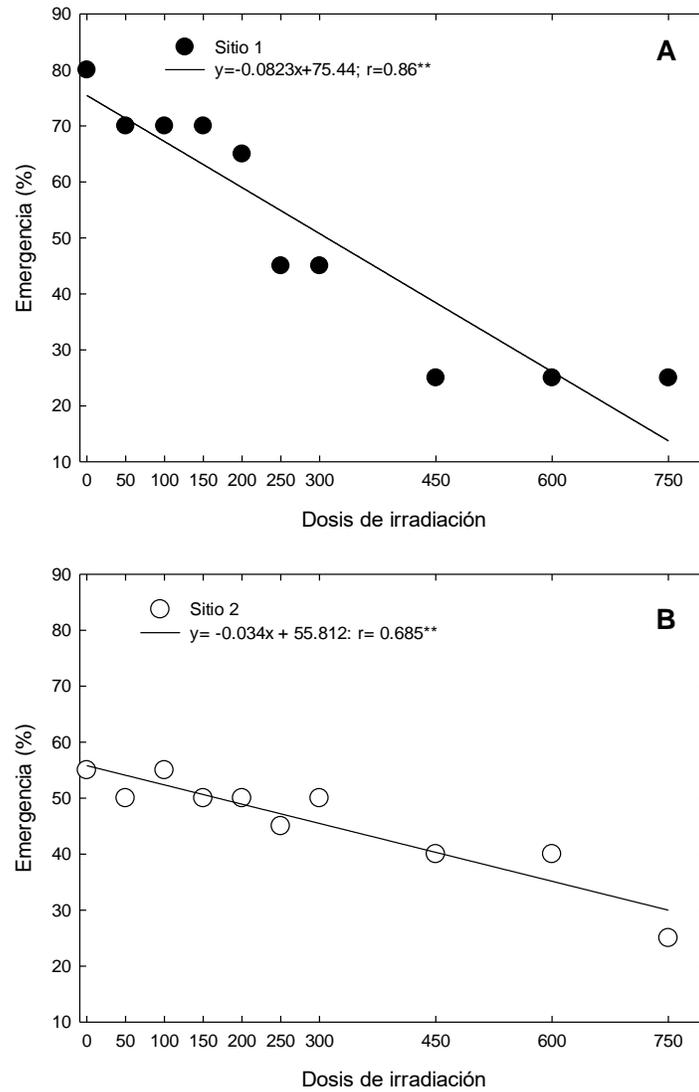


Figura 1. Porcentaje de emergencia de plántulas de *E. fulgens*, provenientes de dos sitios de colecta en México (A) sitio 1, (B) sitio 2.

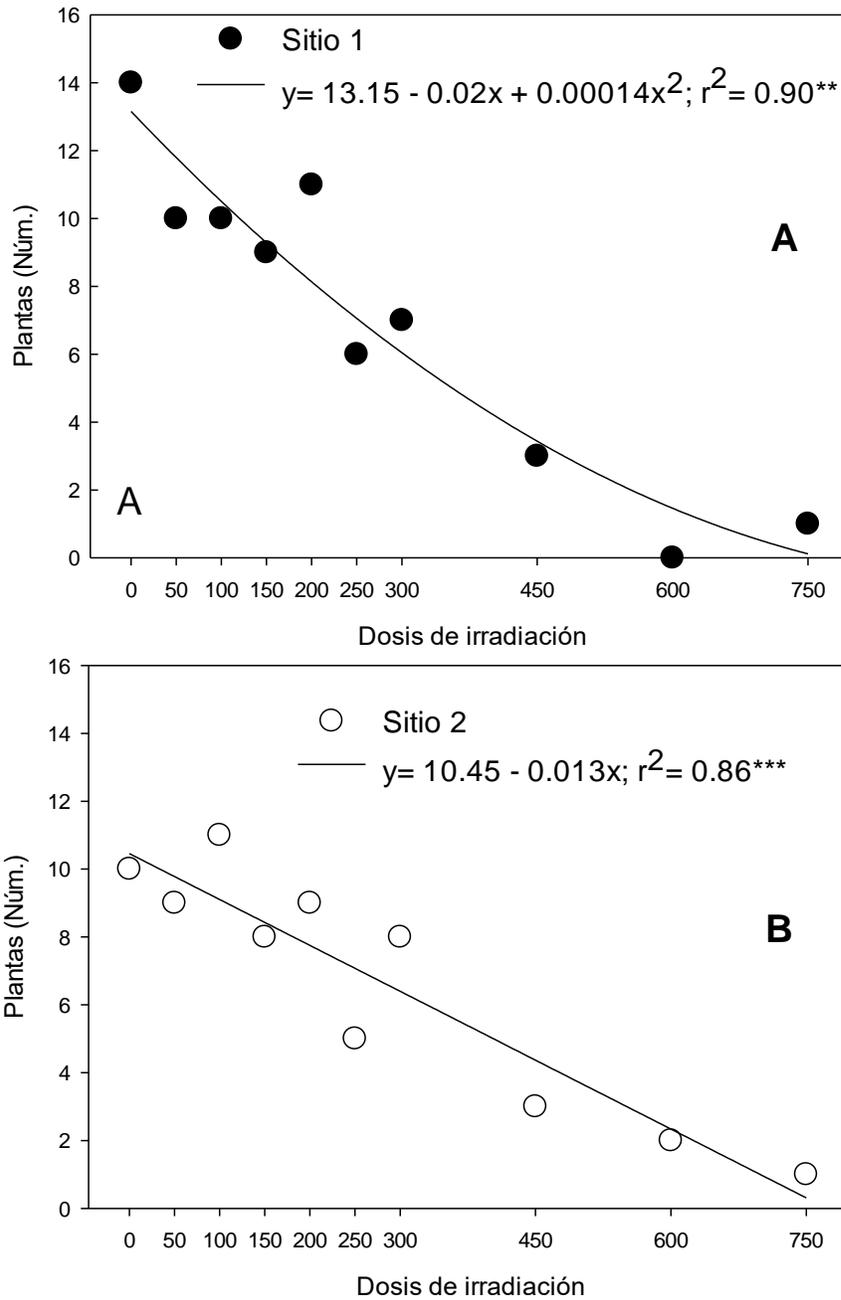


Figura 2. Supervivencia de plantas de *E. fulgens*, provenientes de semillas irradiadas con rayos gamma  $^{60}\text{Co}$ , de dos sitios de colecta en México (A) sitio 1, (B) sitio 2.

Cuadro 1. Variables morfométricas de plantas de *Euphorbia fulgens* a diferentes dosis de radiación gamma <sup>60</sup>Co.

<b>Variable</b>	<b>0 Gy</b>	<b>50 Gy</b>	<b>100 Gy</b>	<b>150 Gy</b>	<b>200 Gy</b>	<b>300 Gy</b>
Altura	101.88a	102.97a	92.05a	98.34a	100.31a	98.54a
Longitud de peciolo	3.10a	2.73a	2.87a	3.10a	3.21a	3.05a
Longitud de la lámina	7.86a	7.92a	7.49a	7.86a	8.12a	7.65a
Ancho de la lámina	2.36a	2.30a	2.29a	2.35a	2.41a	2.27a
Ancho lámina/longitud lámina	0.30a	0.30a	0.31a	0.30a	0.30a	0.30a
Longitud peciolo/longitud lamina	0.40a	0.35a	0.38a	0.39a	0.39a	0.40a
Longitud de entrenudos	1.57a	1.56a	1.76a	1.63a	1.57a	1.54a
Número de ramas con inflorescencias	1.00ab	1.00ab	1.00ab	0.94ab	0.89b	1.21a
Longitud de la inflorescencia	27.50a	20.99a	20.43a	20.06a	21.08a	27.27a
Número de cimas	16.20a	12.60a	12.60a	12.06a	12.67a	16.56a
Longitud de la cima más larga	5.43a	5.26a	4.79a	4.78a	4.43a	5.20a
Número de ciatios	72.85a	58.67a	67.25a	53.06a	62.83a	7.64a
Longitud de entrenudos en la inflorescencia	1.09a	0.97a	1.07a	0.96a	1.02a	1.20a
Longitud de pedúnculo	1.12a	1.22a	1.13a	1.14a	0.96a	1.19a
Largo del involucre	0.31a	0.31a	0.31a	0.28a	0.27a	0.30a
Largo apéndice petalífero	0.53a	0.53a	0.54a	0.51a	0.48a	0.56a

<sup>abc</sup> Sitios con letra distinta en el sentido de la fila son estadísticamente diferentes (p<0.05).

Cuadro 1. Continuación

<b>Variable</b>	<b>0 Gy</b>	<b>50 Gy</b>	<b>100 Gy</b>	<b>150 Gy</b>	<b>200 Gy</b>	<b>300 Gy</b>
Ancho apéndice petalífero	0.49a	0.49a	0.52a	0.46a	0.44a	0.51a
Longitud pedicelo	0.85a	0.83a	0.81a	0.79a	0.72a	0.79a
Largo de estilos	0.30a	0.29a	0.30a	0.28a	0.27a	0.30a
Largo del ovario	0.11a	0.17a	0.12a	0.10a	0.09a	0.10a
Largo del estambre	0.65a	0.62a	0.63a	0.59a	0.58a	0.66a
Largo de fruto	0.47a	0.23a	0.46a	0.36a	0.37a	0.39a
Diámetro de fruto	0.44a	0.21a	0.42a	0.34a	0.34a	0.36a
Número de frutos	2.60a	2.00a	2.90a	1.56a	2.28a	3.43a
Número de semillas	4.75a	2.44a	4.40a	2.13a	4.28a	4.64a
Color de apéndices petalíferos	1.55b	1.33b	1.20b	1.69ab	1.78ab	2.57a
Color de la lámina de la hoja en el tercio superior de la inflorescencia	1.20a	1.11a	1.35a	1.06a	1.11a	1.35a
Intensidad de color de la lámina de la hoja en el tercio superior de la inflorescencia	1.30a	1.11a	1.50a	1.25a	1.23a	1.21a

<sup>abc</sup> Sitios con letra distinta en el sentido de la fila son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).



Figura 3. Malformaciones observadas en plantas obtenidas a partir de semillas irradiadas.

Un estudio de mutagénesis realizado en nochebuena reportó efectos significativos de las dosis de radiación en la altura de planta (Canul-Ku et al., 2012), sin embargo, en el presente estudio no se encontraron diferencias entre tratamientos. La comparación de los caracteres morfométricos de los tratamientos testigo (sin irradiación) entre los dos sitios de colecta detectó diferencias significativas en 15 de 28 variables analizadas que corresponden a estructuras vegetativas: peciolo, ancho de la lámina y por tanto en la relación ancho de la lámina y longitud de la lámina, así como en la relación longitud de peciolo y longitud de lámina (Cuadro 2). También se detectaron diferencias significativas en estructuras reproductivas, número de cimas, número de ciatios, longitud de pedúnculo, longitud involucro, largo apéndice petalífero, ancho apéndice petalífero, número de frutos, número de semillas, color de apéndices petalíferos, color de las láminas de la hoja de la parte superior del racimo e intensidad del color rojo de las láminas en la parte superior del racimo. Las diferencias observadas probablemente se deban a las condiciones ambientales prevalentes en los sitios de colecta. A pesar de que usando una dosis de radiación de 300 Gy fue posible obtener mutantes con diferente color de

apéndices petalíferos, lo cual era uno de los principales objetivos del presente estudio, la sobrevivencia de las plantas fue baja, por lo que sería conveniente seguir realizando experimentos con 100 Gy o menos, dosis que no afectaron la supervivencia de las plantas o intentar irradiar esquejes a dosis bajas.

Cuadro 2. Variables morfométricas de plantas de *Euphorbia fulgens* obtenidas de semillas irradiadas procedentes de dos sitios de colecta del estado de Oaxaca, México.

	<b>Variable</b>	<b>CV</b>	<b>p-valor</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>
<b>1</b>	Altura de planta	24.05	0.7401	98.24a	99.78a
<b>2</b>	Pecíolo	25.11	<0.0001	3.34b	2.68a
<b>3</b>	Longitud de lámina	11.61	0.1872	7.70a	7.93a
<b>4</b>	Ancho de la lámina	17.22	<0.0001	2.77b	1.89a
<b>5</b>	Ancho lámina/Longitud lámina	16.91	<0.0001	0.36b	0.24a
<b>6</b>	Longitud pecíolo/Longitud lámina	20.92	<0.0001	0.43b	0.34a
<b>7</b>	Longitud entrenudos	24.95	0.2379	1.56a	1.65a
<b>8</b>	Número ramas con inflorescencias	32.93	0.0798	1.06a	0.95a
<b>9</b>	Longitud de la inflorescencia	46.48	0.1508	24.38a	21.40a
<b>10</b>	Número de cimas	39.36	0.0178	15.23b	12.67a
<b>11</b>	Longitud cima más larga	34.71	0.0761	4.68a	5.28a
<b>12</b>	Número de ciatios	53.64	<0.0001	88.04b	40.40a
<b>13</b>	Longitud de entrenudos en la inflorescencia	40.12	0.5189	1.08a	1.02a
<b>14</b>	Longitud pedúnculo	31.28	0.0027	1.02a	1.23b
<b>15</b>	Longitud involucro	17.83	0.0297	0.31a	0.28b
<b>16</b>	Largo apéndice petalífero	20.21	0.0037	0.56b	0.49a

<sup>abc</sup> Sitios con letra distinta en el sentido de la fila son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 2. Continuación.

	<b>Variable</b>	<b>CV</b>	<b>p-valor</b>	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>
17.	Ancho apéndice petalífero	21.00	0.0001	0.52b	0.45a
18.	Longitud pedicelo	20.96	0.0667	0.83a	0.77a
19	Longitud ovario	17.22	0.1236	0.30a	0.28a
20	Largo estilos	105.54	0.4698	0.11a	0.12a
21	Largo de estambres	19.07	0.3258	0.63a	0.61a
22	Longitud de fruto	84.52	0.0849	0.43a	0.33a
23	Diámetro de fruto	84.39	0.0667	0.40a	0.30a
24	Número de frutos	134.25	0.0016	3.50b	1.42a
25	Número de semillas	142.88	0.0499	4.82b	2.73a
26	Color de los apéndices petalíferos	61.81	0.0008	2.03a	1.35b
27	Color de las láminas de la hoja de la parte superior del racimo	31.31	0.0022	1.27a	1.03b
28	Intensidad del color rojo de las láminas de la en la parte superior del racimo	55.25	0.0227	1.43a	1.11b

<sup>abc</sup> Sitios con letra distinta en el sentido de la fila son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

## 7.5. Conclusiones

Las dosis de radiación utilizadas en este trabajo tuvieron efecto en el porcentaje de emergencia y sobrevivencia de las plantas; pero no hubo efecto en la mayoría de las variables morfológicas evaluadas, sólo en el número de ramas con flores y el color de los apéndices petalíferos. Se detectaron diferencias significativas entre los sitios de colecta en variables de hojas, inflorescencias y frutos. Debido

a que *Euphorbia fulgens* es una especie microendémica con distribución restringida y con la finalidad de cuidar las poblaciones silvestres, se recomienda irradiar esquejes a dosis bajas para inducir variabilidad en el color de las flores.

## 7.6. Literatura citada

- Ahloowalia, B. S. y M. Maluszynski. (2001). Induced mutations. A new paradigm in plant breeding. *Euphytica*, 118, 167-173.
- Beyaz, R., Kahramanogullari, C. T., Yildiz, C., Darcin, E. S. y Yildiz, M. (2016). The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. Under in vitro conditions. *Journal of Environmental Radioactivity*, 162-163, 129-133. Doi. 10.1016/j.jenvrad.2016.05.006.
- Canul-Ku, J., F. García-Pérez, E. Campos-Bravo, E.J. Barrios-Gómez, E. De la Cruz-Torres, J.M. García-Andrade, F. de J. Osuna-González y S. Ramírez-Rojas. 2012b. Efecto de la irradiación sobre nochebuena silvestres (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(8):1495-1507.
- Castillo-Martínez, C. R., De la Cruz, T. E., Carrillo-Castañeda, G. y Avendaño-Arrazate, C. H. (2015). Inducción de mutaciones en crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) usando radiación gamma y etil metano sulfonato. *Agroproductividad*, 8(2), 60-64.
- Chopra, V. L. (2005). Mutagenesis: Investigating the process and processing the outcome for crop improvement. *Current Science*, 89(2), 353-359.
- Datta, S. K. y Teixeira, J. A. (2006). Role of induced mutagenesis for development of new flower colour and type in ornamentals. En: Teixeira da Silva, J. (Ed.). *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and topical issues (Vol.I)*. 640-645pp.
- De la Cruz, E. (2010). Aplicación de la radiación al mejoramiento de los cultivos. *Actividad Científica y Tecnología*, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México, pp. 381-394.
- Díaz-López, E., Pichardo, R., De la Cruz, T., Norman, M. T., Sandoval, R. F. y Vázquez-García, L. (2003). Variabilidad inducida en *Tigridia pavonia* (L.f.) D.C. var. Sandra por irradiación de bulbos con rayos gamma de <sup>60</sup>Co. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 9(2), 235-241.
- Díaz-López, E., Morales-Ruiz, A., Olivar-Hernández, A... y Loeza-Corte, J. M. (2017). Gamma irradiation effect of <sup>60</sup>Co on the germination of two subtropical species in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. *International Journal Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 4(8), 56-61. Doi. 10.22161/ijaers.4.8.10.

- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Estrada-Basaldúa, J. A., Pedraza-Santos, M. E., Cruz -Torres, E., Martínez-palacios, C., Sáenz-Romero, C. y Morales-García, J. L. (2011). Efecto de rayos gamma  $^{60}\text{Co}$  en nardo (*Polianthes tuberosa* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 445-458.
- FAO/IAEA. (2020). Mutant Variety Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Atomic Energy Agency. Recuperado de <https://mvd.iaea.org/#!Search>. Fecha de consulta: Febrero, 2020.
- Hernández-Muñoz, S., Pedraza-Santos, M. E., López, P. A., Gómez-Sanabria, J. M. y Morales-García, J. L. (2019). Mutagenesis in the improvement of ornamental plants. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(3), 151-167. doi:10.5154/r.rchsh.2018.12.022.
- Jain, M. S. (2005). Major mutation-assisted plant breeding programs supported by FAO/IAEA. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 82, 113-123. Doi: 10.1007/s11240-004-7095-6.
- Maluszynski, M., Nichterlein, K., Van-Zanten, L. y Ahloowalia, B. S. (2000). Oficial released mutant varieties-the FAO/IAEA database. *Mutation Breeding*, 12, 1-88.
- Marcu, D., Damian, G., Cosma, C. y Cristea V. (2013). Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays* L.). *Journal Biology Physiology*, 39, 625-634. doi: 10.1007/s10867-013-9322-z.
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Absullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H., Miah, G. y Usman, M. (2016). Principles and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(1), 1-16. doi: 10.1080/13102818.2015.1087333
- Parry, M. A., Madgwick, P. J., Bayon, C., Tearall, K., Hernández-López, A., Baudo, M., Rakszegi, M., Hamada, W., Al-Yassin, A., Ouabbou, H., Labhili, M. y Phillips, A. L. (2009). Mutation discovery for crop improvement. *Journal of Experimental Botany*, 60(10), 2817-2825. doi: 10.1093/jxb/erp189.
- Rangaiah, S. 2006. Induced genetic variation for days to flowering and maturity following hybridization and mutagenesis in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 19: 382-384.
- Rünger, W. y Albert G. (1975). Influence of temperature, soil moisture and CCC on the flowering of *Euphorbia fulgens*. *Scientia Horticulturae*, 3, 393-403.
- Schneider, C., Rasband, W. y Eliceiri, K. (2012). NIH image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9, 671-675. doi: 10.1038/nmeth.2089.

- UPOV. (1988). Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability. *Euphorbia fulgens*. International Union for the Protection of new varieties of plants. Recuperado de <https://www.upov.int/genie/es/details.xhtml?cropId=2262>. Fecha de consulta: Febrero, 2017.
- Wu, D.L., S. W. Hou, P.P. Qian, L.D., Y.C. Zhang y W. J. Li. (2009). Flower color quimera and abnormal leaf mutants induced by <sup>12</sup>C<sup>6+</sup> heavy ions in *Salvia splendens* Ker-Grawl. *Scientia Horticulturae*, 121, 462-467. doi: 10.1016/j.scienta.2009.02.022.
- Yamaguchi, H. (2018). Mutation breeding of ornamental plants using ion beams. *Breeding Science*, 68, 71-78. doi: 10.1270/jsbbs.17086
- Yamaguchi, H., A. Shimizu, K. Degi y T. Morishita. (2008). Effects of dose rate of gamma ray irradiation on mutation induction and nuclear DNA content in *Chrysanthemum*. *Breeding Science*, 58, 331-335. doi: 10.1270/jsbbs.58.331.