



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
COORDINACION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



MEJORAMIENTO GENÉTICO EN *Mirabilis jalapa* L.

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

Manuel Alejandro Cano Domínguez

BAJO LA SUPERVISIÓN DE: Dr. Rogelio Castro Brindis



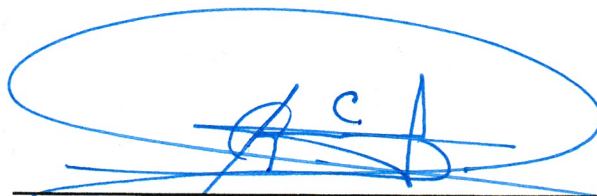
Chapingo, Estado de México. Abril del 2026

MEJORAMIENTO GENÉTICO EN *Mirabilis jalapa* L.

Tesis realizada por **Manuel Alejandro Cano Domínguez** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

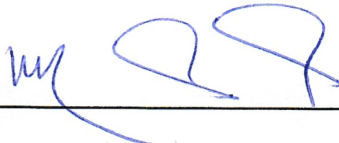
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



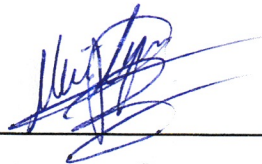
Dr. ROGELIO CASTRO BRINDIS

ASESOR:



Dra. MA. DE JESÚS JUÁREZ HERNÁNDEZ

ASESOR:



M.C. MIRIAM LAGUNES REYES

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos particulares	2
1.2. Hipótesis	2
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 <i>Mirabilis jalapa</i> L.	3
2.1.1 Taxonomía	3
2.1.2 Origen y distribución	3
2.1.3 Descripción botánica	4
2.1.4 Fenología, ciclo de vida y estrategias reproductivas	5
2.2 Recursos fitogenéticos	8
2.2.1 Importancia de la exploración y conservación de los recursos fitogenéticos en México	8
2.2.2 Valor y potencial de <i>Mirabilis jalapa</i> L. en la horticultura y su mejoramiento genético	10
2.3 Estrategias y enfoques para el mejoramiento genético en <i>Mirabilis jalapa</i> L.	14
2.3.1 Selección	14
2.3.2 Mutagénesis física mediante radiación gamma	15
2.4 Literatura citada	22
3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL MATERIAL NATIVO DE MARAVILLA (<i>Mirabilis jalapa</i> L.)	33
3.1. RESUMEN GENERAL	33
3.2. ABSTRACT	34
3.3. Introducción	35
3.4. Materiales y Métodos	36
3.4.1. Material vegetal	36
3.4.2. Condiciones de cultivo	36

3.4.3.	Procedimiento de caracterización morfológica.....	37
3.5.	Resultados.....	39
3.5.1.	Descripción general del material.....	39
3.6	Discusión.....	54
3.6.1	Presencia y tipos de pigmentación.....	54
3.6.2	Plasticidad y variantes fenológicas.....	55
3.7	Conclusiones.....	55
3.8	Literatura citada.....	56
4.	RADIACIÓN GAMMA CON ^{60}Co EN SEMILLAS DE MARAVILLA PARA INDUCIR VARIACIÓN MORFOLÓGICA Y SELECCIÓN DE MUTANTES EN LA GENERACIÓN M_2	60
4.1	RESUMEN GENERAL.....	60
4.2	ABSTRACT.....	61
4.3.	Introducción.....	62
4.4	Materiales y Métodos.....	63
4.4.1	Material utilizado.....	63
4.4.2	Germinación y selección de plantas mutantes (generación M_1).....	63
4.4.3	Variación morfológica y selección de mutantes (generación M_2).....	64
4.4.4	Diseño experimental.....	65
4.5	Resultados y discusión.....	65
4.5.1	Criterios de Selección (generación M_1).....	65
4.6	Conclusiones.....	78
4.7	Literatura citada.....	80
5.	PRUEBA DE DOSIS LETAL 50 EN MARAVILLA ESTIMACIÓN DE LA DL50 CON RAYOS GAMMA (^{60}Co) EN SEMILLAS DE MARAVILLA	83
5.1.	RESUMEN GENERAL.....	83
5.2.	ABSTRACT.....	84
5.3.	Introducción.....	85
5.4.	Materiales y Métodos.....	86
5.4.1.	Material vegetal.....	86

5.4.2	Irradiación gamma	86
5.4.3	Diseño experimental.....	87
5.4.4	Variables evaluadas.....	87
5.4.5	Condiciones de siembra.....	87
5.5.	Resultados y discusión.....	88
5.6.	Conclusión y recomendación	91
5.7	Literatura citada	92

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Fases fenológicas en <i>Mirabilis jalapa</i> L. según Valdez – Hernández (2006)..	6
Cuadro 2 Efectos de la radiación gamma de ^{60}Co en la inducción de mutaciones y los cambios en las características fitoquímicas y agronómicas en diversas especies vegetales.	19
Cuadro 3 Continuación. Cuadro 2	20
Cuadro 4 Continuación. Cuadro 2	21
Cuadro 5 Características morfológicas evaluadas en la plántula de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	37
Cuadro 6 Características generales de la planta adulta de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	37
Cuadro 7 Características morfológicas del tallo y brotes laterales en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	37
Cuadro 8 Características morfológicas y cromáticas de la hoja en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	38
Cuadro 9 Características fenológicas de precocidad en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	38
Cuadro 10 Características morfológicas de la flor en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	38
Cuadro 11 Características morfológicas de la hoja en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	39
Cuadro 12 Características morfológicas de la raíz en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	39
Cuadro 13 Características morfológicas de plántulas evaluadas en etapa de cotiledones en plantas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	40
Cuadro 14 Pigmentación en los cotiledones: Característica Núm. 1: Izquierda: Plántula que no presenta coloración púrpura en los cotiledones e hipocótilo. Derecha: Plántula que sí presenta dicha pigmentación.	40
Cuadro 15 Pigmentación en el hipocótilo: Característica Núm. 3. Izquierda: plántula que no presenta coloración en los cotiledones e hipocótilo. Derecha: Plántula que sí presenta pigmentación.	41
Cuadro 16 Características morfológicas generales evaluadas en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	41
Cuadro 17 Hábito de crecimiento: Característica Núm. 5. Izquierda: Planta de porte erecto. Centro: Planta de porte postrado o rastroso. sus tallos tocan el piso. Derecha: Planta con porte abierto con forma de abanico.....	42
Cuadro 18 Características morfológicas del tallo evaluadas en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	42
Cuadro 19 Color del tallo: Característica Núm. 9. Izquierda; Planta con tallo color verde. Centro. Planta con tallo de color verde con tintes rojizos. Derecha: Planta con tallo de color púrpura.	43

Cuadro 20 Presencia de pigmentación secundaria: Característica Núm. 10 Izquierda; Planta con pigmentación en los tallos o nudos ausente. Derecha: Planta con pigmentación púrpura.....	43
Cuadro 21 Ramificación: Característica Núm. 11. Izquierda; Planta con baja ramificación. Centro. Planta con ramificación moderada. Derecha: Planta con ramificación fuerte.....	44
Cuadro 22 Presencia de pubescencia: Característica Núm. 12. Izquierda; Planta con pubescencia ausente. Derecha: Planta con pubescencia presente.	44
Cuadro 23 Características morfológicas en las hojas evaluadas en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	45
Cuadro 24 Forma del limbo. Característica Núm. 17. Izquierda: Hojas con forma ovalada. Centro: Hojas con forma ovado – lanceoladas. Derecha: Hojas con forma lanceolada.	46
Cuadro 25 Variegación en las hojas: Característica Núm. 18 Izquierda: Hojas variegación ausente. Derecha: Hojas con variegación presente.	46
Cuadro 26 Intensidad del color del haz de las hojas: Característica Núm. No 19. Izquierda: Hojas de color verde claro. Centro: Hojas de color verde medio. Derecha: Hojas de color verde oscuro.....	47
Cuadro 27 Color púrpura en el envés de las hojas: Característica Núm. 20 Izquierda: Envés de las hojas con pigmentación ausente. Derecha: Color del envés de las hojas con pigmentación presente.	47
Cuadro 28 Forma de la base del limbo: Característica Núm. 21. Izquierda: Base del limbo de las hojas con forma redondeada; Derecha: Base del limbo de las hojas con forma subcordada, o forma de corazón.....	48
Cuadro 29 Características morfológicas de la inflorescencia evaluadas en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	48
Cuadro 30 Características morfológicas de la flor evaluadas en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	49
Cuadro 31 Color del tubo floral: Característica Núm. 26. Izquierda: Color del tubo floral diferente al de la corola. Derecha: Color del tubo floral igual al de la corola.	50
Cuadro 32 Profundidad del lobulado: Característica Núm. 27. Izquierda: el borde de la flor es casi liso, Centro: margen que presenta incisiones o hendiduras que no superan la mitad del radio. Derecha: Margen con incisiones muy profundas que pueden alcanzar o superar la mitad del radio.....	50
Cuadro 33 Ejemplos del color principal, secundario y terciario en la corola / Carta de colores RHS: Característica Núm. 29,30 y 31.....	51
Cuadro 34 Distribución del color secundario: Característica Núm. No 32 y 33 Izquierda: Uniforme (El color secundario o terciario es igual al color primario) Centro: Patina (Diferente tono cromático que se presenta como una tenue capa sobre el color primario) Derecha: Manchado (Con grandes manchas irregulares del color secundaria claramente delimitadas en los pétalos).	52

Cuadro 35 Características morfológicas evaluadas de los órganos sexuales de plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	52
Cuadro 36 Color del estambre y el estigma: Característica Núm. 34 y 35 Izquierda: Antera y pistilos blancos. Centro: Antera y pistilos amarillos. Derecha: Antera y pistilos rosas.....	52
Cuadro 37 Características morfológicas de la semilla evaluadas en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	53
Cuadro 38 Características morfológicas de la raíz evaluadas en plantas adultas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	53
Cuadro 39 Forma de la raíz: Característica Núm. 37. Izquierda: Raíz con forma esférica. Centro: Raíz con forma cónica a cilíndrica. Derecha: Raíz con forma cilíndrica.	53
Cuadro 40 Variables morfológicas evaluadas en la generación M ₂ frente a la población inicial	65
Cuadro 41 Perfil sociodemográfico y criterios de preferencia ornamental de los encuestados sobre <i>Mirabilis jalapa</i> L.	68
Cuadro 43... continuación Cuadro 39	70
Cuadro 44 Detalles de las características seleccionadas en las plantas #1 (MIRJAL M ₁ -200A) 200Gy y en la planta #2 (MIRJAL M ₁ -300A) 300 Gy.....	71
Cuadro 45 Detalles de las características seleccionadas en las plantas #3 (MIRJAL M ₁ -300B) 300Gy y en la planta #4 (MIRJAL M ₁ -300C) 300Gy	72
Cuadro 46 Detalles de las características seleccionadas en las plantas #5 (MIRJAL M ₁ -400A) 400Gy y en la planta #6 (MIRJAL M ₁ -500A) 500Gy.....	73
Cuadro 47 Resumen del análisis de varianza (ANOVA) para características morfológicas en la generación M ₂ de <i>Mirabilis jalapa</i> L. F de tablas = 3.84.....	74
Cuadro 48 Comparación de medias de características morfológicas de <i>Mirabilis jalapa</i> L. tratados con radiación gamma frente al testigo, Utilizando la prueba de Dunnett. $\alpha = 0.05$	75
Cuadro 49 Caracterización morfológica de los fenotipos seleccionados en la generación M ₂ de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplos de variantes radio inducidas en la forma de la hoja, en plantas de la generación M ₁ de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	71
Figura 2. Análisis de la variabilidad fenotípica de <i>Mirabilis jalapa</i> L. y efecto de la dosis de radiación gamma sobre nueve caracteres morfológicos de la generación M ₂	76
Figura 3... Continúa Figura 2.....	77
Figura 4. Porcentaje de germinación en diferentes dosis de ⁶⁰ Co en semillas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	88

Figura 5. Porcentaje de supervivencia en diferentes dosis de ^{60}Co en semillas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.....	89
Figura 6. Promedio de altura en diferentes dosis de ^{60}Co en semillas de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	90

DEDICATORIA

A mis padres, María Patricia Domínguez García y Juan Carlos Cano Salgado, quienes siempre me han enseñado que vale la pena esforzarse por todo aquello a lo que aspiramos, gracias por su apoyo y compañía durante esta etapa de mi vida.

A mis hermanos, a mis tías, a mi primo y a mis abuelos que siempre estuvieron para mí, brindándome el ejemplo y las palabras de aliento para salir adelante.

A mis amigos y colegas que celebran mis logros y me motivan a superarme día con día.

Somos una familia muy grande.

AGRADECIMIENTOS

Al CONAHCYT Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría.

A la UACH Universidad Autónoma Chapingo por haberme formado desde nivel medio superior y concederme la oportunidad de continuar mi desarrollo en la Maestría en Ciencias en Horticultura.

Al ININ Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares por brindarme el apoyo en esta investigación.

Al Dr. Rogelio Castro Brindis, por su valiosa disposición para dirigir este trabajo,

A la Dra. Ma. de Jesús Juárez Hernández, por sus recomendaciones para la adecuada elaboración de la tesis.

Al M.C José Merced Mejía Muñoz, por su apoyo en la revisión y redacción de la tesis.

Al Dr. Eulogio de la Cruz Torres por sus consejos y apoyo en la elaboración de este trabajo.

A mis profesores del Posgrado, por todos los conocimientos y experiencias brindadas.

Al personal del Departamento de Fitotecnia, gracias por su apoyo brindado en el trabajo de laboratorio.

A mis amigos y familiares, en especial a todos aquellos que me acompañaron a realizar las colectas de semillas.



DATOS BIOGRÁFICOS

Datos Personales:

Nombre: Manuel Alejandro Cano Domínguez

Fecha de nacimiento: 6 de Julio de 1997

Lugar de nacimiento: Texcoco, Estado de México

CURP: CADM970706HMCNMMN04

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia

Cédula profesional: 13975194

Desarrollo académico

Bachillerato: Universidad Autónoma Chapingo – Preparatoria Agrícola. 2015-2018 Texcoco, Estado de México, México.

Licenciatura: Ingeniería Agronómica Especialista en Fitotecnia. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 2018-2022. Texcoco, Estado de México, México.

Posgrado: Maestría en Ciencias en Horticultura. Coordinación de Estudios de Posgrado. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 2024-2026. Texcoco, Estado de México, México.

RESUMEN GENERAL

MEJORAMIENTO GENÉTICO EN *Mirabilis jalapa* L.

El proyecto aborda el mejoramiento genético de *M. jalapa* mediante la inducción de mutaciones con radiación gamma de ^{60}Co . También llamada Cuatro en punto, Maravilla o Don Diego de noche, esta especie se distribuye en el territorio mexicano y posee un alto valor ornamental, medicinal y de fitorremediación, aunque su potencial no ha sido completamente explotado en ninguna de estas industrias. Para conocer la diversidad fenotípica de la especie se realizó una caracterización morfológica y se propusieron 37 descriptores. Se realizó una prueba de dosimetría con diferentes dosis de ^{60}Co . No se pudo estimar la dosis letal DL50 a causa de la baja germinación de las semillas. Se conservaron las plantas sobrevivientes de la generación M₁ y se mantuvieron hasta la etapa reproductiva, donde se seleccionaron seis fenotipos, en función de su vigor, morfología y expresión de rasgos con potencial ornamental. La selección se orientó por una encuesta en línea que priorizó fenotipos compactos, medianos y con quimerismo floral. Se seleccionaron con el fin de auto fecundarse y obtener la siguiente generación experimental. El análisis estadístico en la generación M₂ confirmó el efecto de la radiación en seis de las nueve características evaluadas, la altura de la planta y la distancia entre nudos fueron los valores más significativamente alterados respecto al testigo. Este resultado logró el objetivo de obtener fenotipos más compactos y densos, ideales para su uso como planta de contenedor al seleccionar tres fenotipos de la M₂ con potencial para registrarse como nuevas variedades ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.

Palabras clave: Mutagénesis, radiación gamma, variabilidad genética, ornamentales, nativas

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Manuel Alejandro Cano Domínguez

Director de Tesis: Dr. Rogelio Castro Brindis

GENERAL ABSTRACT

GENETIC IMPROVEMENT IN *Mirabilis jalapa* L.

This project addresses the genetic improvement of *Mirabilis jalapa* through mutation induction using gamma radiation from ^{60}Co . This species, also known as Cuatro en punto, Maravilla or Don Diego de Noche, is widely distributed in Mexico and possesses ornamental, medicinal, and phytoremediation value, yet its potential has not been fully proposed in any associated industry. To examine its phenotypic diversity, a morphological characterization was conducted using 37 descriptors. A dosimetry test was carried out with several doses of ^{60}Co . The LD50 could not be estimated because irradiated seeds exhibited very low germination. Plants that survived irradiation formed the M_1 generation and were maintained until the reproductive stage, where selection was performed based on vigor, morphological characteristics, and expression of ornamental traits. The selection process incorporated producer preferences obtained through a survey, which emphasized compact, medium-sized plants and floral chimerism. Selected plants were self-fertilized to produce the M_2 generation for experimental evaluation. Statistical analysis of the M_2 generation confirmed radiation effects in six of the nine evaluated traits. Plant height and internode length showed the most significant modifications relative to the control. The improvement process resulted in compact and dense phenotypes suitable for container production. Three phenotypes from the M_2 population exhibited characteristics consistent with potential registration as new varieties in the National Seed Inspection and Certification Service.

Keywords: Mutagenesis, gamma radiation, genetic variability, ornamental, native

Thesis of Master in Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Manuel Alejandro Cano Domínguez

Advisor: Dr. Rogelio Castro Brindis

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Mirabilis* incluye 55 a 57 especies aceptadas (Hernández-Ledesma, 2011) de la familia Nictaginácea (Judd et al., 2016). *M. jalapa* L. es una especie nativa de México, con un amplio potencial ornamental, medicinal y fitorremediador (Al-Snafi et al., 2021; Cen et al., 2016; Liya et al., 2021; MV & Rajashekhar, 2022; Peiris et al., 2022; Peng et al., 2009).

Este género se distribuye en gran parte del continente americano y en México se encuentra en todo el territorio (Hernández-Ledesma, 2011). Sin embargo, a pesar de su diversidad genética y posibles usos, la especie no ha sido explorada completamente, y su aprovechamiento como recurso fitogenético es casi nulo en el mercado. En el sector ornamental, a pesar de contar con un amplio catálogo de recursos genéticos, el país ha optado por utilizar especies de fama internacional, lo que aumenta los desafíos a los que se enfrenta el material nativo, como la escasa caracterización del germoplasma o la falta de registro de materiales que impulsen programas formales de conservación y mejoramiento genético (Gámez-Montiel et al., 2017).

En este contexto, la mutagénesis inducida emerge como una estrategia viable para aumentar el uso de *M. jalapa* L. en la población como planta ornamental, sumado a la urgencia de obtener fenotipos novedosos que satisfagan la demanda hortícola. La mutagénesis es una técnica utilizada para generar variabilidad genética por medio de mutaciones inducidas con diferentes mutágenos químicos, físicos, o biológicos, que provocan alteraciones estructurales en el ADN (FAO/IAEA, 2024).

La radiación gamma es un tipo de radiación ionizante de muy alta energía y frecuencia, generada por la desintegración de núcleos atómicos radiactivos (FAO/IAEA, 2024). La irradiación aumenta la tasa de mutación natural de 1000 a

1 millón de veces, a causa de daños directos e indirectos (Spencer et al., 2021; Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020).

La mutagénesis por radiación gamma es una de las técnicas más utilizadas en mejoramiento genético por mutaciones, actualmente se han registrado 3448 especies (FAO/IAEA, 2024).

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Generar variabilidad genética en *Mirabilis jalapa* L. mediante mutagénesis con radiación gamma de ^{60}Co para seleccionar y caracterizar morfológicamente genotipos con valor ornamental.

1.1.2. Objetivos particulares

Estimar los límites preliminares de radiosensibilidad (DL_{50}) de las semillas de *Mirabilis jalapa* L. a la radiación gamma con ^{60}Co a través de porcentajes de germinación y porcentaje de supervivencia.

Proponer una caracterización morfológica para el material nativo de *Mirabilis jalapa* L. a través de descriptores aplicados a cada órgano presente en la planta considerando sus diferentes niveles de plasticidad fenotípica.

Seleccionar fenotipos con potencial ornamental en plantas de la generación M_2 de *Mirabilis jalapa* L. irradiadas con ^{60}Co , mediante su caracterización morfológica y comparación con la población parental M_0 , para identificar variantes con atributos estéticos sobresalientes.

1.2. Hipótesis

La inducción de mutaciones en semillas de *Mirabilis jalapa* L. mediante dosis crecientes de radiación gamma de ^{60}Co genera variabilidad genética. Esta variabilidad posibilita la identificación y caracterización de genotipos con atributos morfológicos de valor ornamental superior en la generación M_2 respecto a la población parental M_0 .

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 *Mirabilis jalapa* L.

2.1.1 Taxonomía

Su taxonomía según (Hernández-Ledesma et al., 2015).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Nyctaginaceae

Tribu: Nyctagineae

Género: *Mirabilis*

Especie: *Mirabilis jalapa* L.

2.1.2 Origen y distribución

La familia Nyctaginaceae se distribuye en los trópicos y otras regiones cálidas del mundo, principalmente en el neotrópico y zonas áridas de Norteamérica (Stevens, 2001; Douglas & Spellenberg, 2010; Judd et al., 2016). Actualmente se reconocen siete tribus para esta familia: *Leucastereae*, *Boldoeae*, *Colignonieae*, *Bougainvilleae*, *Pisonieae*, *Nyctagineae* y *Caribeeae* (Douglas & Spellenberg, 2010), con un total aproximado de 31 géneros y 300 - 405 especies (Stevens, 2001; Hernández-Ledesma et al., 2015; Judd et al., 2016). Entre los géneros con mayor número de especies se encuentra *Neea* (80-85 especies), *Guapira* (60-70 especies) y *Mirabilis* (50-55 especies) (Stevens, 2001; Judd et al., 2016). Varias especies de los géneros *Abronia*, *Bougainvillea* y *Mirabilis* son cultivadas como plantas ornamentales en diversas partes del mundo (Judd et al., 2016). En México, se registra la presencia de esta familia, 18 géneros y alrededor de 110 especies dentro del país (Villaseñor & Espinosa-García, 2004; Le Duc, 1993; Villaseñor, 2016).

El género *Mirabilis* pertenece a la familia Nyctaginaceae e incluye de 55 a 57 especies aceptadas (Hernández-Ledesma, 2011). Distribuidas principalmente en regiones templadas y tropicales de América (Spellenberg, 2003). Históricamente, se han presentado problemas para clasificar a los miembros de la familia Nyctaginaceae y a las especies de *Mirabilis* en particular, siendo Spellenberg

(2001) quien sintetizó la historia taxonómica del género, aunque todavía muchos autores lo contradicen.

En México, el género *Mirabilis* está representado por 31 especies, lo que corresponde a 56.36 % del total de las especies aceptadas. El país representa el territorio con mayor diversidad de especies, seguido por EE. UU. (21 especies). En México 14 especies son endémicas, lo que constituye 45 % de las 31 especies, siendo también México el país con el mayor número de especies endémicas. (Hernández-Ledesma et al., 2011).

La especie mayormente distribuida en México y la más conocida por la población es *M. jalapa* L. encontrándose en todo el territorio. (Hernández-Ledesma et al., 2023), comúnmente es llamada: Maravilla, Maravilla del Perú, Don Diego de noche, Jasmín rústico, y en otros idiomas se conoce como: Inglés: beauty-of-the-night, false jalap, cuatro en punto; Árabe: Shab Al-Leil, Al-Shab A-Ildhareef, Lala Abbas; Chino: zimo li; Francés: belle-de-nuit, Italiano: bella di note; Japonés: oshiroi-bana; Persa: Lalehabbasi; Turco: Akşamsefas, esta planta actualmente se encuentra cultivada en muchas partes del mundo (Brittich & Kuhn, 1993). Pero en algunas partes de México es considerada como una maleza o planta no deseada (Mondragón Pichardo & Vibrans, 2009).

2.1.3 Descripción botánica

Su nombre científico deriva del latín *Mirabilis* que significa admirable, maravilloso, sorprendente, en referencia a la variedad de colores que presentan las flores en una misma planta. Arzaba (2017) mencionó que el epíteto específico *jalapa* se refiere a la creencia de que de la raíz se obtenía la jalapa, un compuesto purgante que se extrae de la verdadera jalapa (*Ipomea purga*) una especie de la familia Convolvulácea.

Es una hierba más o menos robusta, algunos autores sugieren que es una especie anual; sin embargo, la planta se considera como perenne, ya que el dato de ser una planta anual proviene de ejemplares que se colectaron sin raíz o colectados durante su primer periodo de crecimiento, ya que la parte aérea de la planta muere después de este periodo, y la raíz continúa su desarrollo

llegando a ser muy tuberosa y de varios kilos de peso (Hernández-Ledesma et al., 2011). La planta alcanza de 0.60 a 1.5 m de altura, puede ser pubescente o glabra; con raíces gruesas y tuberosas; de tallos muy ramificados, con las ramas erectas o ascendentes; sus hojas son pecioladas, o las superiores sésiles, ovadas, de 4 a 13 cm de longitud por 1 a 8.5 cm de ancho, de ápice agudo o atenuado, con base redondeada o subcordada, frecuentemente ciliadas, a veces pubescentes (Calderón & Rzedowsky, 2001). Las hojas pueden ser variegadas, con manchas de color amarillo claro o blanco, así como el verde normal. Sus pedúnculos casi siempre miden de 1 a 2 mm de largo y sostiene numerosas flores aglomeradas en cimas en los extremos de las ramas; frecuentemente se encuentran rodeadas de hojas reducidas, el involucro es calicino campanulado, de 5 a 15 mm de largo, los lóbulos de la flor son tan largos como el tubo o un poco más cortos, el perianto mide de 3 a 5.5 cm de largo, es de colores variegados (sobre todas las formas cultivadas): morado, rojo, rosa, amarillo, blanco (Martínez, 1987). El limbo de la flor es expandido penta lobulado de 2 a 3.5 cm de ancho. Contiene 5 estambres ligeramente exertos, el antocarpio es obovoide u ovalado, de 7 a 9 mm de largo, algo rugoso y pentangulado, de color oscuro o negro, glabro o piberrulento (Calderón & Rzedowsky, 2001). El ovario es superó con un solo carpelo y un óvulo basal, las anteras pueden estar por debajo, a nivel o arriba del estigma y la coloración de la corola, cómo se mencionó es muy amplia, ocupando casi todo el espectro visible, exceptuando los azules (Hernández-Ledesma et al., 2011).

2.1.4 Fenología, ciclo de vida y estrategias reproductivas

Con respecto a la fenología existe muy poca información, sin embargo, Valdez-Hernández (2006); realizó una propuesta para identificar las etapas por las que atraviesa esta especie en su ciclo biológico, para entender su desarrollo y crecimiento se realiza una separación en cinco etapas principales, la razón de esto es que en la planta pueden ocurrir por separado o simultáneamente estos eventos, los cuales alargan o acortan el ciclo de las distintas fases o la vida de la planta (Cuadro 1).

Cuadro 1 Fases fenológicas en *Mirabilis jalapa* L. según Valdez – Hernández (2006).

Germinación: Ocurre a los 20-30 DDS. Inicia en la siembra y termina con la presencia de las primeras hojas verdaderas.
Etapas vegetativas: Enfocándose en el tallo principal, esta etapa puede durar hasta 80- 140 DDS.
Etapas vegetativas de brotes laterales: Inicia junto con el crecimiento vegetativo y es poco uniforme, aun en floración las ramas basales presentan desarrollo de brotes laterales.
Etapas reproductivas: Desde los primordios hasta la floración plena. Depende mucho de las poblaciones, puede iniciar desde los 80DDS hasta los 170 DDS.
Etapas de formación de semilla: Se estima que el tiempo de antesis a madurez de fruto oscila entre los 20 a 30 días.
Etapas de senescencia de la planta; Inicia con la clorosis de las hojas, a los 190-210 DDS, aunque se considera que el término periodo es determinante para estas etapas.
DDS: Días después de la siembra.

Las flores de *Mirabilis jalapa* L. comienzan a abrirse alrededor de las 16:30 horas y para las 18:00 horas la mayoría ya están completamente abiertas, durante este proceso, los estambres y el estigma, inicialmente doblados dentro de la flor, se desdoblan y las anteras valvadas liberan polen aproximadamente tres cuartos de hora después de la apertura de la flor (Martínez del Río, 1984).

La flor permanece abierta durante aproximadamente veinte horas, y se cierra a la mañana siguiente, comenzando este proceso a partir de las 07:00 horas, el cerrado sigue una secuencia ordenada: Primero, el estilo y los filamentos de los estambres se curvan hacia el interior del cáliz, este movimiento pone en contacto las anteras abiertas con el estigma; si durante la noche el estigma no ha recibido polen de otra flor, este contacto interno facilita la autopolinización., no obstante, no se ha encontrado diferencia significativa entre la polinización xenógama (por polen de otras flores) y la autógena (por polen de la misma flor) (Martínez del Río, 1984). Si el único óvulo es fecundado, se forma un fruto en la base globosa del cáliz y, después de unos días, la parte petaloide de la flor se desprende, en

cambio si este no es fecundado, toda la flor, incluida la base del cáliz y las brácteas circundantes, cae (Martínez del Río, 1984).

Durante la tarde, las plantas emiten un característico olor dulzón, similar a la esencia de maple (Brantjes, 1978). Aunque reportes históricos sugirieron que la flor era inodora (Cruden, 1973), análisis modernos (GC/MS) confirmaron que el (E)- β -ocimeno es el principal atrayente de polinizadores nocturnos (Effmert et al., 2005).

El número de cromosomas somáticos de la planta de *Mirabilis* es $2n = 58$. Los cromosomas son muy pequeños, y tres pares son más largos que los demás (Showalter, 1935).

El color característico de *Mirabilis jalapa* L. se debe a la presencia de pigmentos llamados betalaínas, los cuales están principalmente en las flores (Saez, 2009). Las betalaínas son solubles en agua y responsables de las tonalidades rojo-violeta y amarillo-naranja. Estos pigmentos nitrogenados, derivados del ácido betalámico, se encuentran exclusivamente en plantas del orden Caryophyllales, que incluye familias como las Cactáceae y Nyctaginaceae (Carmona et al., 2011), un hecho interesante es que las betalaínas y las antocianinas, otro tipo de pigmentos, no coexisten en las mismas plantas (Stafford, 1994). Esto sugiere una divergencia bioquímica que, aunque no se comprende completamente, tiene un gran valor taxonómico (Carmona et al., 2011).

En *Mirabilis jalapa* L., las betalaínas desempeñan funciones clave, como la protección contra el estrés ambiental y la atracción de polinizadores (Saez, 2009). Las flores presentan pigmentos amarillos, las betaxantinas, en todas sus células, mientras que las tonalidades violetas son producidas por betacianinas, cuya estructura se basa en la betanidina, y se limitan a la epidermis de ciertos órganos vegetales como el hipocótilo, los nudos de los tallos y los peciolo de las hojas (Van Kester et al., 1975).

Además de su función visual, las betalaínas de *Mirabilis* presentan un comportamiento particular bajo ciertas condiciones lumínicas, cuando las flores

se exponen a luz azul, las betaxantinas muestran fluorescencia verde, mientras que las betacianinas no, este fenómeno podría influir en la interacción de la planta con sus polinizadores, lo que favorece la atracción de especies específicas (Carmona et al., 2011).

El color de las flores, determinado genéticamente, ha evolucionado mediante selección natural para adaptarse a las preferencias de sus polinizadores, esto resalta la importancia de la relación entre la planta y su entorno, donde la pigmentación juega un papel crucial en la reproducción y supervivencia de la especie (Sáez, 2013).

2.2 Recursos fitogenéticos

2.2.1 Importancia de la exploración y conservación de los recursos fitogenéticos en México

Los recursos fitogenéticos son el conjunto de material genético de origen vegetal que posee un valor real o potencial para la humanidad, estos incluyen tanto a especies cultivadas y silvestres, como también a aquellos materiales obtenidos mediante el mejoramiento genético (FAO, 2012). Son necesarios para la biodiversidad y útiles para la producción de alimentos, fibras, medicinas, aceites, maderas, y otros productos (Molina-Moreno et al., 2006).

Definir cuantas especies existen en el mundo es un proceso complicado y aún no tiene una respuesta definitiva debido a la enorme biodiversidad existente y al hecho de que existen diversas especies que permanecen aún sin descubrir (Mora et al., 2011). Actualmente la ciencia ha descrito aproximadamente entre 1.5 y 2 millones de especies en el mundo, de las cuales aproximadamente 300,000 son plantas (Cepeda-Cornejo, 2021).

En México, se estima que existen alrededor de 30,000 especies vegetales, distribuidas en 2,410 géneros y 220 familias (Rzedowski, 1991; Alanís et al., 2004). De estas especies, aproximadamente entre 9,000 y 10,000 son utilizadas de alguna forma (Rzedowski, 1995). Desde tiempos antiguos y en la actualidad distintos grupos y culturas desarrollan técnicas para poder manejar sus recursos

bióticos y sus ecosistemas, estas técnicas conducen a la domesticación vegetal y animal (MacNeish, 1992).

Entendamos como domesticación al proceso de selección genética continuo (consciente o inconsciente) ejercida por los humanos a una especie silvestre, esto implica que a través del tiempo se modifica el esquema genético resultante de procesos de selección natural y se adapta a condiciones manejadas en favor de los propósitos antropocéntricos (Hernández, 1985; Gepts et al., 2002). Normalmente este proceso genera cambios morfológicos, fisiológicos y genéticos (Guillén, 2010). La base del interés en los recursos fitogenéticos se basa en el consumidor, el usuario, su curiosidad, gustos y sus necesidades (Leszczynska-Borys & Borys, 1994).

Las plantas silvestres desempeñan un papel crucial en la transformación hacia cultivos con valor económico debido a la rica diversidad genética que poseen vivir en condiciones naturales y estar sujetas a la presión de la selección natural, estas plantas han desarrollado características únicas que las hacen resistentes a condiciones adversas como la sequía, temperaturas extremas y diversas enfermedades (Weiss, 2002). Esta diversidad genética es un recurso invaluable, ya que dichas características también pueden transferirse a cultivos domesticados mediante cruzamientos con sus parientes silvestres (Weiss, 2002). Este proceso no solo permite mejorar la resiliencia de los cultivos, sino que también representa una estrategia clave para afrontar los desafíos de la agricultura en el futuro (Hufford et al., 2012).

El proceso de transformar una planta nativa en un cultivo con valor económico es un esfuerzo integral que combina la conservación de la biodiversidad con la innovación agrícola (Weiss, 2002). Este proceso se desarrolla a través de varias etapas (Canto, 1997). Comienza con la selección del material silvestre, el cultivo incipiente y finaliza con la agricultura avanzada (León, 1987). Tradicionalmente los agricultores han manipulado, seleccionado y utilizado las diferencias que han logrado percibir entre las distintas poblaciones de plantas, estas diferencias están en la morfología, la productividad, la confiabilidad, la calidad, la resistencia a

plagas y otras características similares, incluyendo la variabilidad (Jarvis, 2010). Sin embargo, este proceso más allá del mejoramiento genético de una especie conlleva una cierta atención a la conservación de los recursos fitogenéticos, tanto *in situ* como *ex situ* (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, 2020).

A pesar de la falta de estadísticas oficiales sobre muchas especies silvestres en México (Gámez-Montiel et al., 2017), existe un amplio potencial en el material genético que estas plantas ofrecen. Este material tiene grandes posibilidades de ser trabajado y aprovechado en el comercio de la horticultura, abriendo nuevas oportunidades para la innovación en el sector agrícola (Munguía-Lino et al., 2010).

Existe una amplia biodiversidad de plantas con variantes genéticas únicas que actualmente no se usan a gran escala por razones comerciales, sin embargo, estas especies son un banco de genes (FAO, 2019). Para evitar el largo y costoso proceso del mejoramiento tradicional, se puede recurrir a la mutagénesis inducida con radiación gamma una vía más rápida para lograr su mejoramiento genético (Riviello-Flores et al., 2022).

2.2.2 Valor y potencial de *Mirabilis jalapa* L. en la horticultura y su mejoramiento genético

2.2.2.1 Ornamental

Uno de los campos más destacados de estos recursos es en el sector de las plantas ornamentales, el cual ha demostrado un notable potencial para contribuir al desarrollo social y económico de distintos países como es el caso de México (Gámez-Montiel et al., 2017).

La ornamentación en plantas se define como aquello que por sus cualidades estéticas se utiliza para adornar el entorno más inmediato o lugares comunes que por diversos motivos son decorados, las cualidades por la que son escogidos como ornamentales, no tiene un valor cuantitativo, sino que su apreciación es subjetiva, este concepto es relativo, y varía a través del tiempo y el espacio donde se defina (Corona et al., 2006; Rendón, 2007).

En México el enorme potencial ornamental que se tiene en el país, hasta la fecha no se ha aprovechado en toda su magnitud (Gámez-Montiel et al., 2017). El potencial genético real de las plantas ornamentales es en gran medida desconocido, a pesar de la vasta información existente, esta se encuentra fragmentada y dispersa en la literatura científica (Langman, 1964). Según una estimación de Krause & Lislecka (1983) citado en Borys & Leszczyńska-Borys (1992), la flora mexicana ha contribuido con 1,400 especies a la horticultura ornamental mundial, lo que representa apenas el 4.7 % del total de especies con potencial ornamental estimadas en México (Rzedowski, 1992). Aunque en el país se hayan formado redes de conservación y aprovechamiento sostenible de nuestros recursos, aún existen diversas problemáticas en el sector ornamental: desde la producción de semillas, que no se producen en México, el registro de materiales en la Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales y en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) así como la caracterización del material vegetal resguardado en los Centros de Conservación (Gámez-Montiel et al., 2017).

Las plantas ornamentales no solo embellecen espacios, sino que también cumplen una amplia gama de funciones que incluyen valor ambiental, artesanal, medicinal, industrial, alimenticio, maderable, manejo de plagas, muchas especies tienen un papel relevante en contextos sociales y religiosos (Enciclovida, s.f.). El mejoramiento genético de estas plantas para la industria hortícola puede incorporar estos diversos intereses, a la vez que se promueve la conservación de los recursos genéticos (Leszczynska-Borys & Borys, 1994).

2.2.2.2 Medicinal

La planta *Mirabilis jalapa* L. se caracteriza por poseer numerosas propiedades biológicas y medicinales, lo que ha permitido su uso en diversas regiones del mundo para el tratamiento de múltiples enfermedades (Liya et al., 2021). En la medicina tradicional se emplean todas las partes de la planta para abordar distintas afecciones (Saha et al., 2020), y numerosos estudios han respaldado su potencial farmacológico, demostrando actividades antiinflamatorias, antimicrobianas, antioxidantes y antiparasitarias (Peiris et al., 2022).

En cuanto a su acción antiinflamatoria, se ha comprobado que diversos extractos de flores reducen significativamente el edema en modelos de artritis inducida en ratas, mientras que el extracto de hojas inhibe eficazmente la inflamación provocada por carragenina y formalina (Zhou et al., 2012; Augustine et al., 2013).

Respecto a su actividad antimicrobiana, distintos extractos han mostrado un potente efecto contra bacterias como *Staphylococcus aureus*, *Bacillus* spp., *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* y *Pseudomonas* spp., además de presentar actividad antifúngica frente a *Candida albicans* y *Aspergillus niger* (Peiris et al., 2022).

En lo que respecta a su acción antiviral, se han identificado proteínas ribosoma-inactivantes, conocidas como *Mirabilis Antiviral Protein* (MAP), que han demostrado inhibir virus de plantas, tales como el virus del mosaico del tabaco (TMV) y el virus del enrollamiento de la hoja de papa (PLRV), así como presentar actividad contra el herpes simple tipo 1 (HSV-1) y el virus de la estomatitis vesicular (VSV) (Wang et al., 2002; Vivanco et al., 1999; Ali et al., 1996; Wong et al., 1992; Takanami et al., 1990; Kubo et al., 1990; Ikeda et al., 1987).

Estudios sobre su potencial anticancerígeno han demostrado que ciertas proteínas aisladas de *M. jalapa* L. poseen actividad citotóxica contra líneas celulares de cáncer de mama y cérvix, lo que se traduce en una significativa reducción de la proliferación tumoral (Ali et al., 1996). Asimismo, los extractos de la planta han evidenciado propiedades cicatrizantes, promoviendo la regeneración tisular y acelerando la cicatrización de heridas (Gogoi et al., 2014; Vazir et al., 2016).

El potencial hipoglucemiante e hipolipidémico de *M. jalapa* L. ha sido corroborado en estudios con modelos de diabetes inducida mediante estreptozotocina, donde los extractos de raíz lograron disminuir notablemente los niveles de glucosa y colesterol (Victor et al., 2015; Zhou et al., 2012).

Por otro lado, se ha reportado un efecto antiparasitario, evidenciado tanto en modelos animales frente a *Plasmodium* como en la acción larvicida contra *Aedes aegypti* y *Anopheles stephensi* (Govindarajan et al., 2014).

Adicionalmente, algunos hallazgos sugieren que la planta podría tener propiedades anticonceptivas (Walker et al., 2008). Asimismo, el extracto acuoso de sus flores actúa como agente reductor, convirtiendo iones de oro (Au^{3+}) en nanopartículas de oro (Au^0) a partir de HAuCl_4 , mediante un método ecológico que permite sintetizar AuNPs de tamaño controlado (Bhatia et al., 2014). Finalmente, la actividad antihistamínica estudiada en ratones respalda el uso tradicional de *M. jalapa* L. en el tratamiento de enfermedades alérgicas y asma (Maxia et al., 2010).

2.2.2.3 Fitorremediación

La contaminación con sustancias tóxicas ha llevado al desarrollo de métodos físicos y químicos de limpieza que, aunque efectivos, resultan caros y pueden dañar el suelo, el agua y la vida (Padmavathiamma & Li, 2007). Una alternativa es la fitorremediación, que utiliza plantas y microorganismos para reducir la concentración de contaminantes mediante procesos bioquímicos (Delgadillo-López et al., 2011).

Esta técnica permite eliminar, transformar o estabilizar los contaminantes, algunas plantas, conocidas como “hiperacumuladoras” pueden concentrar altos niveles de metales como Cd, As, Co, Cu, Cr, Ni, Pb y Mn (Watanabe, 1997; Reeves et al., 1999; McGrath et al., 2001; Kamal et al., 2004; Yang et al., 2004; Reeves, 2006; Padmavathiamma & Li, 2007). Aunque tiene sus limitaciones, especialmente cuando el contaminante es muy tóxico para la planta, la fitorremediación ofrece ventajas como menores costos-mayor efectividad, captura de gases de efecto invernadero, aporte paisajístico y el uso de la luz solar como fuente de energía (Guendy, 2008).

Se ha observado que las plantas ornamentales, además de embellecer, pueden contribuir a la limpieza de entornos contaminados, aunque esta aplicación aún es

poco explorada, posee un propósito significativo y realista (Liu et al., 2006 & 2008).

En este contexto, *Mirabilis jalapa* L. destaca por su alto potencial fitorremediador, ya que demuestra una notable tolerancia a la contaminación por petróleo y favorece la degradación de hidrocarburos totales en suelos con concentraciones de hasta 10 000 mg kg⁻¹ (Peng, et al., 2009). Wang & Zhou (2005) encontraron que *Mirabilis jalapa* L. mostró una alta resistencia al Cd, y Wang (2005) informó que, al compararla con otras 14 especies cultivadas en macetas, *Mirabilis jalapa* L. toleró niveles de contaminación equivalentes a 10 mg kg⁻¹ de Cd y 500 mg kg⁻¹ de Pb, así como la presencia conjunta de estos metales con 400 mg kg⁻¹ de aceite diesel.

2.2.2.4 Alimenticia

Las flores de *Mirabilis jalapa* L. se emplean como colorante alimentario, ya que un tinte carmesí comestible extraído de ellas se utiliza para dar color a pasteles y gelatinas (Devi et al., 2011).

Por otro lado, Ramos (2014) señaló que *M. jalapa* L. contiene almidón de diámetro pequeño (aproximadamente 1 µm), lo que lo hace adecuado para su uso en la industria alimentaria como agente emulsionante, permitiendo la encapsulación de sabores, nutrientes, esencias y otras sustancias. Además, su alta capacidad de adsorción lo hace útil en las industrias cosmética y farmacéutica.

2.3 Estrategias y enfoques para el mejoramiento genético en *Mirabilis jalapa* L.

2.3.1 Selección

La selección es un proceso mediante el cual el mejorador identifica y reproduce los genotipos más favorables. Este método se fundamenta en dos principios esenciales:

1. Actúa únicamente sobre diferencias heredables.

2. No crea variabilidad, sino que aprovecha la ya presente en la población (Cabrera et al., 2002).

2.3.2 Mutagénesis física mediante radiación gamma

La mutagénesis es una técnica de mejoramiento genético, que consiste en inducir cambios en el ácido desoxirribonucleico (ADN). Se entiende como una mutación a cualquier modificación de la secuencia de nucleótidos del ADN de un individuo (Spencer et al., 2021).

En la naturaleza las mutaciones ocurren de manera natural, son llamadas mutaciones espontáneas y son un método de la evolución para aumentar la diversidad genética, estos cambios son completamente aleatorios y continúan con base en la selección natural (Spencer et al., 2021). Es probable que estas mutaciones espontáneas se deban a efecto de mutágenos naturales en el ambiente o errores en la replicación, reparación o recombinación del ADN (Spencer et al., 2021).

Un mutágeno es una sustancia química o un agente físico capaz de inducir cambios en el ADN (Nacional Human Genome Research Institute, 2024). El efecto de estas mutaciones puede clasificarse en somáticos o hereditarios; son somáticos si se manifiestan en el individuo expuesto y son hereditarios si se presentan en la descendencia del individuo mutante (Puerta-Ortiz, & Morales-Aramburo, 2020).

Durante las primeras décadas del desarrollo de la genética (1900-1930), los investigadores intentaron generar mutaciones de forma artificial sin éxito, comúnmente llamadas mutaciones inducidas, fue a través de diferentes descubrimientos como los rayos X y los diferentes trabajos, como los de Muller (1927) y Stadler (1928) que se logró tener éxito en este tipo de técnicas.

Para la industria florícola y ornamental resulta una herramienta útil a la hora de generar nuevas variedades (Canul-Ku et al., 2012). Los cambios en alguna de las diferentes partes de las plantas pueden resultar atractivas para el mercado aumentando su valor económico y ornamental (Qadeer et al., 2015). Actualmente

existen registros de 3448 variedades de plantas mutantes liberadas al mercado de las cuales 753 son cultivos ornamentales. (FAO/IAEA, 2024), por lo que se considera una herramienta exitosa (Datta, 2009).

2.3.2.1 Mutágenos físicos

Los mutágenos físicos comprenden todas las radiaciones nucleares y fuentes de radioactividad (Spencer et al., 2021). Estos se dividen en dos grandes categorías: radiación ionizante y no ionizante (Spencer et al., 2021).

La radiación es la propagación de la energía que se desplaza por el espacio de una forma que se puede describir como ondas o como un conjunto de partículas. (OAEA, 2024). Las radiaciones ionizantes comprenden a las ondas electromagnéticas de muy corta longitud de onda (rayos X y rayos Gamma), y a las partículas de alta energía como las partículas alfa, beta y neutrones (Sosa, 1969).

La radiación no ionizante es un tipo de radiación de baja energía que no puede eliminar electrones de átomos o moléculas, esto significa que no tiene la suficiente energía para ionizar la materia, por lo que no puede dañar el ADN de forma directa al atravesar tejidos vivos, un ejemplo de esto son los rayos UV, las ondas de radio y la luz visible (OAEA, 2024).

El uso de mutágenos físicos como la radiación presenta múltiples ventajas comparativas al mejoramiento genético tradicional: es eficaz en relación con los costos, rápida y sólida; además, su eficacia está comprobada, se puede replicar en cualquier lugar, no es peligrosa y no daña el medio ambiente, la irradiación aumenta la tasa de mutación natural de 1000 a 1 millón de veces (FAO/IAEA, 2024, Spencer et al., 2021).

2.3.2.2 Radiación gamma

La radiación gamma es un tipo de energía altamente penetrante que se propaga en forma de ondas electromagnéticas con longitudes de onda extremadamente cortas y altas frecuencias. Este tipo de radiación se produce durante los procesos nucleares como la desintegración radiactiva, normalmente suele ser emitido junto

a partículas alfa o beta, tiene la capacidad de interactuar con la materia, causando ionización al eliminar electrones de los átomos y moléculas (FAO/IAEA, 2024).

El principal radioisótopo utilizado en la radiación gamma es el Cobalto – 60 (^{60}Co) y en menor medida es el cesio-137 (^{137}Cs) y el plutonio-239 (^{239}Pu) (Mba, 2013; Udage, 2021).

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son la consecuencia de un número de fenómenos desencadenados por el pasaje de radiación a través de un medio (Puerta-Ortiz, & Morales-Aramburo, 2020).

Los efectos de la radiación se clasifican en efectos determinísticos y no determinísticos (o estocásticos), los primeros son aquellos que solo se manifiestan si la dosis de radiación supera un cierto nivel; la gravedad de estos efectos aumenta con la dosis y se presentan de manera predecible, por otro lado, los efectos no determinísticos son aquellos que no tienen un umbral de dosis y su probabilidad de ocurrencia aumenta con la dosis, pero la gravedad del efecto no es predecible (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020).

2.3.2.3 Efectos biológicos

El efecto biológico de las lesiones en el ADN depende de múltiples factores, como el tipo de partícula, la energía de la radiación incidente, la transferencia lineal de energía (LET, por sus siglas en inglés), así como la dosis y su distribución temporal en el medio biológico (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020).

Estas variables determinan la magnitud y naturaleza del daño, lo cual influye en la clasificación de los efectos como directos, causados por la interacción de la radiación con la molécula, o indirectos mediante la radiólisis del agua (Spencer et al., 2021; Riviello-Flores et al., 2022; Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020; Szwent, 2015).

Los daños al ADN por radiaciones ionizantes dependen de factores como las condiciones de irradiación, características del ADN y capacidad de reparación, los efectos incluyen fracturas simples y dobles de la cadena, alteraciones

estructurales de las bases nitrogenadas, sitios apurínicos y apirimidínicos (AP), daños al azúcar, uniones cruzadas (ADN-ADN o ADN-proteína) y rompimientos de puentes de hidrógeno, las fracturas dobles, causadas por dos rupturas simples cercanas, generan aberraciones cromosómicas, siendo responsables de los principales efectos mutagénicos y oncogénicos (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020).

Los radicales libres desempeñan un papel crucial al alterar químicamente las bases del ADN, lo que genera productos de adición, mutaciones y sitios AP, que pueden ser reparados o dar lugar a errores durante la duplicación del ADN, los efectos pueden manifestarse como desórdenes somáticos, carcinomas o taras genéticas en la descendencia (Leitão & Alcantara, 1994; UNSCEAR, 1994).

La respuesta celular incluye mecanismos de reparación como escisión de bases o nucleótidos, reparación de fracturas mediante recombinación homóloga o uniones de extremos no homólogos, estos procesos varían según la predisposición genética a la radiosensibilidad o radiorresistencia, explicando las diferencias entre poblaciones celulares (Wolff, 1991).

2.3.2.4 Aplicaciones exitosas del ^{60}Co en el mejoramiento genético

El cobalto es un metal de transición con número atómico $Z = 27$, químicamente es similar al hierro y al níquel, el isótopo estable y que se encuentra de manera natural es el ^{59}Co que, tras ser bombardeado con neutrones en un reactor nuclear, da lugar al isótopo radiactivo ^{60}Co , este nucleido es inestable y, mediante su decaimiento, emite una partícula beta y radiación gamma hasta transformarse en níquel estable ^{60}Ni (Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 2020).

El ^{60}Co se utiliza como fuente de rayos gamma en múltiples aplicaciones industriales, desde la esterilización de material médico hasta la irradiación de alimentos y especias, en el ámbito del mejoramiento genético, ha tenido éxito al generar mutaciones en materiales vegetales (Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 2020).

Algunos ejemplos de estudios previos en especies vegetales utilizando mutagénesis con ^{60}Co se muestran a continuación en el Cuadro 2, 3 y 4.

Cuadro 2 Efectos de la radiación gamma de ^{60}Co en la inducción de mutaciones y los cambios en las características fitoquímicas y agronómicas en diversas especies vegetales.

Especie	Material Irradiado	Dosis Clave (Gy)	Característica mejorada (Mutante)	Referencia
Agave (<i>Agave tequilana</i>)	Plántulas in vitro	20 Gy	Aumento en el contenido de fructosa y sacarosa en tallo, e incremento en la síntesis de fructooligosacáridos (FOS) con grados de polimerización de 3 a 5, sugiriendo la inducción de genes clave como 1-SST y 1-FFT.	(Ángeles-Espino et al., 2020)
Soya (<i>Glycine max</i>)	Semillas	100 Gy	Incremento en el número de vainas, ramas y semillas, además de un mayor contenido de proteína.	(Mohsen et al., 2023)
		200 Gy	Esta dosis aumento el contenido de aceite en la semilla.	(Mohsen et al., 2023)
Higo (<i>Ficus carica</i> cv. 'Sabz')	Esquejes	56 Gy	Determinación de la dosis óptima (GR50) para la reducción del 50 % del crecimiento en altura, valor crucial para inducir variabilidad sin letalidad excesiva.	(Ghasemi-Soloklui et al., 2025)
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Semillas	200 Gy	Obtención de la variante M-MS2-15-3 con menor altura (92.10 cm), mayor productividad (27.40 tallos, 91.00 g de semilla/planta) y menor edad de cosecha (88 días).	(Rachmawati et al., 2019)

Cuadro 3 Continuación. Cuadro 2

Especie	Material Irradiado	Dosis Clave (Gy)	Característica mejorada (Mutante)	Referencia
Jengibre (<i>Zingiber officinale</i>)	In vitro	56 Gy	Aumento en la concentración de gingeroles y mayor resistencia al hongo <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. zingiberi.	(Sharma et al., 2020)
Euphorbia (<i>Euphorbia fulgens</i>)	Semillas	300 Gy	Generación de individuos con diferentes colores de inflorescencias y mayor ramificación.	(Pérez-Nicolás et al., 2022)
Hibisco (<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	Esquejes	20 - 30 Gy	Obtención de tres variantes con modificaciones en la forma y color de las flores.	(Shamsudin et al., 2005)
Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	Semillas	2.5 Gy	Aumento en el peso de la raíz sin alterar los estándares comerciales.	(Yarar et al., 2022).
Adenium (<i>Adenium obesum</i>)	Semillas	6 Gy	Afectación en el crecimiento de biomasa y altura, un resultado que indica la sensibilidad de la especie y la necesidad de una dosimetría precisa.	(Astuti et al., 2020)
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>). cv. TEPOCA T-89)	Semillas	200 Gy	Inducción de modificaciones morfológicas estables en las generaciones M ₁ y M ₂ . Disminuye el contenido de Ca, Mg, Zn, proteína, humedad y ceniza, debido a la inhibición del crecimiento y absorción de nutrientes a dosis altas.	(Gómez et al., 2017)

Cuadro 4 Continuación. Cuadro 2

Especie	Material Irradiado	Dosis Clave (Gy)	Característica mejorada (Mutante)	Referencia
Uchuva/Golden Berry (<i>Physalis peruviana</i>)	Yemas axilares (<i>in vitro</i>)	100 Gy	Efecto hormético en el desarrollo morfológico	(Caro et al., 2012)
		200 Gy	indujo la mayor frecuencia de alteraciones cromosómicas (cromosomas rezagados).	(Caro et al., 2012)
Gerbera (<i>Gerbera jamesonii</i>)	Cultivos de callo y plántulas (<i>in vitro</i>)	20 Gy	Disminución gradual en la altura de las plantas. El peso fresco del callo se redujo al 76.4 % (control: 89.7 %), lo que indica una notable influencia de la dosis en la inhibición del crecimiento.	(Hasbullah et al., 2012)

2.4 Literatura citada

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2020). *Resumen de salud pública: Cobalto (reseña toxicológica para el cobalto, TP-33)*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs33.html
- Alanís, G. J., Velazco, C. G., Foroughbackhch, R., Valdéz, V., & Alvarado, M. A. (2004). Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo. *Ciencia UANL*, 7(2), 209–218.
- Ali, A. M., Mackeen, M. M., El-Sharkawy, S. H., Hamid, J. A., Ismail, N. H., Ahmad, F. B. H., & Lajis, N. H. (1996). Antiviral and cytotoxic activities of some plants used in Malaysian indigenous medicine. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 19(2–3), 129–136.
- Al-Snafi, A. E., Talab, T. A., Jabbar, W. M., & Alqahtani, A. M. (2021). Chemical constituents and pharmacological activities of *Mirabilis jalapa*—A review. *International Journal of Biological and Pharmaceutical Sciences Archive*, 1(2), 34–45. <https://doi.org/10.30574/ijbpsa.2021.1.2.0303>
- Ángeles-Espino, A., Dimas-Estrada, H. E., Ramírez-Alvarado, D., Cruz-Rubio, J. M., Palmeros-Suárez, P. A., & Gómez-Leyva, J. F. (2020). Caracterización molecular de mutantes de *Agave tequilana* inducidas con radiación gamma ^{60}Co y su efecto en la acumulación de fructooligosacáridos. *Acta Universitaria*, 30, e2696. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2696>
- Arzaba, C. (2017, 26 de abril). *De purgas y olvidos, el curioso caso de la raíz de Jalapa*. El Cuexcomate. <http://www.cuexcomate.com/2017/04/de-purgas-y-olvidos-el-curioso-caso-de.html>
- Astuti, S. D., Fina, W. F., Darmanto, W., Purnobasuki, H., Fitriyah, N., & Ama, F. (2020). Effects of ^{60}Co gamma ray ionizing radiation exposure on the variability of *Adenium obesum* growth. *Ecology, Environment and Conservation*, 26, S128–S134.
- Augustine, B. B., Dash, S., Lahkar, M., Lihite, R. J., Samudrala, P. K., & Pitta, S. (2013). Effect of *Mirabilis jalapa* Linn. flowers in experimentally induced arthritis and consecutive oxidative stress. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5(3), 190–193.
- Bittrich, V., & Kühn, U. (1993). Nyctaginaceae. En K. Kubitzki, J. G. Rohwer, & V. Bittrich (Eds.), *The families and genera of vascular plants: Vol. II. Flowering plants: Dicotyledons: Magnoliid, hamamelid and caryophyllid families* (pp. 469–478). Springer-Verlag.

- Brantjes, N. B. M. (1978). Sensory responses in night flying moths. En A. J. Richards (Ed.), *The pollination of flowers by insects* (pp. 131–139). Academic Press.
- Cabrera, F. A. V., & Salazar, E. I. E. (2002). *Mejoramiento genético de plantas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Campos-Bravo, E., Barrios-Gómez, E. J., de la Cruz-Torres, E., García-Andrade, J. M., Osuna-Canizalez, F. J., & Ramírez-Rojas, S. (2012). Efecto de la irradiación sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), 1495–1507.
- Carmona, F. G., Herrero, F. G., & Escribano, J. (2011). Flores fluorescentes. *Investigación y Ciencia*, (422), 10–11.
- Caro, M. D. P., Estupiñán, R. S. Y., Rache, C. L. Y., & Pacheco, M. J. C. (2012). Effect of gamma rays on vegetative buds of *Physalis peruviana* L. *Acta Agronómica*, 61(4), 305–314.
- Cen, Y., Li, Y., Jiao, H., Wang, X., & Bai, Z. (2016). Effect of *Mirabilis jalapa* (Linn.) growth on microbial community in bioremediation of petroleum-contaminated saline-alkali soil. *Agricultural Science & Technology*, 17(5), 1223–1227.
- Cepeda-Cornejo, V., & Cuautle-García, L. M. (2021). Los jardines botánicos reservorios de diversidad biológica. *Revista Tonantzin Tlalli de la FCB-BUAP*, 1(1), 26–31.
- Corona, V., & Chimal, A. (2006). *Plantas mexicanas con potencial ornamental*. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco.
- Cruden, R. W. (1973). Reproductive biology of weedy and cultivated *Mirabilis* (Nyctaginaceae). *American Journal of Botany*, 60(8), 802–809. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1973.tb07592.x>
- Datta, S. K. (2009). A report on 36 years of practical work on crop improvement through induced mutagenesis. En Q. Y. Shu (Ed.), *Induced plant mutations in the genomics era* (pp. 253–256). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612.
- Devi, S., Sunny, M., Janaipriya, N., Nagamani, S., Babu, T., & Vinupriya, S. (2011). Pharmacogenetical and phytochemical studies of *Mirabilis jalapa* Linn. *South Asian Journal of Biological Sciences*, 1(1), 1–6.

Douglas, N., & Spellenberg, R. (2010). A new tribal classification of Nyctaginaceae. *Taxon*, 59(3), 905–910. <https://doi.org/10.1002/tax.593018>

Effmert, U., Große, J., Röse, U. S., Ehrig, F., Kägi, R., & Piechulla, B. (2005). Volatile composition, emission pattern, and localization of floral scent emission in *Mirabilis jalapa* (Nyctaginaceae). *American Journal of Botany*, 92(1), 2–12. <https://doi.org/10.3732/ajb.92.1.2>

FAO. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture* (J. Bélanger & D. Pilling, Eds.). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. <https://doi.org/10.4060/ca3129en>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Organismo Internacional de Energía Atómica. (s.f.). *Nuclear techniques in food and agriculture*. <https://www.fao.org/agriculture/fao-iaea-nuclear-techniques/en>

Gámez-Montiel, O., Villavicencio-Gutiérrez, E., Serrato-Cruz, M. A., Mejía-Muñoz, J. M., Treviño-de Castro, M. G., Martínez-González, H. L., Rodríguez-Olvera, M., Granada-Carreto, L., Flores-Cruz, M., Reyes-Santiago, J., Islas-Luna, M. Á., Salomé-Castañeda, E., Menchaca-García, R. A., Espadas-Manrique, C. M., Hernández-Sandoval, L., Vázquez-García, L. M., Colinas-León, M. T. B., Martínez-Martínez, F., Vargas-Ponce, O., & Ríos-Santos, E. (2017). *Conservación y aprovechamiento sostenible de especies ornamentales nativas de México*. SNICS y Universidad Autónoma Chapingo.

Gepts, P., & Papa, R. (2002). Evolution during domestication. En *Encyclopedia of life sciences*. Macmillan Publishers Ltd.

Ghasemi-Soloklui, A. A., Kordrostami, M., & Jafari, M. (2025). Determination of optimal gamma radiation dose for mutation breeding in 'Sabz' fig (*Ficus carica* L.) cuttings... *PLoS One*, 20(1), e0313017.

Gogoi, J., Nakhuru, K. S., Chattopadhyay, P., Rai, A. K., & Veer, V. (2014). Hypertrophic scar formation on application of terpenoid fraction of tuberous root of *Mirabilis jalapa* L. on excision wound model in Wistar albino rats. *ISRN Otolaryngology*, 2014, 583730. <https://doi.org/10.1155/2014/583730>

Gómez, E., Aguilar, M. T., Mamani, N., Mamani, H. R., & Guzmán, B. (2017). Evaluación morfológica de las generaciones M1 y M2 de *Triticum aestivum* L. (trigo) provenientes de semilla irradiada con ⁶⁰Co y su efecto sobre la absorción de nutrientes y minerales. *Revista Boliviana de Química*, 34(1), 1–8.

Govindarajan, M., Ramya, A., & Sivakumar, R. (2014). Mosquito larvicidal properties of *Mirabilis jalapa* (Nyctaginaceae) against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* & *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Indian Journal of Medical Research*, 140(3), 438–440.

Guendy, M. (2008). Pigments and moisture contents in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, would be engines for monitoring biodegradation of petroleum contaminants in constructed wetlands. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2(4), 1068–1075.

Guillén, F. D. (2010). El proceso de domesticación en las plantas. *Casa del Tiempo*, 28, 66–70.

Hasbullah, N. A., Taha, R. M., Saleh, A., & Mahmad, N. (2012). Irradiation effect on in vitro organogenesis, callus growth and plantlet development of *Gerbera jamesonii*. *Horticultura Brasileira*, 30(2), 252–257.

Hernández X., E. (1985). Autobiografía. Xolocotzia: Obras de Efraím Hernández Xolocotzi. *Revista de Geografía Agrícola*, 15–23.

Hernández-Ledesma, P. (2018). Nyctaginaceae (Fascículo 197). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Hernández-Ledesma, P., & Flores-Olvera, H. (2023). El género *Mirabilis* (Nyctaginaceae) en México: Diversidad, distribución y tratamiento taxonómico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, Article e944608. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.4608>

Hernández-Ledesma, P., Berendsohn, W. G., Borsch, T., Von Mering, S., Akhani, H., Arias, S., Castañeda-Noa, I., Eggli, U., Eriksson, R., Flores-Olvera, H., Fuentes-Bazán, S., Kadereit, G., Klak, C., Korotkova, N., Nyffeler, R., Ocampo, G., Ochoterena, H., Sanchez, B., Schlumberger, B. O., & Uotila, P. (2015). A taxonomic backbone for the global synthesis of species diversity in the angiosperm order Caryophyllales. *Willdenowia*, 45(3), 281–383. <https://doi.org/10.3372/wi.45.45301>

Hufford, M. B., Xu, X., van Heerwaarden, J., de León, N., Cornher, T. E., Brown, P. J., & Ware, D. (2012). Comparative population genomics of maize domestication and improvement. *Nature Genetics*, 44(7), 808–811. <https://doi.org/10.1038/ng.2309>

Ikeda, T., Takanami, Y., Imaizumi, S., Matsumoto, T., Mikami, Y., & Kubo, S. (1987). Formation of anti-plant viral protein by *Mirabilis jalapa* L. cells in suspension culture. *Plant Cell Reports*, 6(3), 216–218. <https://doi.org/10.1007/BF00268483>

Judd, W. S., Campell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (2016). *Plant systematics: A phylogenetic approach* (4.^a ed.). Sinauer Associates.

Kamal, M., Ghaly, A. E., Mahmoud, N., & Cote, R. (2004). Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. *Environment International*, 29(8), 1029–1039. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00091-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00091-6)

- Kubo, S., Ikeda, T., Imaizumi, S., Takanami, Y., & Mikami, Y. (1990). A potent plant virus inhibitor found in *Mirabilis jalapa* L. *Japanese Journal of Phytopathology*, 56(4), 481–487. <https://doi.org/10.3186/jjphytopath.56.481>
- Langman, I. K. (1964). *A selected guide to the literature on the flowering plants of Mexico*. University of Pennsylvania Press.
- Le Duc, A. (1993). *Mirabilis*. En C. E. Jarvis, F. R. Barrie, D. M. Allen, & J. L. Reveal (Eds.), *A list of Linnaean generic names and their types* (p. 6). International Association for Plant Taxonomy.
- Leitão, A. C., & Alcantara, R. (1994). *Respostas celulares às lesões induzidas por agentes físicos e químicos. Radiobiologia e fotobiologia*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- León, J. (1987). *Botánica de los cultivos tropicales* (Vol. 84). Bib. Orton IICA/CATIE.
- Leszczynska Borys, H., & Borys, M. W. (1994). Reflections on the genetical resources of Mexico for ornamental plants industry. *Revista Chapingo: Serie Horticultura*, 1(1).
- Liu, J. N., Zhou, Q. X., Sun, T., Ma, L. Q., & Wang, S. (2008). Growth responses of three ornamental plants to Cd and Cd–Pb stress and their metal accumulation characteristics. *Journal of Hazardous Materials*, 151(1), 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.08.016>
- Liu, J. N., Zhou, Q. X., Wang, X. F., Zhang, Q. R., & Sun, T. (2006). Potential analysis of ornamental plant resources applied to contaminated soil remediation. *Floriculture*, 3, 245–252.
- Liya, F. I., Yasmin, M. F., Chowdhury, N. S., Charu, T. K., & Fatema, I. B. (2021). *Mirabilis jalapa*: A review of ethno and pharmacological activities. *Advancement in Medicinal Plant Research*, 9(1), 1–10.
- MacNeish, R. S. (1992). *The origins of agriculture and settled life*. Oklahoma University Press.
- Martínez del Río, C. (1984). *Polinización y polillas* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional UNAM.
- Martínez, M. (1979). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. Fondo de Cultura Económica.
- Maxia, A., Sanna, C., Salve, B., Kasture, A., & Kasture, S. (2010). Inhibition of histamine-mediated responses by *Mirabilis jalapa*: Confirming traditional claims about antiallergic and antiasthmatic activity. *Natural Product Research*, 24(18), 1681–1686. <https://doi.org/10.1080/14786410802632804>

- Mba, C. (2013). Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy*, 3(1), 200–231. <https://doi.org/10.3390/agronomy3010200>
- McGrath, S. P., Zhao, F. J., & Lombi, E. (2001). Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. *Plant and Soil*, 232(1/2), 207–214. <https://doi.org/10.1023/A:1010358708525>
- Mohsen, G., Soliman, S. S., Mahgoub, E. I., Ismail, T. A., Mansour, E., Alwutayd, K. M., Safhi, F. A., Abd El-Moneim, D., Alshamrani, R., Atallah, O. O., Shehata, W. F., & Hassanin, A. A. (2023). Gamma-rays induced mutations increase soybean oil and protein contents. *PeerJ*, 11, Article e16395. <https://doi.org/10.7717/peerj.16395>
- Molina-Moreno, J. C., & Córdova-Téllez, C. T. (2006). *Recursos fitogenéticos de México para la alimentación y la agricultura: Informe nacional 2006*. SAGARPA; Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.
- Mondragón Pichardo, J., & Vibrans, H. (Eds.). (2009). *Mirabilis jalapa L. maravilla. Ficha informativa*. Malezas de México. CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/nyctaginaceae/mirabilis-jalapa/fichas/ficha.htm>
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G., & Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS Biology*, 9(8), Article e1001127. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
- Munguía-Lino, G., Vázquez-García, L. M., & López-Sandoval, J. A. (2010). Plantas silvestres ornamentales comercializadas en los mercados de la flor de Tenancingo y Jamaica, México. *Polibotánica*, 29, 281–308.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2024). *Definición de radiación no ionizante*. <https://www.iaea.org/es/temas/radiacion>
- Padmavathiamma, P. K., & Li, L. Y. (2007). Phytoremediation technology: Hyperaccumulation metals in plants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 184(1-4), 105–126. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9401-5>
- Peiris, D. S. H. S., Fernando, D. T. K., Senadeera, S. P. N. N., Chandana, A. K., & Ranaweera, C. B. (2022). *Mirabilis jalapa* Linn: A folklore ayurvedic medicinal plant in Sri Lanka. *Asian Plant Research Journal*, 10(2), 21–41. <https://doi.org/10.9734/APRJ/2022/v10i2187>
- Peng, S., Zhou, Q., Cai, Z., & Zhang, Z. (2009). Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis jalapa* L. in a greenhouse plot experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3), 1490–1496. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.036>

- Pérez-Nicolás, M., Colinas-León, M. T., Alia-Tejacal, I., Rodríguez-Barbecho, C., Peña-Ortega, M. G., & Cruz-Torres, E. D. L. (2022). Induced variability in morphological characteristics of *Euphorbia fulgens* Karw. ex Klotzsch. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(3), 469–482.
- Puerta-Ortiz, J. A., & Morales-Aramburo, J. (2020). Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27(S1), 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.005>
- Qadeer, M., Hafiz, I. A., Abbasi, N. A., & Ahmad, T. (2015). Evaluating and validating the protocol for gamma radiation induced mutations in floral distinct *Rosa* spp. *Pakistan Journal of Botany*, 47(5), 1847–1
- Rachmawati, D., Hanifah, W. N., Parjanto, & Yunus, A. (2019). Selection of short stem Mentik Susu rice M₃ from gamma ray irradiation. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 250, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
- Ramos, P. (2014). *Extração e caracterização de amido de quinoa, cañihua e Mirabilis jalapa* [Tesis doctoral, Universidade Estadual Paulista]. Repositorio Unesp.
- Ranjitha, M. V., & Rajashekhar, U. (2022). Cultivation and hybrids, pharmacognostic and pharmacological review on *Mirabilis jalapa*. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 11(7), 2424–2432. <https://doi.org/10.20959/wjpr20227-24242>
- Reeves, R. (2006). Hyperaccumulation of trace elements by plants. En J. L. Morel, G. Echevarria, & N. Goncharova (Eds.), *Phytoremediation of metal-contaminated soils* (Vol. 68, pp. 25–52). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-4688-X_2
- Reeves, R. D., Baker, A. J. M., Borhidi, A., & Berazain, R. (1999). Nickel hyperaccumulation in the serpentine flora of Cuba. *Annals of Botany*, 83(1), 29–38. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0786>
- Rendón, C. A. (2007). *Plantas con potencial uso ornamental del estado de Morelos* [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio IPN.
- Riviello-Flores, M. L., Cadena-Iñiguez, J., Ruiz-Posadas, L. M., Arévalo-Galarza, M. L., Castillo-Juárez, I., Soto-Hernández, M., & Castillo-Martinez, C. R. (2022). Use of gamma radiation for the genetic improvement of underutilized plant varieties. *Plants*, 11(9), Article 1217. <https://doi.org/10.3390/plants11091217>
- Rzedowski, G. C., & Rzedowski, J. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México* (2.^a ed.). Instituto de Ecología; CONABIO.
- Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*, 14, 3–21. <https://doi.org/10.21829/abm14.1991.609>

Rzedowski, J. (1992). Diversity and origins of phanerogamic flora of Mexico. En T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, & J. Fa (Eds.), *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution* (pp. 129–143). Oxford University Press.

Rzedowski, J. (1995). Aspectos de las plantas ornamentales mexicanas. *Revista Chapingo: Serie Horticultura*, 1(3), 5–7.

Saha, S., Deb, J., & Deb, N. K. (2020). Review on *Mirabilis jalapa* L. (Nyctaginaceae): A medicinal plant. *International Journal of Herbal Medicine*, 8(2), 14–18.

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2020). *Informe nacional sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. SNICS.

Shamsudin, S., Salleh, S., & Basiran, M. N. (2005). *Mutagenesis of Hibiscus rosa-sinensis* [Presentación de conferencia]. 2005 MINT Technical Convention, Bandar Baru Bangi, Malasia.

Sharma, V., Sharma, R. K., & Kumar, J. (2020). Gamma irradiation-induced mutations for increased resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *zingiberi* and enhanced gingerol content in ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). *International Journal of Radiation Biology*, 96(8), 1083–1090. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1754433>

Showalter, H. M. (1935). A study of the chromosomes and degenerating microspore tissue in *Mirabilis*. *American Journal of Botany*, 22(6), 594–609. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1935.tb06000.x>

Sosa, A. C. (1969). Agentes mutagénicos. *Revista de la Facultad de Medicina*, 12(6).

Spellenberg, R. (2001). Nyctaginaceae. En G. C. Rzedowski & J. Rzedowski (Eds.), *Flora del Bajío y de regiones adyacentes* (Fascículo 93, pp. 1–96). Instituto de Ecología-Centro Regional del Bajío.

Spellenberg, R. W. (2003). Nyctaginaceae. En Editorial Committee (Ed.), *Flora of North America North of Mexico* (Vol. 4, pp. 14–74). Oxford University Press.

Spencer, M. M., Forster, B. P., & Jankuloski, L. (2021). *Manual de mejoramiento por mutación* (3.^a ed.). FAO/OIEA. <https://doi.org/10.4060/i9285es>

Stafford, H. A. (1994). Anthocyanins and betalains: Evolution of the mutually exclusive pathways. *Plant Science*, 101(2), 91–98. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(94\)90244-5](https://doi.org/10.1016/0168-9452(94)90244-5)

Stevens, P. C. (2001). *Angiosperm phylogeny website* (Versión 14). <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>

- Takanami, Y., Kuwata, S., Ikeda, T., & Kubo, S. (1990). Purification and characterization of the anti-plant viral protein from *Mirabilis jalapa* L. *Japanese Journal of Phytopathology*, 56(4), 488–494. <https://doi.org/10.3186/jjphytopath.56.488>
- Udage, A. C. (2021). Introduction to plant mutation breeding: Different approaches and mutagenic agents. *Journal of Agricultural Sciences (Sri Lanka)*, 16(3), 324–336. <https://doi.org/10.4038/jas.v16i3.9168>
- UNSCLEAR. (1994). *Report to the General Assembly, with scientific annexe*. United Nations.
- Valdez Hernández, E. F. (2006). *Fenología de la maravilla Mirabilis jalapa L.: Ficha técnica de cultivo*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Van Kester, W. N. M., Spitters, C. J. T., Vosselman, L., Engels, J. M. M., & Zeven, A. C. (1975). Investigations of the inheritance of flower variegation In *Mirabilis jalapa* L. 3. Somatic chromosome number, 4. Distribution of the pigments and 5. Chromatographic studies. *Euphytica*, 24(1), 6–12. <https://doi.org/10.1007/BF00035760>
- Vazir, M., Bindhu, K., Kalaikovan, T., & Subedi, A. (2016). Evaluation of wound healing activity of leaves of *Mirabilis jalapa* L. in experimentally induced diabetic rats. *Intercontinental Journal of Pharmaceutical Investigation and Research*, 3(1), 95–98.
- Victor, A., Sowndarya, R., & Moorthi, N. (2015). Anti-diabetic activity of hydroethanolic extracts of *Mirabilis jalapa* leaves of *Mirabilis jalapa* L. in experimentally induced diabetic rats. *Intercontinental Journal of Pharmaceutical Investigation and Research*, 3(1), 95–98.
- Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(2), 559–902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Villaseñor, J. L., & Espinosa-García, F. J. (2004). The alien flower plants of Mexico. *Diversity and Distributions*, 10(2), 113–123. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2004.00059.x>
- Vivanco, J. M., Querci, M., & Salazar, L. F. (1999). Antiviral and anti-viroid activity of MAP-containing extracts from *Mirabilis jalapa* roots. *Plant Disease*, 83(12), 1116–1121. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1999.83.12.1116>
- Walker, C. I. B., Trevisan, G., Rossato, M. F., Franciscato, C., Pereira, M. E., Ferreira, J., & Diniz, S. C. (2008). Antinociceptive activity of *Mirabilis jalapa* in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 120(2), 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.08.002>

- Wang, X. F. (2005). *Potential of ornamental plants applied to contaminated soil remediation* [Tesis de maestría, Chinese Academy of Sciences].
- Wang, X. F., & Zhou, Q. X. (2005). Ecotoxicological effects of cadmium on three ornamental plants. *Chemosphere*, 60(1), 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.031>
- Wang, Y.-F., Chen, J.-J., Yang, Y., Zheng, Y.-T., Tang, S.-Z., & Luo, S.-D. (2002). New rotenoids from roots of *Mirabilis jalapa*. *Helvetica Chimica Acta*, 85(8), 2342–2348. [https://doi.org/10.1002/1522-2675\(200208\)85:8<2342::AID-HLCA2342>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1522-2675(200208)85:8<2342::AID-HLCA2342>3.0.CO;2-S)
- Watanabe, M. E. (1997). Phytoremediation on the brink of commercialization. *Environmental Science & Technology*, 31(4), 182A–186A. <https://doi.org/10.1021/es972219s>
- Weiss, D. (2002). Introduction of new cut flower: Domestication of new species and introduction of new traits not found in commercial varieties. En A. Vainstein (Ed.), *Breeding for ornamentals: Classical and molecular approaches* (pp. 129–137). Kluwer Academic.
- Wolff, S. (1991). Biological dosimetry with cytogenetic endpoints. *Progress in Clinical and Biological Research*, 372, 351–362.
- Wong, R. N., Ng, T. B., Chan, S. H., Dong, T. X., & Yeung, H. W. (1992). Characterization of *Mirabilis* antiviral protein—a ribosome-inactivating protein from *Mirabilis jalapa* L. *Biochemical International*, 28(4), 585–593.
- Yang, X. E., Long, X. X., Ye, H. B., He, Z. L., Calvert, D. V., & Stoffella, P. J. (2004). Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* Hance). *Plant and Soil*, 259(1-2), 181–189. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000020956.24027.f2>
- Yarar, G., Kocak, M., Denli, N., Cavagnaro, P. F., & Yildiz, M. (2022). Determination of the effective radiation dose for mutation breeding in purple carrot (*Daucus carota* L.) and possible variations formed. *Molecular biology reports*, 49(6), 5219-5228.
- Zhou, J. Y., Zhou, S. W., Zeng, S. Y., Zhou, J. Y., Jiang, M. J., & He, Y. (2012). Hypoglycemic and hypolipidemic effects of ethanolic extract of *Mirabilis jalapa* L. root on normal and diabetic mice. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012, Article 257374. <https://doi.org/10.1155/2012/257374>

3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL MATERIAL NATIVO DE MARAVILLA (*Mirabilis jalapa* L.)

3.1. RESUMEN GENERAL

La maravilla (*Mirabilis jalapa* L.) es una especie nativa de México, con alto potencial ornamental, cuya diversidad genética es subutilizada en el país, este constituye el centro de mayor distribución de especies del género *Mirabilis* (31 especies). La caracterización del germoplasma nativo es un proceso esencial para impulsar programas de domesticación, conservación y mejoramiento genético. El objetivo fue realizar una caracterización morfológica del material nativo de *M. jalapa* L. conservado en el laboratorio de Floricultura de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. La metodología se basó en la observación y registro sistemático de las diferentes características fenotípicas de las plantas de la colección de Maravillas a lo largo de todo su ciclo de cultivo. Se evaluaron diversos órganos, incluyendo plántula, hoja, tallo, flor, semilla y raíz. Los datos cualitativos y pseudo - cuantitativos se registraron mediante anotaciones y observaciones visuales, mientras que las variables cuantitativas se obtuvieron a través de mediciones directas. Se agruparon siguiendo la plantilla para el desarrollo de Directrices para la ejecución del Examen de la Distinción, la Homogeneidad y la Estabilidad de la UPOV. Los resultados mostraron diversidad fenotípica en las distintas poblaciones de *M. jalapa* L. Se propuso un sistema de 37 descriptores morfológicos con sus respectivos niveles y estados de expresión, esenciales para la descripción y clasificación de los diferentes fenotipos que presenta la especie

Palabras clave: Descriptores morfológicos, diversidad, mejoramiento genético, domesticación, ornamentales, nativas

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Manuel Alejandro Cano Domínguez
Director de Tesis: Dr. Rogelio Castro Brindis

3.2. ABSTRACT

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF NATIVE GERMPLASM OF *Mirabilis jalapa* L.

Mirabilis jalapa L., a species native to Mexico with considerable ornamental value, exhibits genetic diversity that remains insufficiently explored within the country, despite Mexico being the main distribution center for the genus *Mirabilis*, which comprises 31 species. Characterization of native germplasm is a fundamental step for advancing programs on domestication, conservation, and genetic improvement. The aim of this study was to conduct a morphological characterization of native material of *M. jalapa* L. conserved in the Floriculture Laboratory of the Phytotechnics Department at Chapingo Autonomous University.

The methodology consisted of systematic observation and documentation of phenotypic traits throughout the entire growth cycle of the collection. Several plant structures were examined, including the seedling, leaf, stem, flower, seed, and root. Qualitative and pseudo-quantitative traits were recorded through visual inspection, whereas quantitative variables were obtained through direct measurement. All descriptors were organized following the UPOV template used for the development of Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability. The results revealed substantial phenotypic variation among the evaluated populations of *M. jalapa* L. Consequently, a set of thirty-seven morphological descriptors, each with defined levels and states of expression, was proposed to support accurate description and classification of the species' phenotypic expressions.

Keywords: Morphological descriptors, diversity, plant breeding, crop domestication, ornamental plants, native species

3.3. Introducción

En la actualidad, no existe una manera exacta de saber cuántas especies hay en todo el mundo o en una región geográfica o política. Algunos autores estiman que existe un promedio de 400,000 especies de plantas vasculares (Nic Lughadha et al. 2016) en el mundo, mientras que en México hay un registro aproximado de 23,314, de las cuales entre 10,000 y 12,000 son consideradas útiles para la población de alguna manera (Villaseñor, 2016; Casas et al., 2017). Además de las especies cultivadas, hemos clasificado a las plantas, según las formas de manejo, en especies toleradas (prácticas dirigidas a mantener, dentro de ambientes modificados, plantas útiles que existían antes de que los ambientes fueran transformados por el ser humano), protegidas (incluye cuidados tales como eliminación de competidores y depredadores, aplicación de fertilizantes, podas, protección contra heladas, etc., con el fin de salvaguardar algunas plantas útiles) y fomentadas (incluye diferentes estrategias dirigidas a aumentar la abundancia de plantas útiles) (Mera et al. 2011, Basurto et al. 1998, Bye, 1981; Bye, 1993; Casas et al., 1997; Casas et al., 2007) y muchas de estas plantas son empleadas por comunidades locales y sus usos permanecen desconocidos para gran parte de la población (Casas & Caballero, 1995) o para la comunidad científica.

Un problema en el sector ornamental en México es que, a pesar de tener una gran riqueza florística, el país ha optado por utilizar especies ornamentales de fama internacional, aun sabiendo que cuenta con un amplio catálogo de recursos genéticos nativos con potencial para la horticultura ornamental (Munguía-Lino & López-Sandoval, 2010). En el país, este sector enfrenta diversos retos, entre los que destacan la producción de semillas, el registro de nuevas variedades y la caracterización del material vegetal conservado (Gámez et al., 2016).

La caracterización morfológica de poblaciones de especies nativas y silvestres resulta una tarea fundamental, ya que permite la correcta identificación, hasta la selección de individuos con características deseables para múltiples funciones. Además, la implementación de estrategias de conservación tanto *in situ* como ex

situ, garantiza la preservación de la diversidad genética, la trazabilidad y el seguimiento del material vegetal (Gámez et al., 2016).

En México el género *Mirabilis* está representado por 31 especies, lo que equivale al 56 % del total del género (55 – 57 especies), siendo el país con mayor diversidad de especies (Hernández-Ledesma & Flores-Olvera, 2023). La especie más ampliamente distribuida en el país es *Mirabilis jalapa* L., conocida comúnmente como 'Dondiego de noche', 'Maravilla del Perú' o 'Bella de noche'. (Hernández-Ledesma & Flores-Olvera, 2023). El objetivo de este trabajo es proponer la caracterización morfológica del material nativo de *M. jalapa* L., con el fin de determinar su variabilidad fenotípica y establecer la base para futuros programas de domesticación, mejoramiento genético y descripción varietal.

3.4. Materiales y Métodos

3.4.1. Material vegetal

Se utilizaron semillas de diversas poblaciones de *Mirabilis jalapa* L. Este material proviene de la colección de germoplasma resguardada por el laboratorio del área de Floricultura del departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo.

3.4.2. Condiciones de cultivo

Las semillas se sembraron durante el mes de mayo del 2024, en charolas de poliestireno con 77 cavidades, utilizando como sustrato una mezcla de "peat moss" y agrolita en proporción 1:1 (v:v). Las charolas se mantuvieron en cámara de germinación a 25 °C y a 70 % de humedad relativa, con riego periódico cada 24 h y bajo luz continua hasta la emergencia de las plántulas (Cevahir et al., 2005).

Transcurridos 30 días, cuando las plántulas alcanzaron 30±5 cm de altura se trasplantaron en el mes de junio del mismo año en tinas de plástico de 200 L con un sustrato compuesto de "peat moss" y suelo en proporción 1:1 (v:v). Las plantas se cultivaron bajo malla sombra del 15 %. Se realizaron riegos periódicos cada

48 horas y fertilización semanal con Ultrasol® multipropósito a 1 g L⁻¹ de agua durante todo su ciclo de cultivo. El cultivo se mantuvo durante 16 semanas después del trasplante. La evaluación morfológica se realizó a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

3.4.3. Procedimiento de caracterización morfológica

Durante todo el experimento, se realizó el registro descriptivo y fotográfico de los individuos, enfocándose en la variabilidad observable entre las plantas. La caracterización consistió en 37 características morfológicas utilizando la plantilla para el desarrollo de Directrices para la ejecución del examen de distinción, homogeneidad y la estabilidad (DHE) de la UPOV (Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales), considerando los siguientes aspectos:

Cuadro 5 Características morfológicas evaluadas en la plántula de *Mirabilis jalapa* L.

Características de la plántula:
Pigmentación en el envés de los cotiledones
Intensidad de pigmentación del envés de los cotiledones.
Color del hipocótilo
Longitud del hipocótilo

Cuadro 6 Características generales de la planta adulta de *Mirabilis jalapa* L.

Características de la planta:
Hábito de crecimiento
Altura de la planta
Fragancia

Cuadro 7 Características morfológicas del tallo y brotes laterales en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Características del tallo:
Longitud de los brotes laterales
Color del tallo principal
Presencia de pigmentación secundaria

Ramificación
Pubescencia
Grosor del tallo principal

Cuadro 8 Características morfológicas y cromáticas de la hoja en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Características de la hoja:
Longitud del limbo
Anchura del limbo
Relación Ancho/largo del limbo
Forma del limbo
Variegación
Intensidad del color del haz
Color del envés
Forma de la base de limbo
Longitud de peciolo
Pigmentación del peciolo

Cuadro 9 Características fenológicas de precocidad en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Floración, precocidad:
Época de floración (días después de la siembra)

Cuadro 10 Características morfológicas de la flor en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Características de la flor:
Longitud del tubo floral
Color del tubo floral
Forma de la corola
Diámetro de la corola
Color principal de la corola (RHS)
Color secundario de la corola (RHS)

Color terciario de la corola (RHS)
Distribución del color secundario
Distribución del color terciario
Color del estambre
Color del estigma

Cuadro 11 Características morfológicas de la hoja en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Características de la semilla:
Tamaño

Cuadro 12 Características morfológicas de la raíz en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Características de la raíz:
Forma

Cada característica se registró en hojas de campo y fotografías digitales. Se seleccionaron las características que presentaban diferencias entre los distintos individuos de la población, priorizando la documentación de fenotipos extremos y las variantes que con más frecuencia se observaban.

Para la evaluación de las características cuantitativas se realizaron mediciones directas en órganos vegetativos y reproductivos, se registraron utilizando un vernier, con precisión de 0.01 mm.

3.5. Resultados

3.5.1. Descripción general del material

3.5.1.1. Características de la plántula

En las plántulas se evaluaron cuatro características morfológicas durante la etapa de cotiledones. En los tres primeros casos, el método de evaluación fue visual (Cuadro 13).

Cuadro 13 Características morfológicas de plántulas evaluadas en etapa de cotiledones en plantas de *Mirabilis jalapa* L.

Nº	Tipo	Característica	Nivel	Nivel / Estados
1	QL	Pigmentación del envés de los cotiledones	1 9	Ausente / Presente
2	PQ	Intensidad de pigmentación del envés	1 3 5	Nula / Leve / Moderada / Intensa / Muy intensa
3	QL	Color del hipocótilo	1 2	Verde / Púrpura
4	QN	Longitud del hipocótilo (mm)	1 3 5	Corto (< 10.0) / Medio (< 30.0) / Largo (> 30.0)
QL = cualitativo, QN = cuantitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

En cuanto a la pigmentación del envés en los cotiledones (QL), se observaron dos variantes: ausencia y presencia de pigmentación.

Cuadro 14 Pigmentación en los cotiledones: Característica Núm. 1: Izquierda: Plántula que no presenta coloración púrpura en los cotiledones e hipocótilo. Derecha: Plántula que sí presenta dicha pigmentación.

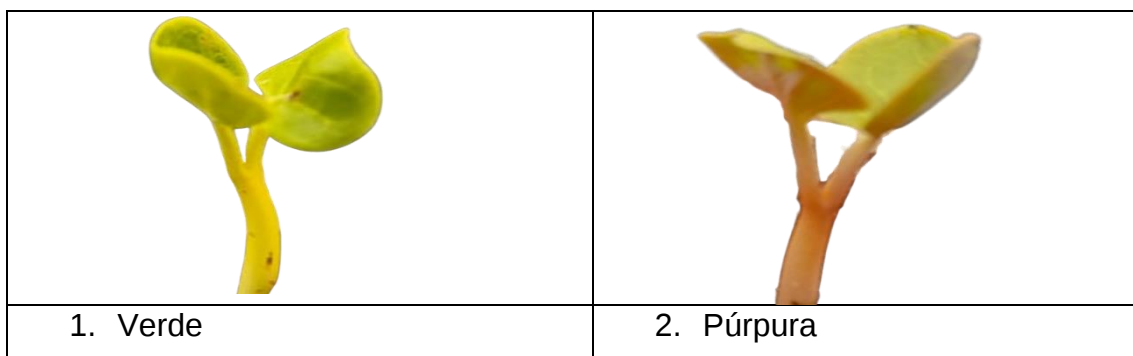
	
1. Ausente	9. Presente

En el caso de la intensidad de pigmentación del envés (PQ), se registraron diferentes grados de expresión. Nula / Leve / Moderada / Intensa / Muy intensa.

Con respecto al color del hipocótilo (QL), se observaron dos variantes diferenciadas: verde y púrpura. La segregación de estos fenotipos fue evidente en la etapa de cotiledones.

La longitud del hipocótilo (QN), se caracterizó en Corto (<10.0) / Medio (<30.0) / Largo (>30.0).

Cuadro 15 Pigmentación en el hipocótilo: Característica Núm. 3. Izquierda: plántula que no presenta coloración en los cotiledones e hipocótilo. Derecha: Plántula que sí presenta pigmentación.



3.5.1.2 Características de la planta

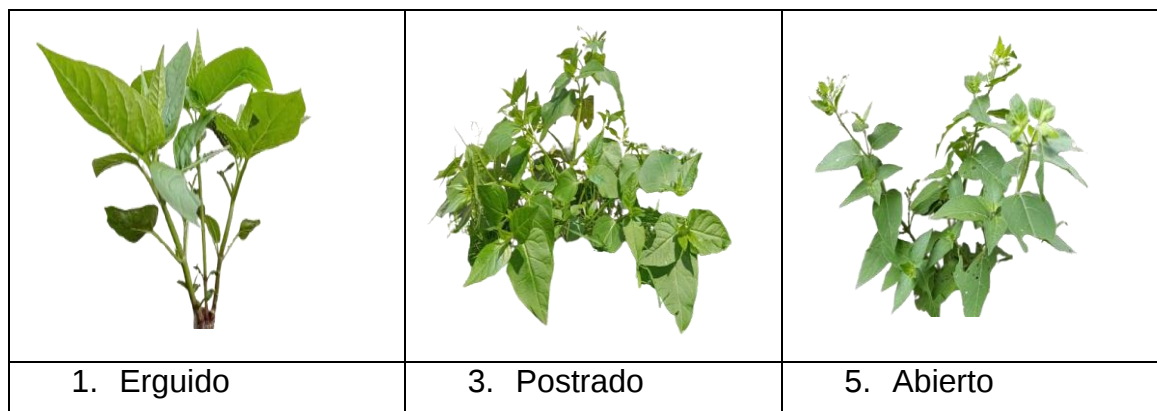
Se evaluaron 3 características generales, como el hábito de crecimiento (QL), la altura de la planta (QN) y la fragancia (QL) (Cuadro 16).

Cuadro 16 Características morfológicas generales evaluadas en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Nº	Tipo	Característica	Nivel	Nivel / Estados
5	QL	Hábito de crecimiento	1 3 5	Erguido / Postrado / Abierto
6	QN	Altura de la planta (cm)	1 3 5	Baja (10-20) / Media (21-40) / Alta (>40)
7	QL	Fragancia	1 9	Ausente / Presente
QN = cuantitativo QL = cualitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

El hábito de crecimiento (QL) se evaluó durante el desarrollo vegetativo de la planta, mediante observación visual, se registraron las variantes: Erguido, postrado y abierto.

Cuadro 17 Hábito de crecimiento: Característica Núm. 5. Izquierda: Planta de porte erecto. Centro: Planta de porte postrado o rastrero. sus tallos tocan el piso. Derecha: Planta con porte abierto con forma de abanico.



La altura de la planta (QN) se midió cuando las plantas se encontraban floreciendo, se clasificaron en baja (10–20 cm), media (21–40 cm) y alta (>40 cm).

La fragancia (QL) se definió como ausente y presente.

3.5.1.3 Características del tallo

Para el tallo, se encontraron seis características morfológicas de la planta en pleno desarrollo vegetativo (Cuadro 18).

Cuadro 18 Características morfológicas del tallo evaluadas en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Nº	Tipo	Característica	Nivel	Nivel / Estados
8	QN	Longitud de los brotes laterales (cm)	1 3 5	Corta (<15) / Media (15-30) / Larga (>30)
9	PQ	Color del tallo principal	1 3 5	Verde / Verde con tintes rojizos / Púrpura
10	QL	Presencia de pigmentación secundaria	1 9	Ausente / Presente
11	QN	Ramificación	1 3 5	Ausente / Media / Fuerte
12	QL	Presencia de pubescencia	1 9	Ausente / Presente

13	QN	Grosor (mm)	1 3 5	Delgado (<10) / Mediano (10-20) / Grueso (>20)
QN = cuantitativo, QL = cualitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

La longitud de las ramas (QN) se clasificó en tres categorías: corta (<15 cm), media (15–30 cm) y larga (>30 cm).

Cuadro 19 Color del tallo: Característica Núm. 9. Izquierda; Planta con tallo color verde. Centro. Planta con tallo de color verde con tintes rojizos. Derecha: Planta con tallo de color púrpura.

		
1. Verde	3. Verde con tintes rojizos	5. Púrpura

El color del tallo (PQ) se registró como verde, verde con tintes rojizos o púrpura.

Cuadro 20 Presencia de pigmentación secundaria: Característica Núm. 10 Izquierda; Planta con pigmentación en los tallos o nudos ausente. Derecha: Planta con pigmentación púrpura.

	
1. Ausente	9. Presente

La presencia de pigmentación secundaria (QL) se determinó de manera cualitativa como ausente o presente. La ramificación (QN) se describió en tres niveles: ausente, media o fuerte.

Cuadro 21 Ramificación: Característica Núm. 11. Izquierda: Planta con baja ramificación. Centro. Planta con ramificación moderada. Derecha: Planta con ramificación fuerte.

		
1. Baja	3. Media	5. Fuerte

Cuadro 22 Presencia de pubescencia: Característica Núm. 12. Izquierda: Planta con pubescencia ausente. Derecha: Planta con pubescencia presente.

	
1. Ausente	9. Presente

La presencia de pubescencia (QL) se evaluó, como ausente o presente. Finalmente, el grosor del tallo (QN) se midió en milímetros y se clasificó en tres categorías: delgado (<10 mm), mediano (10–20 mm) o grueso (>20 mm).

3.5.1.4 Características de la hoja

En las hojas se evaluaron nueve características morfológicas en la etapa de pleno desarrollo vegetativo. Las observaciones se realizaron en hojas completamente desarrolladas, a la mitad del tallo principal, entre el segundo y tercer nudo (Cuadro 23).

Cuadro 23 Características morfológicas en las hojas evaluadas en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Nº	Tipo	Característica	Nivel	Nivel / Estados
14	QN	Longitud del limbo (cm)	1 3 5	Corta (<10) / Media (10-20) / Larga (>20)
15	QN	Anchura del limbo (cm)	1 3 5	Estrecha (<5) / Media (5-10) / Ancha (>10)
16	QN	Relación Ancho/Largo	1 3 5	Largas y estrechas (<.5) / Intermedias = .5 / Cortas y anchas (>.5)
17	PQ	Forma del limbo	1 2 3	Ovalada / Ovado-lanceolada / Lanceolada
18	QL	Variegación	1 9	Ausente / Presente
19	QN	Intensidad de color del haz	1 3 5	Verde claro / Verde medio / Verde oscuro
20	QL	Color del envés	1 2	Verde / Púrpura
21	QL	Forma de la base del limbo	1 2	Redondeada / Truncada
22	QN	Longitud del pecíolo (cm)	1 3 5	Muy corto (<2) / Corto (2-4) / Mediano (4-6) / Largo (6-8) / Muy largo (>8)
23	QL	Pigmentación del pecíolo	1 9	Ausente / Presente
QN = cuantitativo, QL = cualitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

La longitud del limbo (QN) se clasificó en tres categorías: corta (<10 cm), media (10–20 cm) y larga (>20 cm). La anchura del limbo (QN) se agrupó en estrecha (<5 cm), media (5–10 cm) y ancha (>10 cm).

La forma del limbo (PQ) se registró en tres variantes: ovalada, ovado-lanceolada y lanceolada.

Cuadro 24 Forma del limbo. Característica Núm. 17. Izquierda: Hojas con forma ovalada. Centro: Hojas con forma ovado – lanceoladas. Derecha: Hojas con forma lanceolada.

		
1. Ovalada	2. Ovado-lanceolada	3. Lanceolada

En cuanto a la variegación del limbo (QL), se determinó de manera cualitativa como ausente o presente.

Cuadro 25 Variegación en las hojas: Característica Núm. 18 Izquierda: Hojas variegación ausente. Derecha: Hojas con variegación presente.

	
1. Ausente	9. Presente

La intensidad de color en el haz (QN) se clasificó en tres niveles: verde claro, verde medio y verde oscuro; mientras que el color del envés (QL) se describió únicamente en dos estados: verde o púrpura.

Cuadro 26 Intensidad del color del haz de las hojas: Característica Núm. No 19. Izquierda: Hojas de color verde claro. Centro: Hojas de color verde medio. Derecha: Hojas de color verde oscuro.

		
1. Verde claro	3. Verde medio	5. Verde oscuro

Se describieron variantes extremas en el color del envés de las hojas; Ausencia de color y presencia de color púrpura.

Cuadro 27 Color púrpura en el envés de las hojas: Característica Núm. 20 Izquierda: Envés de las hojas con pigmentación ausente. Derecha: Color del envés de las hojas con pigmentación presente.

	
1. Ausente	9. Presente

La base del limbo (PQ) se categorizó en redondeada o truncada. La longitud del pecíolo (QN) se evaluó en cinco estados: muy corto (<2 cm), corto (2–4 cm), mediano (4–6 cm), largo (6–8 cm) y muy largo (>8 cm). Finalmente, la pigmentación del pecíolo (QL) se registró como ausente o presente.

Cuadro 28 Forma de la base del limbo: Característica Núm. 21. Izquierda: Base del limbo de las hojas con forma redondeada; Derecha: Base del limbo de las hojas con forma subcordada, o forma de corazón.

	
1. Base redondeada	2. Base subcordada. Forma corazón

3.5.1.5 Precocidad

Con respecto a la inflorescencia, se evaluó la época de floración (QN), registrada como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las flores presentaran la corola abierta (Cuadro 29).

Cuadro 29 Características morfológicas de la inflorescencia evaluadas en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Nº	Tipo	Característica	Nivel	Nivel / Estados
24	QN	Época de floración (días desde siembra)	1 3 5	Precoz (<60) / Media (60-100) / Tardía (Mayor a 100)
QN = cuantitativo QL = cualitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

Este carácter se clasificó en cuatro categorías: floración muy temprana (<60 días), floración temprana (60–80 días), media (81–100 días) y floración tardía (>100 días).

3.5.1.6 Características de la flor

En las flores se evaluaron nueve características morfológicas. Las observaciones se realizaron en la tercera flor abierta o en las flores posteriores (Cuadro 30).

Cuadro 30 Características morfológicas de la flor evaluadas en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Nº	Tipo	Características	Nivel	Nivel / Estados
25	QN	Longitud del tubo floral (mm)	1 3 5	Corta (<20) / Media (20-40) / Larga (>40)
26	QL	Color del tubo floral	1 2	Diferente al de la corola / Igual al de la corola
27	QN	Profundidad del lobulado	1 3 5	Ausente o muy leve / media / muy intensa
28	QN	Diámetro de la corola (cm)	1 3 5	Pequeño (<3) / Mediano (3-6) / Grande (>6)
29	PQ	Color principal de la corola (RHS)	-	Carta de colores RHS (indicar número de referencia)
30	PQ	Color secundario de la corola (RHS)	-	Carta de colores RHS (indicar número de referencia)
31	PQ	Color terciario de la corola (RHS)	-	Carta de colores RHS (indicar número de referencia)
32	PQ	Distribución del color secundario	1 2 3	Uniforme / Patina / Manchado
33	PQ	Distribución del color terciario	1 2 3	Uniforme / Patina / Manchado
QN = cuantitativo QL = cualitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

La longitud del tubo floral (QN) se clasificó en tres categorías: corta (<20 mm), media (20–40 mm) y larga (>40 mm). El color del tubo floral (QL) se describió en dos estados: igual o diferente al de la corola.

Cuadro 31 Color del tubo floral: Característica Núm. 26. Izquierda: Color del tubo floral diferente al de la corola. Derecha: Color del tubo floral igual al de la corola.

	
1. Diferente al de la corola	2. Igual al de la corola

En la flor, la profundidad del l lobulado (QN) se categorizó en ausente o muy leve, medio, o muy intenso, y su diámetro (QN) se agrupó en pequeño (<3 cm), mediano (3–6 cm) o grande (>6 cm).

Cuadro 32 Profundidad del lobulado: Característica Núm. 27. Izquierda: el borde de la flor es casi liso, Centro: margen que presenta incisiones o hendiduras que no superan la mitad del radio. Derecha: Margen con incisiones muy profundas que pueden alcanzar o superar la mitad del radio.

		
1. Ausente o muy leve	3. Medio	5. Muy intenso

El color principal de la corola (PQ) se registró usando la carta de colores RHS, al igual que el color secundario (PQ). Sáez, (2013) describe once colores que incluyen variedades homocigotas (Carmesí, Blanco dominante, Blanco recesivo, Rosa intenso y Salmón) y heterocigotas (como Amarillo intenso, Rosa claro a

intenso, y Magenta a púrpura rojizo). En el cuadro 34, se muestran algunos ejemplos de la diversidad existente.

Cuadro 33 Ejemplos del color principal, secundario y terciario en la corola / Carta de colores RHS: Característica Núm. 29,30 y 31.



La distribución del color secundario (PQ) se describió como uniforme, platina y manchado.

Cuadro 34 Distribución del color secundario: Característica Núm. No 32 y 33 Izquierda: Uniforme (El color secundario o terciario es igual al color primario) Centro: Patina (Diferente tono cromático que se presenta como una tenue capa sobre el color primario) Derecha: Manchado (Con grandes manchas irregulares del color secundaria claramente delimitadas en los pétalos).

		
1. Uniforme	2. Patina	3. Manchado

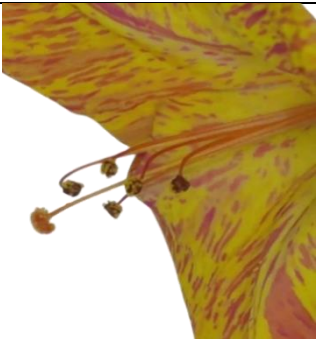
3.5.1.7 Características de los órganos sexuales

Se evaluaron 2 características morfológicas. El color varía entre poblaciones y en algunos casos entre plantas. El color de ambas características se diferenció en Blanco/Amarillo/ Rosa (Cuadro 35).

Cuadro 35 Características morfológicas evaluadas de los órganos sexuales de plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Nº	Tipo	Características	Nivel	Nivel / Estados
34	PQ	Color del estambre	1 3 5	Blanco / Amarillo / Rosa
35	PQ	Color del estigma	1 3 5	Blanco / Amarillo / Rosa
QN = cuantitativo QL = cualitativo, PQ = pseudocuantitativo				

Cuadro 36 Color del estambre y el estigma: Característica Núm. 34 y 35 Izquierda: Antera y pistilos blancos. Centro: Antera y pistilos amarillos. Derecha: Antera y pistilos rosas.

		
1. Blanco	3. Amarillo	5. Rosa

3.5.1.8 Características de la semilla

El tamaño de las semillas (QN) se consideró en pequeño (<2), mediano (2-4) / Grande (>4).

Cuadro 37 Características morfológicas de la semilla evaluadas en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Nº	Tipo	Característica	Nivel	Nivel / Estados
36	QN	Tamaño (mm)	1 3 5	Pequeño (<2) / Mediano (2-4) / Grande (>4)
*QN = cuantitativo QL = cualitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

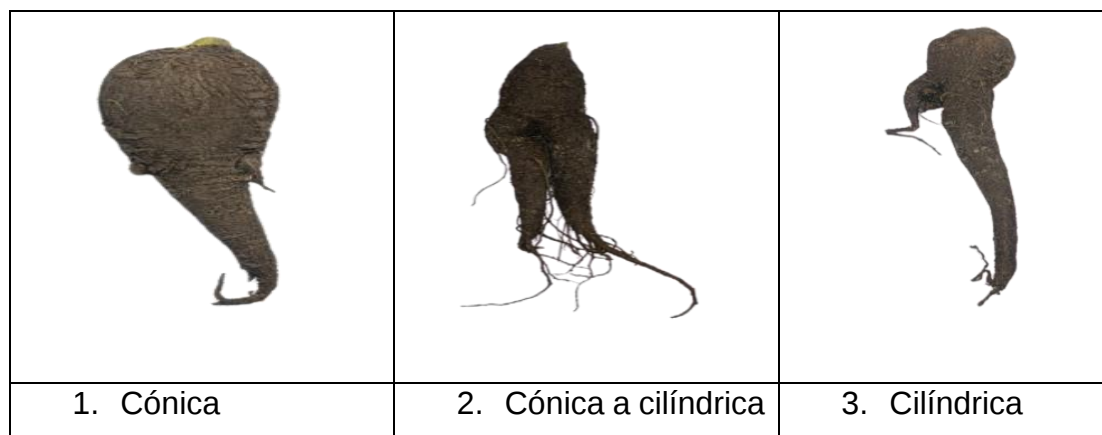
3.5.1.9 Características de la raíz

La forma de la raíz (QL) se consideró en una escala de esférica, cónica, alargada.

Cuadro 38 Características morfológicas de la raíz evaluadas en plantas adultas de *Mirabilis jalapa* L.

Nº	Tipo	Característica	Nivel	Nivel / Estados
37	PQ	Forma	1 2 3	Cónica / Cónica a cilíndrica / Cilíndrica
*QN = cuantitativo QL = cualitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

Cuadro 39 Forma de la raíz: Característica Núm. 37. Izquierda: Raíz con forma esférica. Centro: Raíz con forma cónica a cilíndrica. Derecha: Raíz con forma cilíndrica.



3.6 Discusión

3.6.1 Presencia y tipos de pigmentación

La pigmentación rojiza-morada observada en cotiledones, tallo, hojas y flores de *Mirabilis jalapa* L. se explica por la acumulación de betalaínas, pigmentos exclusivos del orden las Caryophyllales, estas se dividen en dos grupos: betacianinas (rojo/violeta) y betaxantinas (amarillo/naranja) (Piattelli et al., 1965; Polturak et al., 2018; Coy-Barrera, 2020; Suselo et al., 2022; Berardi et al., 2013).

Existe la presencia de betaxantinas en flores (Piattelli et al., 1965; Berardi et al., 2013; Polturak et al., 2018), mientras que en hojas se han identificado ambos tipos de betalaínas, con predominio de las betaxantinas (Suselo et al., 2022).

La planta de maravilla presenta el gen para producir antocianinas, sin embargo, en algún punto de la evolución hubo una delección del gen ANS (*anthocyanidin synthase*), lo que produjo un silenciamiento en esta ruta metabólica, esto condujo a que la planta dependa completamente de las betalaínas (Polturak et al., 2018; Cevahir et al., 2005).

Estos pigmentos también cumplen roles funcionales clave para la adaptación al entorno, como la protección contra estrés abiótico, funcionan como antioxidantes y previenen el daño foto oxidativo (Coy-Barrera, 2020; Polturak et al., 2018; Khan & Giridhar, 2015).

Con respecto al color de las flores en *Mirabilis jalapa* L., este se encuentra determinada genéticamente por la interacción de alelos que regulan la síntesis y acumulación de betalaínas. El gen “Y” se asocia con la producción de betaxantinas de tonalidad amarilla, mientras que la serie de alelos “R” modula la expresión de betacianinas responsables de las coloraciones rojas y violetas. La interacción entre estos loci se rige por un sistema de herencia con dominancia incompleta, lo que genera una amplia gama de tonalidades intermedias y explica la alta variabilidad cromática observada en esta especie (Sáez, 2013; Polturak et al., 2018).

En cotiledones, la coloración rojiza podría deberse a la acumulación de betacianinas, de modo similar a lo documentado en especies como *Beta vulgaris* (remolacha) y *Portulaca oleracea* (verdolaga) (Coy-Barrera, 2020; Suselo et al., 2022). La variabilidad en la intensidad de la pigmentación entre diferentes estados de desarrollo sugiere que la planta está sujeta a la plasticidad fenotípica (Berardi et al., 2013, Cevahir et al., 2005), y que hay genes involucrados en esta síntesis de betalaínas, modulados por las diferentes condiciones ambientales. Los resultados encontrados sugieren que la distribución de pigmentos en *M. jalapa* L. depende tanto del órgano como de la etapa de desarrollo.

3.6.2 Plasticidad y variantes fenológicas

Inicialmente el color del envés en el primer par de hojas reales en muchas plantas de la población oscilaba entre colores púrpuras a rojizos. Sin embargo, a medida que continuaba el crecimiento esta coloración se perdía, siendo complicado obtener especímenes con hojas pigmentadas en estadios mayores.

Con respecto a las características de la flor, muchos de estos pueden variar debido a la capacidad quimérica de la especie.

3.7 Conclusiones

Se proponen 37 características morfológicas para la descripción de variedades de *Mirabilis jalapa* L.

Existe una amplia diversidad fenotípica en todos los órganos de la planta y en las diversas poblaciones de *Mirabilis jalapa* L. estudiadas, parte de la diversidad particularmente en la pigmentación de hojas, tallos y flores.

3.8 Literatura citada

- Basurto, P. F., Martínez, M. A., & Villalobos, G. (1998). Los quelites de la Sierra Norte de Puebla, México: Inventario y formas de preparación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 62, 49–62. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1550>
- Berardi, A. E., Hildreth, S. B., Helm, R. F., Winkel, B. S. J., & Smith, S. D. (2013). Evolutionary correlations in flavonoid production across flowers and leaves in the lochrominae (Solanaceae). *Phytochemistry*, 91, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.12.011>
- Borys, M., & Leszczyńska-Borys, H. (1992). *Reflexiones sobre el potencial ornamental de plantas de México* (Manuales de Horticultura Ornamental 7). Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.
- Bye, R. (1981). Quelites - ethnoecology of edible greens - past, present and future. *Journal of Ethnobiology*, 1(1), 109–123.
- Bye, R. (1993). The role of humans in the diversification of plants in México. Biological diversity in México: *Origins and distribution* (pp. 707–731). Oxford University Press.
- Casas, A., & Caballero, J. (1995). Domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Ciencias*, 40, 36–45. <https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/40/CNS04005.pdf>
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C., & Zárate, 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. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1537>
- Casas, A., Otero-Arnaiz, A., Pérez-Negrón, E., & Valiente-Banuet, A. (2007). In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*, 100(5), 1101–1115. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm126>
- Casas, A., Parra-Rondinel, F., Torres-García, I., Rangel-Landa, S., Zarazúa, M., & Torres-Guevara, J. (2017). Patrones continentales de domesticación:

Perspectivas para el estudio y manejo de recursos genéticos. *Domesticación en el continente americano (Vol. 2)*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Cevahir, G., Yentür, S., Eryılmaz, F., Aytamka, E., & Selçukcan, Ç. (2005). Some physiological changes at early germination phases of *Mirabilis jalapa* L. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 19(1), 80–86. <https://doi.org/10.1080/13102818.2005.10817158>

Corona, V., & Chimal, A. (2006). *Plantas mexicanas con potencial ornamental*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

Coy-Barrera, E. (2020). Analysis of betalains (betacyanins and betaxanthins). *Recent advances in natural products analysis* (pp. 593–619). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816455-6.00017-2>

Gámez-Montiel, O., Villavicencio-Gutiérrez, E., Serrato-Cruz, M. A., Mejía-Muñoz, J. M., Treviño-de Castro, M. G., Martínez-González, H. L., Rodríguez-Olvera, M., Granada-Carreto, L., Flores-Cruz, M., Reyes-Santiago, J., Islas-Luna, M. Á., Salomé-Castañeda, E., Menchaca-García, R. A., Espadas-Manrique, C. M., Hernández-Sandoval, L., Vázquez-García, L. M., Colinas-León, M. T. B., Martínez-Martínez, F., Vargas-Ponce, O., & Ríos-Santos, E. (2016). *Conservación y aprovechamiento sostenible de especies ornamentales nativas de México*. SNICS; Universidad Autónoma Chapingo.

Hernández-Ledesma, P. (2018). Nyctaginaceae. *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Hernández-Ledesma, P., & Flores-Olvera, H. (2023). El género *Mirabilis* (Nyctaginaceae) en México: Diversidad, distribución y tratamiento taxonómico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, Article e942520. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.2520>

Hernández-Ledesma, P., Berendsohn, W. G., Borsch, T., Von Mering, S., Akhiani, H., Arias, S., Castañeda-Noa, I., Eggli, U., Eriksson, R., Flores-Olvera, H., Fuentes-Bazán, S., Kadereit, G., Klak, C., Korotkova, N., Nyffeler, R., Ocampo, G., Ochoterena, H., Sanchez, B., Schlumpberger, B. O., & Uotila, P. (2015). A

taxonomic backbone for the global synthesis of species diversity in the angiosperm order Caryophyllales. *Willdenowia*, 45(3), 281–383. <https://doi.org/10.3372/wi.45.45301>

Mera-Ovando, L. M., Castro, D., & Bye, R. (Comps.). (2011). *Especies vegetales poco valoradas: Una alternativa para la seguridad alimentaria*. UNAM; SNICS; SINAREFI.

Munguía-Lino, G., Vázquez-García, L. M., & López-Sandoval, J. A. (2010). Plantas silvestres ornamentales comercializadas en los mercados de la flor de Tenancingo y Jamaica, México. *Polibotánica*, 29, 281–308.

Nic Lughadha, E., Govaerts, R., Borsch, T., Goettsch, B., Moat, J., Miller, J. T., Pérez-Escobar, O. A., & Thiele, K. (2016). The state of the world's plant species. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47, 65–88. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400>

Piattelli, M., Giudici de Nicola, M., & Castrogiovanni, V. (1965). Betaxanthins from *Mirabilis jalapa* L. *Phytochemistry*, 4(6), 935–939. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)86264-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)86264-5)

Piattelli, M., Minale, L., & Nicolaus, R. A. (1965). Pigments of Centrospermae—V. Betaxanthins from *Mirabilis jalapa* L. *Phytochemistry*, 4(6), 817–823. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)86263-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)86263-1)

Sáez, J. A. L. (2013). La genética del “color” en las flores del dondiego de noche (*Mirabilis jalapa* L.). *Encuentros en la Biología*, 6(143), 35–40.

Suselo, Y. H., Indarto, D., Wasita, B., & Hartono. (2022). Alkaloid fraction of *Mirabilis jalapa* leaves has higher betaxanthin levels than ethanol extract and is potentially developed for anemia treatment. *AIP Conference Proceedings*, 2454(1), Article 050030. <https://doi.org/10.1063/5.0078736>

Vibrans, H. (Ed.). (2009). *Mirabilis jalapa* L. En Malezas de México. CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/nyctaginaceae/mirabilis-jalapa/fichas/ficha.htm>

Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559–902.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.001>

4. RADIACIÓN GAMMA CON ^{60}Co EN SEMILLAS DE MARAVILLA PARA INDUCIR VARIACIÓN MORFOLÓGICA Y SELECCIÓN DE MUTANTES EN LA GENERACIÓN M_2

4.1 RESUMEN GENERAL

Este trabajo estudia el incremento de la variabilidad genética en *M. jalapa* mediante mutagénesis inducida por rayos gamma de ^{60}Co . Las semillas se irradiaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) a dosis de 100 a 700 Gy. El objetivo fue generar variación genética en la especie y seleccionar genotipos con alto valor ornamental. Se conservaron las plantas sobrevivientes de la generación M_1 y se mantuvieron hasta la etapa reproductiva, donde se seleccionaron en función de su vigor, morfología y expresión de rasgos con potencial ornamental. La selección se orientó por una encuesta en línea que priorizó fenotipos compactos, medianos y con quimerismo floral. Se seleccionaron seis fenotipos con el fin de auto fecundarse y obtener la siguiente generación experimental. Finalmente, el análisis estadístico en la generación M_2 confirmó el efecto de la radiación, demostrando que características de interés ornamental, como la altura de la planta y la distancia entre nudos, fueron significativamente alterados respecto al testigo. Este resultado logró el objetivo de obtener fenotipos más compactos y densos, ideales para su uso como planta de contenedor al seleccionar tres fenotipos de la M_2 con potencial para registrarse como nuevas variedades ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

Palabras clave; *Mirabilis jalapa* L., variabilidad genética, ornamentales, reducción en el crecimiento, mutagénesis.

4.2 ABSTRACT

GAMMA RADIATION WITH ^{60}Co IN FOUR O'CLOCK SEEDS TO INDUCE MORPHOLOGICAL VARIATION AND MUTANT SELECTION IN THE M_2 GENERATION

This study examines the increase of genetic variability in *Mirabilis jalapa* through mutation induction using gamma rays from ^{60}Co . Seeds were irradiated at the National Institute for Nuclear Research (ININ) at doses ranging from 100 to 700 Gy. The objective was to generate genetic variation in the species and identify genotypes with high ornamental value. Surviving individuals from the M_1 generation were maintained until the reproductive stage, where they were selected according to vigor, morphological attributes, and expression of traits with ornamental potential. The selection criteria were informed by an online survey that prioritized compact, medium-sized phenotypes and floral chimerism. Six phenotypes were selected for self-fertilization to obtain the subsequent experimental generation.

Statistical analysis of the M_2 generation confirmed the effect of radiation, demonstrating significant modifications in ornamental characters such as plant height and internode length when compared with the control. These results fulfilled the objective of obtaining more compact and dense phenotypes suitable for container production, allowing the identification of three M_2 phenotypes with potential for registration as new varieties in the National Service for Seed Inspection and Certification (SNICS).

Keywords: *Mirabilis jalapa* L., genetic variability, ornamentals, growth reduction, mutagenesis.

Thesis of Master in Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Manuel Alejandro Cano Domínguez
Advisor: Dr. Rogelio Castro Brindis

4.3. Introducción

Comúnmente conocida como maravilla, *Mirabilis jalapa* L. es la especie más representativa del género *Mirabilis*, de la familia Nyctaginaceae (Hernández-Ledesma, & Flores-Olvera, 2023). Probablemente nativa del sur de México (Fay, 1980) se distribuye en todo el territorio mexicano y se puede encontrar en distintos tipos de climas (Hernández-Ledesma & Flores-Olvera, 2023). Es una planta perenne de raíces tuberosas que puede crecer como hierba o arbusto, con tallos que alcanzan hasta un metro de altura. Las hojas son de forma variable, de colores verdes claros a azulados y las flores aparecen solas o en grupos, en la punta o a los lados de las ramas, en forma de campana abierta, de colores que van del blanco al rosado intenso o magenta (Hernández-Ledesma & Flores-Olvera, 2023).

M. jalapa L. posee importancia económica, medicinal y ambiental, ya que diferentes estudios han demostrado que contiene compuestos químicos que pueden aprovecharse en múltiples industrias (Al-Snafi et al., 2021; Cen et al., 2016; Liya et al., 2021; MV & Rajashekhar, 2022; Peiris et al., 2022; Peng et al., 2009).

La mutagénesis es una técnica de mejoramiento genético utilizada para incrementar la variabilidad de una especie mediante mutágenos como la radiación gamma (Spencer et al., 2021). Esta radiación provoca daños directos e indirectos en las células, generando alteraciones estructurales en el ADN (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020). La mutagénesis inducida por radiación gamma ha sido aplicada con éxito en diferentes grupos de plantas ornamentales y agrícolas, contribuyendo a la obtención de 3457 nuevas variedades hasta la fecha (IAEA, 2025).

En este estudio se implementó un programa de mejoramiento genético en *Mirabilis jalapa* L. mediante mutagénesis con radiación de la fuente ^{60}Co , con el objetivo de generar variabilidad y seleccionar genotipos con características ornamentales de interés. La selección se orientó a partir de la preferencia de los

consumidores, determinada mediante una encuesta en línea, que permitió identificar atributos estéticos de mayor aceptación para su cultivo.

4.4 Materiales y Métodos

4.4.1 Material utilizado

La irradiación se realizó durante el mes de agosto de 2024 en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicado en la Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa, Ocoyoacac, Estado de México, C.P. 52750. Se utilizó un irradiador LGI-01 Transelektro equipado con una fuente de ^{60}Co , con una razón de dosis de $351.91 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$.

Se establecieron 10 tratamientos con cuatro repeticiones, cada repetición incluía 10 semillas: Los tratamientos fueron; 0 (control), 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600 y 700 Gy.

4.4.2 Germinación y selección de plantas mutantes (generación M₁)

Las semillas de *Mirabilis jalapa* L. que fueron sometidas a radiación gamma con diferentes dosis, se sembraron en vasos de unicel #10, utilizando como sustrato una mezcla de “peat-moss” y agrolita en proporción 1:1 (v:v). Los contenedores se mantuvieron en condiciones de laboratorio, con riego periódico cada 24 h y bajo luz indirecta hasta la emergencia de las plántulas.

Como consecuencia de los daños inducidos por la radiación, la mayoría de las plantas que germinaron no lograron sobrevivir (menos de 20 % de la población irradiada), y algunas plántulas irradiadas mostraron un desarrollo anómalo o murieron durante las primeras etapas de crecimiento. Los individuos que alcanzaron la etapa de establecimiento fueron considerados como sobrevivientes y posteriormente trasplantados y mantenidos hasta su evaluación morfológica. Se trasplantaron a los 60 días después de la siembra en macetas de plástico de 6” con tierra de monte, y tepojal a una proporción de (3:1) (v:v) con riego periódico cada dos días y fertilización semanal con Nutrisol® multipropósito cada semana,

se mantuvieron en los invernaderos de posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo,

La selección de las plantas sobrevivientes se basó en diferentes características morfológicas, resultados de una encuesta en línea elaborada mediante la plataforma Google Forms, distribuida en redes sociales. El propósito de esta encuesta fue identificar las características de *M. jalapa* L. con mayor preferencia entre los participantes, con el fin de orientar la selección hacia atributos de interés ornamental.

El cuestionario estuvo conformado por 17 preguntas: Cuatro destinadas a la caracterización del público encuestado, 13 orientadas a conocer las características que consideran atractivas y sus preferencias respecto a la estética de la planta. Con base en los resultados obtenidos, la selección de la población M_1 se realizó durante la etapa reproductiva.

4.4.3 Variación morfológica y selección de mutantes (generación M_2)

Las semillas utilizadas en la generación M_2 se obtuvieron de seis plantas M_1 que produjeron descendencia en los tratamientos de 200 Gy (12 plantas), 300 Gy (15 plantas), 400 Gy (nueve plantas) y 500 Gy (nueve plantas). Como testigo se incluyó la población parental (10 plantas). Se consideraron únicamente estas dosis debido a que las plantas correspondientes expresaron las características que recibieron el mayor número de preferencias en la encuesta mencionada.

La siembra se efectuó durante el mes de agosto de 2025 en los invernaderos de Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo. Se utilizaron charolas de plástico de 128 cavidades, se colocó una semilla por cavidad. El mismo mes de agosto, las plántulas fueron trasplantadas a bolsas de plástico de 2 L, con un sustrato compuesto por tierra de monte y tepojal en proporción 2:1. Posteriormente, se aplicó fertilización con NPK 17-17-17. El manejo agronómico fue equivalente al aplicado en la generación M_1 .

4.4.4 Diseño experimental

El experimento se realizó en plantas de la generación M_2 y el experimento se estableció bajo un diseño en bloques completamente al azar (BCA) con cinco tratamientos (cuatro dosis y el testigo) y tres repeticiones, se consideraron tres plantas por repetición. Se evaluaron las siguientes variables morfológicas:

Cuadro 40 Variables morfológicas evaluadas en la generación M_2 frente a la población inicial

Altura de planta (cm)
Ancho de hoja (mm)
Largo de hoja (mm)
Relación ancho/largo de la hoja (mm)
Número de nudos
Distancia entre nudos (mm)
Número de ramas con flor
Longitud de la flor (mm)
Diámetro de la corola (mm)

4.5 Resultados y discusión

4.5.1 Criterios de Selección (generación M_1)

4.5.1.1 Perfil sociodemográfico de los encuestados

La encuesta sobre preferencias morfológicas de *M. jalapa* fue respondida por un total de 350 personas. La distribución por edad mostró que la mayoría se encuentra entre 18 y 30 años (66 %), seguido del grupo de 31 a 50 años (28.30 %), los participantes mayores de 50 años constituyeron 3.8 % y los menores de 18 años el 1.9 %.

Respecto al género, 49.1 % de los encuestados fueron hombres, el 49 % mujeres y el 1.90 % se identificó como género no binario.

En cuanto al lugar de origen, los estados con mayor cantidad de respuestas fueron Ciudad de México (22.27 %), el Estado de México (20.37 %), Veracruz

(9.25 %) y Oaxaca (9 %). Todos los demás estados aportaron porcentajes menores, y 2.3 % de los participantes fueron ciudadanos de otros países.

La experiencia en manejo de plantas se clasificó como profesional (41.5 %), intermedio (30.2 %), básico (15.10 %) y avanzado (13.20 %).

4.5.1.2 Características ornamentales seleccionadas por los encuestados

La mayoría de los participantes encuestados ya conocía la especie (87.4 %), ya sea por haberla cultivado (63.60 %) o haberla visto (23.8 %), mientras que 12.6 % no la conocía. Con respecto a la apariencia de la planta, el 57 % la calificó como atractiva y el 32.4 % como muy hermosa, el 10.30 % como una planta regular y sólo una persona de todos los encuestados considero a la planta como una especie poco atractiva.

Las características en una planta que más procura la población a la hora de comprar una planta para sus jardines o un espacio verde es el color de las flores, seguido de la facilidad de cuidados, la fragancia y el tamaño de las flores

En el color de las flores, la mayoría prefirió las flores de colores combinados (plantas con quimerismo) (55.8 %), seguido de rosa (15.8 %) y rojo (12.6 %).

El 47.9 % de los entrevistados prefirió flores pequeñas, el 35.5 % le gustan ambos tamaños y el 6.3 % le gustan más las flores grandes.

El 34.7 % cree que el follaje es muy importante a la hora de seleccionar una planta, y que este tiene que variar en formas, tamaños y colores, el 31.5 % cree que no es muy importante, y al 2 % no le importa demasiado. El 70.5 % prefiere un follaje variegado y el 29.5 % no.

El 37.5 % del publico entrevistado coincidió en que la planta tenía un aroma fuerte, el 62.5 % no ha percibido ningún aroma en la planta. La mayoría de las personas considera que es necesario explotar esta característica (67.4 %).

Con respecto al ciclo perenne de la planta el 82.5 % de los encuestados no tendrían problema en resembrar la planta.

En cuanto al tipo de crecimiento, 50.4 % prefirió plantas compactas y densas, mientras que 28.9 % no tenía preferencia. Para la altura, 50.7 % optó por medianas (80–100 cm), 39 % por enanas (40–60 cm) y 10.4 % por altas (150 cm). Respecto al uso de la planta, el 47.3 % la ubicaría como planta complementaria en bordes o arriates, 37 % en macetas o contenedores, 14.9 % como planta principal y 1 % no la usaría.

En la selección de plantas, se consideraron principalmente el tamaño de las flores, el tamaño de la planta y el porte, observándose preferencias por flores grandes (47.7 %), plantas de altura mediana (50.3 %) y crecimiento compacto y denso (50.3 %).

Cuadro 41 Perfil sociodemográfico y criterios de preferencia ornamental de los encuestados sobre *Mirabilis jalapa* L.

No	Pregunta	Descripción	Porcentaje
1	Edad	≤ 18 años	1.90 %
		18-30 años	66.00 %
		31-50 años	28.30 %
		> 50 años	3.80 %
2	Género	Masculino	49.10 %
		Femenino	49.00 %
		No binario	1.90 %
3	Lugar de origen	Ciudad de México	22.27 %
		Edo. de México	20.37 %
		Veracruz de Ignacio de la Llave	9.25 %
		Oaxaca	9.00 %
		Puebla	7.16 %
		Chiapas	4.00 %
		Hidalgo	2.88 %
4	Conocimiento en plantas	Básico (conozco las necesidades básicas de las plantas, pero no siempre sobreviven)	15.10 %
		Intermedio (mantengo un jardín regularmente)	30.20 %
		Avanzado (he trabajado en viveros, invernaderos o jardinería)	13.20 %
		Profesional (titulado en agronomía o relacionado a las plantas)	41.50 %
5	Conocimiento de la especie	No la conozco	12.60 %
		Si, la he visto	63.60 %
		Si, ya la he cultivado	23.80 %
6	Evaluación del atractivo estético de la especie	Fea	0.00 %
		Poco atractiva	0.30 %
		Regular	10.30 %

		Atractiva	57.00 %
		Muy hermosa	32.40 %
7	Prioridad de las características al elegir una planta de ornato	Color de las flores	98.62 %
		Facilidad de cuidados	57.79 %
		Fragancia	49.54 %
		Tamaño de las flores	48.62 %
		Resistencia a enfermedades	40.37 %
		Duración de la floración	37.61 %
		Tamaño de la planta	35.32 %
		Porte de la planta	33.49 %
		Color del follaje	15.14 %
8	Análisis de la preferencia cromática de las flores (Incluyendo matices)	Rojo	12.60 %
		Rosa	15.80 %
		Amarillo	8.90 %
		Naranja	2.60 %
		Blanco	4.30 %
		Combinados	55.80 %
9	Distribución de la preferencia por el tamaño de las flores.	No es relevante	10.30 %
		Pequeñas	47.90 %
		Ambas	35.5 %
		Grandes	6.30 %
10	Nivel de importancia de las características del follaje en la elección ornamental	1 (No me interesa)	2 %
		2 (Poco interés)	5.40 %
		3 (Neutro)	31.50 %
		4 (Moderadamente interesado)	26.40 %
		5 (Muy importante)	34.70 %
11	Presencia de follaje variegado a no variegado	No me gusta	29.50 %
		Si me gusta	70.50 %
12	Percepción de la fragancia de la planta.	No lo percibo	62.50 %
		Si lo eh percibido	37.50 %

Cuadro 42... continuación Cuadro 39

No	Pregunta	Descripción	Porcentaje
13	Valoración de la necesidad de promoción de esta característica	1 (No me interesa)	2 %
		2 (Poco interés)	6.30 %
		3 (Neutro)	24.40 %
		4 (Moderadamente interesado)	24.10 %
		5 (Muy importante)	43.30 %
14	Consideración del ciclo de reposo de la planta como una limitación	No me molesta	82.50 %
		Si, me molesta	17.50 %
15	Preferencias de crecimiento de <i>Mirabilis jalapa</i> L.	Compacto y denso	50.40 %
		Vertical y alto	10.60 %
		Expansivo y rastrero	10 %
		No tengo preferencia	28.90 %
15	Preferencia de altura en <i>Mirabilis jalapa</i> L.	Altas (>150 cm)	10.30 %
		Medianas (80 - 100 cm)	50.70 %
		Enanas (40 - 60 cm)	39 %
17	Intención de uso ornamental	Como planta principal en suelo	14.90 %
		En maceta o contenedor	37 %
		Complementaria en los bordes	47.30 %
		No la usaría	1 %

4.5.1. 3. Daños morfológicos en la generación M₁

La aplicación de radiación gamma en las semillas, si bien es una técnica que genera variabilidad genética también genera un espectro de daños o lesiones en la macromolécula del ADN y en otras estructuras celulares. La severidad de estos daños se relaciona con la dosis y la radiosensibilidad de la especie. (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020; Spencer et al., 2021).

La población irradiada mostró anomalías en varios individuos (más del 50 %), las principales lesiones se presentaron en la viabilidad de las semilla y hojas (deformaciones, rizamiento, asimetría, clorosis y necrosis) (Figura 1). Estos fenotipos fueron excluidos de la selección.



Figura 1. Ejemplos de variantes radio inducidas en la forma de la hoja, en plantas de la generación M_1 de *Mirabilis jalapa* L.

4.5.1.4 Selección de la generación M_1

De las plantas irradiadas que lograron desarrollarse, se seleccionaron seis individuos de la generación M_1 que cumplían con el fenotipo buscado a partir de las respuestas del cuestionario. Estos fenotipos se caracterizaron mediante 12 descriptores morfológicos para su selección:

Cuadro 43 Detalles de las características seleccionadas en las plantas #1 (MIRJAL M_1 -200A) 200Gy y en la planta #2 (MIRJAL M_1 -300A) 300 Gy

No	Tipo	Característica	MIRJAL M_1 -200A	MIRJAL M_1 -300A
5	QL	Hábito de crecimiento	Postrado	Postrado
6	QN	Altura de la planta (cm)	Media (21-40)	Baja (10-20)
8	QN	Longitud de las ramas (cm)	Corta (<15)	Corta (<15)
11	QN	Ramificación	Moderada	Moderada
14	QN	Longitud del limbo (cm)	Larga (>20)	Media (10-20)

15	QN	Anchura del limbo (cm)	Media (5–10)	Media (5–10)
25	QN	Longitud del tubo floral (mm)	Corta (<10)	Media
28	QN	Diámetro de la corola (cm)	Pequeño (<3)	Mediano
29	PQ	Color principal de la corola (RHS)	155D (Blanco)	62A (Rosa Malva)
30	PQ	Color secundario de la corola (RHS)	70B (Púrpura Medio)	62A (Rosa Malva)
32	QL	Distribución del color secundario	Manchado	Uniforme
24	QN	Época de floración (días desde siembra)	Muy temprano (<60)	Temprana (60-80)
QL = cualitativo, QN = cuantitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

Cuadro 44 Detalles de las características seleccionadas en las plantas #3 (MIRJAL M₁ -300B) 300Gy y en la planta #4 (MIRJAL M₁ -300C) 300Gy

No	Tipo	Característica	MIRJAL M ₁ -300B	MIRJAL M ₁ -300C
4	QL	Hábito de crecimiento	Erguido	Erguido
5	QN	Altura de la planta (cm)	Baja (10-20)	Media (21-40)
7	QN	Longitud de brotes laterales (cm)	Corta (<15)	Corta (<15)
10	QN	Ramificación	Moderada	Fuerte
14	QN	Longitud del limbo (cm)	Corta (<10)	Media (10-20)
15	QN	Anchura del limbo (cm)	Media (5–10)	Media (5-10)
23	QN	Longitud del tubo floral (mm)	Media	Corta
27	QN	Diámetro de la corola (cm)	Mediano	Pequeño
28	PQ	Color principal de la corola (RHS)	66A (Fucsia)	155D (Blanco)
29	PQ	Color secundario de la corola (RHS)	66A (Fucsia)	67B (Rosa Fucsia Intenso)
30	QL	Distribución del color secundario	Uniforme	Patina

34	QN	Época de floración (días desde siembra)	Temprana (60-80)	Temprana (60-80)
QL = cualitativo, QN = cuantitativo, PQ = pseudocuantitativo.				

Cuadro 45 Detalles de las características seleccionadas en las plantas #5 (MIRJAL M₁ -400A) 400Gy y en la planta #6 (MIRJAL M₁ -500A) 500Gy

No	Tipo	Característica	MIRJAL M ₁ - 400A	MIRJAL M ₁ - 500A
4	QL	Hábito de crecimiento	Erguido	Abierto
5	QN	Altura de la planta (cm)	Media (21-40)	Media (21-40)
7	QN	Longitud de brotes laterales (cm)	Media (15-30)	Media (15-30)
10	QL	Ramificación	Fuerte	Fuerte
14	QN	Longitud del limbo (cm)	Media (10-20)	Media (10-20)
15	QN	Anchura del limbo (cm)	Media (5-10)	Media (5-10)
23	QN	Longitud del tubo floral (mm)	Corta	Media
27	QN	Diámetro de la corola (cm)	Pequeño	Mediano
28	PQ	Color principal de la corola (RHS)	12A (Amarillo Intenso/Canario)	63B (Magenta Brillante)
29	PQ	Color secundario de la corola (RHS)	12A (Amarillo Intenso/Canario)	34C (Salmón Brillante)
30	QL	Distribución del color secundario	Uniforme	Patina
34	QN	Época de floración (días desde siembra)	Tardía (Mayor a 100)	Media (81-100)

4.5.1.5. Generación M₂: Origen y población.

Las plantas seleccionadas de la generación M₁ se dejaron autopolinizar, y generaron un total de 45 individuos, que constituirán la generación M₂. 200 Gy (12 plantas), 300 Gy (15 plantas), 400 Gy (nueve plantas) y 500 Gy (nueve plantas)

4.5.1.6 Evaluación de la generación M₂

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) se realizaron para nueve caracteres morfológicos, tomando como criterio de significancia un F de tablas de 3.84 ($\alpha=0.05$).

Cuadro 46 Resumen del análisis de varianza (ANOVA) para características morfológicas en la generación M₂ de *Mirabilis jalapa* L. F de tablas = 3.84.

Característica evaluada	F Calculado	C.V.	Conclusión ($\alpha=0.05$)
Altura de la planta (cm)	70.66034285	12.37 %	Significativo***
Ancho de la hoja (mm)	12.38894121	11.35 %	Significativo**
Largo de la hoja (mm)	6.95242339	16.60 %	Significativo*
Relación ancha/largo de la hoja (mm)	1.658805679	8.32 %	No significativo
Número de nudos	6.055944056	11.40 %	Significativo*
Distancia entre nudos (mm)	6.20472321	23.90 %	Significativo*
Número de ramas con flor	1.922651934	24.52 %	No significativo
Longitud de la flor (mm)	4.982019828	12.82 %	Significativo*
Diámetro de la corola (mm)	2.26144214	13.14 %	No significativo

Los resultados mostraron que de los nueve caracteres evaluados seis presentan diferencia estadística. (Cuadro 47). Esto confirmó la efectividad de la mutagénesis para generar variabilidad genética en la generación M₂ (Spencer et al., 2021, Riviello-Flores et al., 2022).

Los caracteres que demostraron una alta respuesta a la mutagénesis (valores de más altos) fueron la altura de la planta ($F = 70.66034285$), el ancho de la hoja ($F = 12.38894121$) y el largo de la hoja ($F = 6.95242339$). Estos resultados son consistentes con reportes previos donde las radiaciones ionizantes afectan directamente la división celular y la elongación de los meristemos, resultando en mutantes de porte reducido o modificado (Hernández-Muñoz et al., 2019, Ángeles-Espino et al., 2013, Lemus et al., 2002).

Por otro lado, el diámetro de la corola resultó ser no significativo.

Cuadro 47 Comparación de medias de características morfológicas de *Mirabilis jalapa* L. tratados con radiación gamma frente al testigo, Utilizando la prueba de Dunnett. $\alpha = 0.05$

Característica	DMS	Testigo (0 Gy)	200 Gy	300 Gy	400 Gy	500 Gy
Altura de planta (cm)	6.581	44.3 a	20.7 b	15.9 b	13.789 b	13.489 b
Ancho de hoja (mm)	17.199	75.133 a	76.233 a	61.778 a	50.589 b	44.556 b
Largo de hoja (mm)	37.025	125.211 a	96.856 a	89.978 a	77.4 b	64.289 b
Relación del ancho/largo de la hoja (mm)	N/S					
Número de nudos	1.265	5.6 a	4.5 a	4.4 a	4.2 b	3.6 b
Distancia entre nudos (mm)	25.453	66.833 a	45.8 b	41.377 b	35.344 b	27.166 b
Número de ramas con flor	N/S					
Longitud de la flor (mm)	8.347	29.156 a	30.411a	25.711a	27.85 a	19.3 b
Diámetro de la corola (mm)	N/S					

DMS = Diferencia mínima significativa. Los valores con la misma letra dentro de una misma fila no presentan diferencias estadísticas significativas, de acuerdo con la prueba de Dunnett. ($\alpha = 0.05$)

N/S = No significativo. El análisis de comparación de medias se realizó de forma horizontal para evaluar el efecto de las dosis de Gy.

La significancia estadística se determinó por la presencia de letras diferentes a las del testigo y por la superación del D crítico (diferencia media significativa) (Cuadro 48).

La altura de planta (cm) y la distancia entre nudos (mm) fueron las variables donde se obtuvieron más cambios, todas las dosis (200 Gy, 300 Gy, 400 Gy y 500 Gy) resultaron ser significativamente diferentes del testigo, confirmando que incluso la dosis más baja tiene efectos en la planta. (Figura 2 y 3) Trabajos previos han explorado el potencial de dosis mucho más bajas. Por ejemplo, El-Torky *et al.*, (2011) en la misma especie utilizaron un intervalo de 5 Gy a 20 Gy estimuló el crecimiento de caracteres como la altura de la planta y el número de ramas. Este hallazgo sugiere que, mientras las dosis altas son necesarias para maximizar la variabilidad y obtener mutantes drásticos, las dosis muy bajas pueden inducir un efecto hormético en la especie (Spencer *et al.*, 2021).

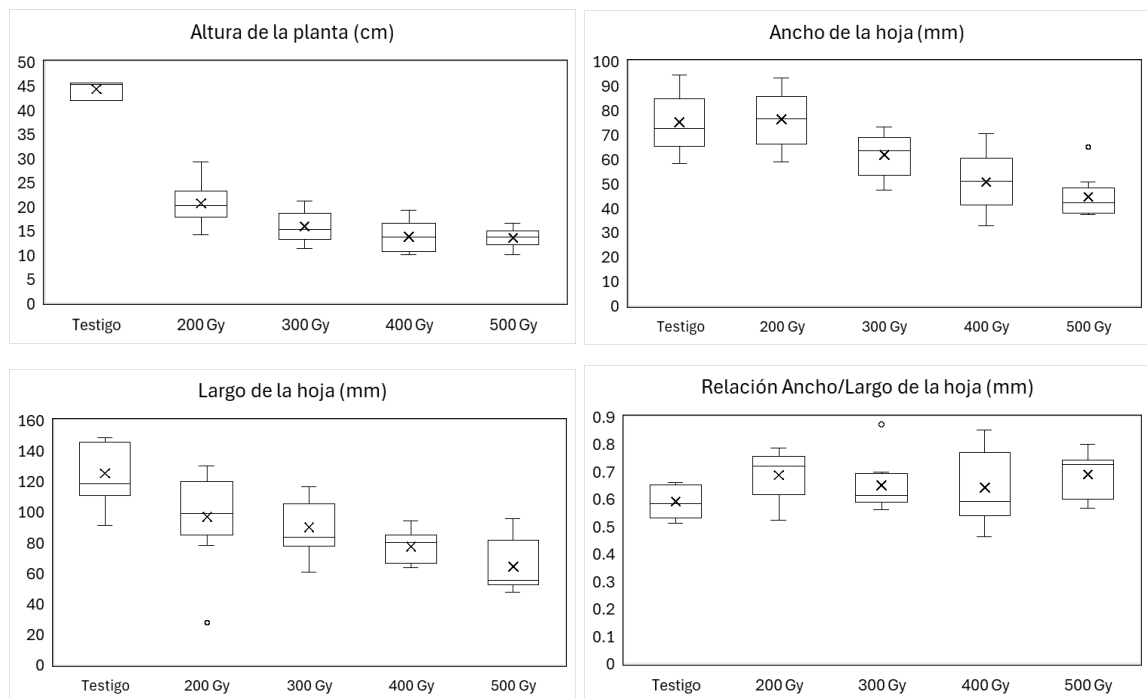


Figura 2. Análisis de la variabilidad fenotípica de *Mirabilis jalapa* L. y efecto de la dosis de radiación gamma sobre nueve caracteres morfológicos de la generación M_2 .

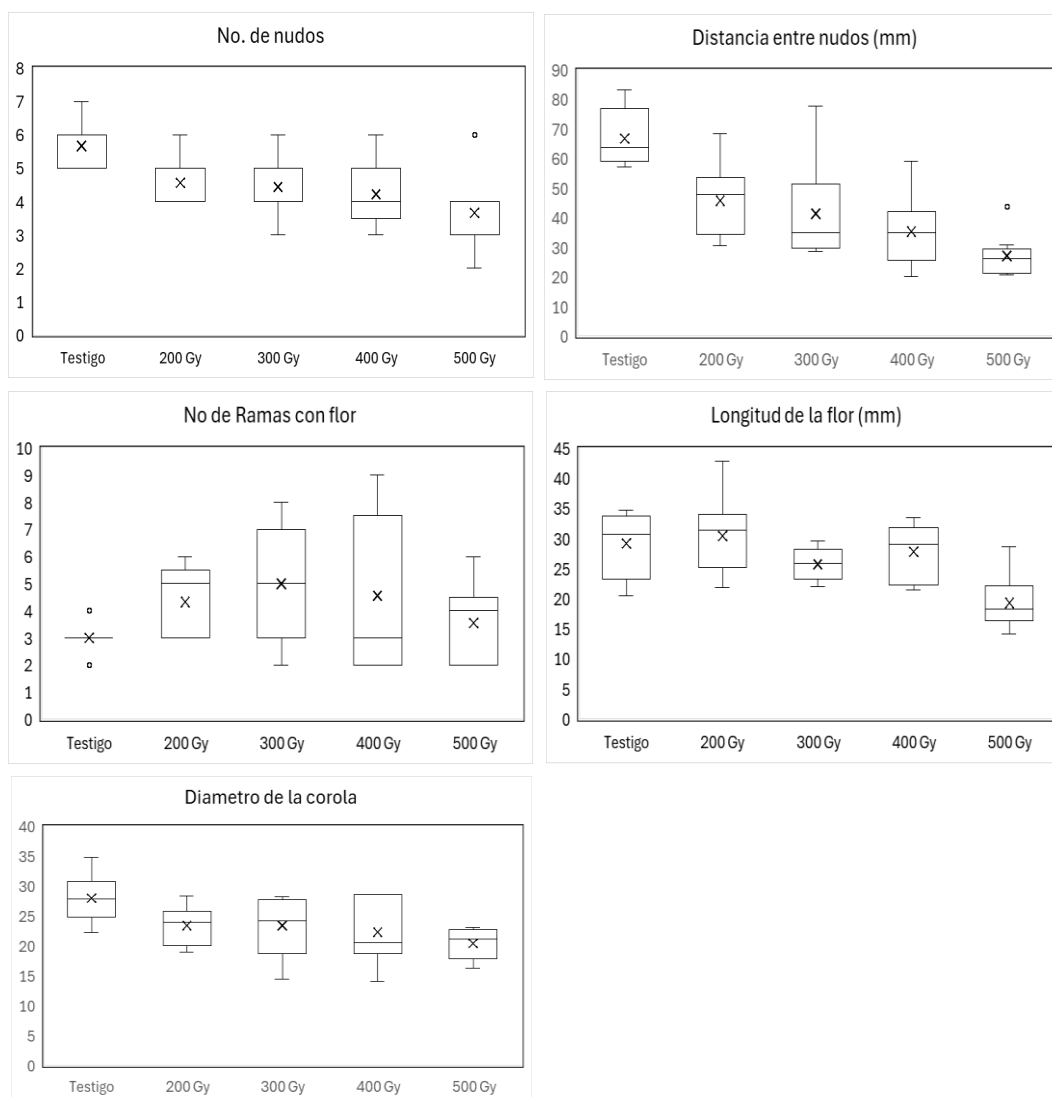


Figura 3... Continua Figura 2

El efecto de las dosis de 500 Gy, al ser significativo en la mayoría de los caracteres, sugiere que se acerca al umbral de toxicidad severa o DL50.

De la población evaluada se seleccionaron tres fenotipos que cumplieran con la mayoría de los atributos seleccionados por los consumidores (Cuadro 49).

Cuadro 48 Caracterización morfológica de los fenotipos seleccionados en la generación M₂ de *Mirabilis jalapa* L.

Característica	MIRJAL M ₂ -300	MIRJAL M ₂ -400A	MIRJAL M ₂ -400B
Hábito de crecimiento	Erguido	Erguido	Erguido
Altura de la planta (cm)	Media (22.5 cm)	Baja (18 cm)	Media (24 cm)
Longitud de las ramas (cm)	Corta (<15)	Corta (<15)	Media (15-30)
Ramificación	Media	Fuerte	Media
Longitud del tubo floral (mm)	Larga (>40)	Corta (<20)	Larga (>40)
Diámetro de la corola (cm)	Mediano (3-6)	Mediano (3-6)	Mediano (3-6)
Color principal de la corola (RHS)	15D (Amarillo medio)	12A (Amarillo Intenso/Canario)	63B (Magenta Brillante)
Color secundario de la corola (RHS)	67A (Rosa Fucsia Brillante)	12A (Amarillo Intenso/Canario)	34A (Rojo-Anaranjado)
Distribución del color secundario	Manchado	Uniforme	Manchado
Época de floración (días desde siembra)	Media (60-100)	Precoz (<60)	Media (60-100)

4.6 Conclusiones

La aplicación de radiación gamma de ⁶⁰Co resultó efectiva para inducir mutaciones que afectaron significativamente la arquitectura de la planta de *Mirabilis jalapa* L. los análisis estadísticos de la generación M₂ mostraron una reducción significativa en la altura de la planta y la distancia entre nudos en comparación con el control, incluso en las dosis más bajas evaluadas (200 Gy). Esta alteración morfológica logró el objetivo de obtener fenotipos de porte más compacto y denso.

Se seleccionaron tres fenotipos en la M₂ con potencial ornamental. Estos genotipos, se alinean con las preferencias del consumidor. Estos tres mutantes representan material genético prometedor para la propagación clonal y posible

registro ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) como nuevas variedades de interés agronómico.

4.7 Literatura citada

- Al-Snafi, A. E., Talab, T. A., Jabbar, W. M., & Alqahtani, A. M. (2021). Chemical constituents and pharmacological activities of *Mirabilis jalapa*—A review. *International Journal of Biological and Pharmaceutical Sciences Archive*, 1(2), 34–45. <https://doi.org/10.30574/ijbpsa.2021.1.2.0303>
- Ángeles-Espino, A., Valencia-Botín, A. J., Virgen-Calleros, G., Ramírez-Serrano, C., Paredes-Gutiérrez, L., & Hurtado-De la Peña, S. (2013). Determinación de la dosis letal (DL50) con ^{60}Co en vitroplántulas de *Agave tequilana* var. Azul. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 36(4), 381–386.
- Cen, Y., Li, Y., Jiao, H., Wang, X., & Bai, Z. (2016). Effect of *Mirabilis jalapa* (Linn.) growth on microbial community in bioremediation of petroleum-contaminated saline-alkali soil. *Agricultural Science & Technology*, 17(5), 1223–1227.
- Fay, J. J. (1980). Nyctaginaceae. *Flora de Veracruz: Fascículo 13* (pp. 1–54). Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
- Hernández-Ledesma, P., & Flores-Olvera, H. (2023). El género *Mirabilis* (Nyctaginaceae) en México: Diversidad, distribución y tratamiento taxonómico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, Article e945014. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.5014>
- Hernández-Muñoz, S., Pedraza-Santos, M. E., López, P. A., Gómez-Sanabria, J. M., & Morales-García, J. L. (2019). Mutagenesis in the improvement of ornamental plants. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(3), 151–167. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.12.022>
- International Atomic Energy Agency. (2025). *Mutant Variety Database (MVD)*. IAEA Nucleus. Recuperado el 9 de septiembre de 2025, de <https://nucleus.iaea.org/sites/mvd/SitePages/Search.aspx>

- Lemus, Y., Natera, J. R. M., Cedeño, J. R., & Gómez, V. O. (2002). Radiosensibilidad de dos genotipos de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) a radiaciones gamma. *Revista Científica UDO Agrícola*, 2(1), 22–28.
- Liya, F. I., Yasmin, M. F., Chowdhury, N. S., Charu, T. K., & Fatema, I. B. (2021). *Mirabilis jalapa*: A review of ethno and pharmacological activities. *Advancement in Medicinal Plant Research*, 9(1), 1–10.
- Peiris, D. S. H. S., Fernando, D. T. K., Senadeera, S. P. N. N., Chandana, A. K., & Ranaweera, C. B. (2022). *Mirabilis jalapa* Linn: A folklore ayurvedic medicinal plant in Sri Lanka. *Asian Plant Research Journal*, 10(2), 21–41. <https://doi.org/10.9734/APRJ/2022/v10i2187>
- Peng, S., Zhou, Q., Cai, Z., & Zhang, Z. (2009). Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis jalapa* L. in a greenhouse plot experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3), 1490–1496. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.036>
- Puerta-Ortiz, J. A., & Morales-Aramburo, J. (2020). Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27(S1), 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.005>
- Ranjitha, M. V., & Rajashekhar, U. (2022). Cultivation and hybrids, pharmacognostic and pharmacological review on *Mirabilis jalapa*. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 11(7), 2424–2432. <https://doi.org/10.20959/wjpr20227-24242>
- Riviello-Flores, M. L., Cadena-Iñiguez, J., Ruiz-Posadas, L. M., Arévalo-Galarza, M. L., Castillo-Juárez, I., Soto-Hernández, M., & Castillo-Martínez, C. R. (2022). Use of gamma radiation for the genetic improvement of underutilized plant varieties. *Plants*, 11(9), Article 1161. <https://doi.org/10.3390/plants11091161>

Spencer, M. M., Forster, B. P., & Jankuloski, L. (2021). *Manual de mejoramiento por mutación* (3ra ed.). FAO/OIEA. <https://doi.org/10.4060/i9285es>

5. PRUEBA DE DOSIS LETAL 50 EN MARAVILLA ESTIMACIÓN DE LA DL50 CON RAYOS GAMMA (^{60}Co) EN SEMILLAS DE MARAVILLA

5.1. RESUMEN GENERAL

La mutagénesis inducida por radiación gamma es una herramienta útil dentro del mejoramiento genético, ya que permite generar variabilidad genética a través de mutaciones, uno de los requisitos necesarios para llevarse a cabo es tener una estimación precisa del rango de radiosensibilidad de la especie. Este estudio tuvo como objetivo determinar el rango de radiosensibilidad de las semillas de Maravilla (*Mirabilis jalapa* L.), se evaluó el porcentaje de germinación (PG), el porcentaje de supervivencia (PS) y la longitud de la plúmula (LP). Se irradiaron semillas con nueve dosis de 100 a 700 Gy, además del grupo control (0 Gy). Los resultados mostraron baja germinación en todo el experimento, aunque se observó un efecto hormético significativo a los 100 Gy. Esta dosis incrementó ocho veces el porcentaje de germinación (PG) en comparación con el testigo (5 %). El porcentaje de supervivencia (PS) comenzó a disminuir considerablemente a partir de los 300 Gy, lo cual señaló el inicio de efectos nocivos por radiación. Debido a la baja germinación de la población testigo, no fue posible estimar la dosis letal 50 (DL50). Se concluye que el intervalo de dosis más prometedor para inducir mutaciones viables se encuentra entre los 250 Gy (mayor supervivencia) y 500 Gy. Para futuros ensayos de radiosensibilidad, se recomienda el uso de métodos pregerminativos que garanticen una población de plantas uniformes.

Palabras clave; Radiosensibilidad, germinación, mutaciones, mejoramiento genético.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Manuel Alejandro Cano Domínguez
Director de Tesis: Dr. Rogelio Castro Brindis

5.2. ABSTRACT

ESTIMATION OF THE LETHAL DOSE 50 (LD50) IN *Mirabilis jalapa* USING GAMMA RAYS (^{60}Co)

Gamma radiation–induced mutagenesis is a valuable tool in plant breeding because it generates genetic variability through mutation events. A fundamental requirement for its application is the accurate estimation of the radiosensitivity range of the species. The objective of this study was to determine the radiosensitivity range of *Mirabilis jalapa* L. seeds through the evaluation of germination percentage (PG), survival percentage (PS), and plumule length (LP). Seeds were irradiated at nine doses ranging from 100 to 700 Gy, in addition to a control group at 0 Gy. The results indicated low germination throughout the experiment; however, a significant hormetic response was observed at 100 Gy, resulting in an eightfold increase in germination percentage compared with the control (5 %). Survival percentage began to decline markedly at doses above 300 Gy, suggesting the onset of detrimental radiation effects. Due to the low germination rate in the control population, it was not possible to estimate the lethal dose 50 (LD50). The findings indicate that the most promising radiation range for inducing viable mutations lies between 250 Gy (highest survival) and 500 Gy. For future radiosensitivity studies, the use of pregerminative treatments is recommended to ensure a uniform seedling population.

Keywords: Radiosensitivity, germination, mutations, plant breeding

Thesis of Master in Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Manuel Alejandro Cano Domínguez
Advisor: Dr. Rogelio Castro Brindis

5.3. Introducción

La mutagénesis mediante irradiación gamma de Cobalto-60 (^{60}Co) constituye una herramienta útil en el mejoramiento genético de especies vegetales, tiene la función de generar variación genética y fenotípica en una especie (Spencer et al., 2022). Este tipo de radiación puede provocar daños directos e indirectos en las células, generando alteraciones estructurales en el ADN (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020), induciendo cambios físicos, biológicos y químicos en las células, que alteran su normal funcionamiento (Spencer et al., 2022; Ludovici et al., 2020; Jan et al., 2012).

Esta técnica ha sido aplicada con éxito en diferentes grupos de plantas, tanto ornamentales, medicinales, alimenticias, industriales y forestales, se han obtenido 3457 nuevas variedades hasta la fecha (IAEA, 2025). Para optimizar y asegurar el éxito en los programas de mejoramiento genético por mutaciones, la radiosensibilidad de la especie objetivo debe ser estimada, como un prerrequisito metodológico fundamental, la estimación de la radiosensibilidad permite determinar la dosis óptima para la inducción de mutaciones viables y justo por debajo de la dosis que reduce la viabilidad, supervivencia o crecimiento de los individuos a la mitad (Spencer et al., 2022).

Para el pasto rosado (*Melinis repens*), la dosis óptima de radiación se ha determinado en 304 Gy (Corrales-Lerma, 2019). Por su parte, se ha reportado la radiosensibilidad de las semillas de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*) a 35 Gy (Wang, Wu et al., 2020), y para la especie *Euphorbia fulgens*, a 300 Gy (Pérez-Nicolás et al., 2022).

En contraste, los estudios con cultivo in vitro suelen revelar una mayor sensibilidad a la radiación ionizante. Por ejemplo, los explantes de gerbera (*Gerbera jamesonii*) mostraron una dosis de radiosensibilidad de 20 Gy (Hasbullah et al., 2012). De manera similar, se observó que los esquejes de hibisco (*Hibiscus rosa-sinensis*) presentaron sensibilidad a 30 Gy (Shamsudin et al., 2005), y los ápices de la orquídea *Dendrobium sonia* registraron una radiosensibilidad a 30 Gy (Billore et al., 2019). Además, se ha reportado que los

protocormos *in vitro* de *Laelia autumnalis* presentan una radiosensibilidad dentro del rango de 28 a 53 Gy (Hernández-Muñoz et al., 2017).

La dosis óptima no es un valor constante, sino que depende de múltiples factores intrínsecos y extrínsecos, tales como la especie objetivo, el contenido de humedad del material vegetal, el órgano o tejido irradiado, y la tasa de dosis utilizada (Mba, 2013).

El estudio se centró en *Mirabilis jalapa* L., una especie que carece de datos confiables y publicados sobre su radiosensibilidad a la radiación gamma. Un problema en la investigación es la latencia y poca germinación de las semillas. El presente estudio abordó la prueba de radiosensibilidad en la especie, con el objetivo de determinar el intervalo preliminar de radiosensibilidad en las semillas de *M. jalapa* L. a la radiación gamma ^{60}Co mediante la evaluación de la germinación, el porcentaje de supervivencia y la altura de plántula

5.4. Materiales y Métodos

5.4.1. Material vegetal

Se utilizaron semillas de *Mirabilis jalapa* L. provenientes de una población local ubicada en Texcoco de Mora, Estado de México con coordenadas aproximadas 19°30'17"N 98°53'19"W, elevación 2249.98 msnm, colectadas a partir de plantas adultas en estado de madurez de fruto. Antes de la irradiación se seleccionaron las semillas por tamaño y uniformidad. Las semillas se limpiaron manualmente y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su uso. Se resguardaron 200 semillas de la misma colecta en el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal de la Universidad Autónoma Chapingo con el número de colecta: MAI209.

5.4.2 Irradiación gamma

La irradiación de las semillas de *Mirabilis jalapa* L. se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicado en la Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa, Ocoyoacac, Estado de México, C.P. 52750. Se utilizó un irradiador modelo LGI-01 Transelektro, equipado con una fuente de ^{60}Co . La

razón de dosis (tasa de dosis) de la fuente, fue de $351.91 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$. Se irradiaron 9 dosis, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600 y 700 Gy.

5.4.3 Diseño experimental

Con respecto a las semillas tratadas, se estableció un diseño completamente al azar con diez tratamientos de irradiación (incluido el testigo) para la prueba preliminar de radiosensibilidad. Se estableció un lote de 40 semillas para cada dosis.

5.4.4 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron porcentaje germinación (PG), longitud de plúmula (LP) y porcentaje de sobrevivencia (PS).

Una semilla se consideró germinada cuando la radícula emerge y alcanza una longitud igual o mayor a 2 mm. Los conteos se realizaron diariamente hasta que no se observó germinación por un periodo consecutivo.

Para calcular el porcentaje de germinación en cada repetición; se calculó como el número total de semillas germinadas al final del periodo de evaluación, entre el total de semillas sembradas, esto multiplicado por 100.

$$\text{Germinacion (\%)} = \left(\frac{\text{Núm. de semillas germinadas}}{\text{Total de semillas sembradas}} \right) \times 100$$

Para obtener LP y PS se dejaron crecer las plántulas hasta que la mayoría alcanzara el primer par de hojas reales.

5.4.5 Condiciones de siembra

Las semillas se sembraron en vasos de unicel #10, una semilla por vaso se utilizó como sustrato una mezcla de “peatmoss” y agrolita en proporción 1:2 (v:v). Se mantuvieron en condiciones de laboratorio con luz indirecta. Las semillas se regaban periódicamente. No se aplicaron tratamientos pregerminativos a las semillas.

5.5. Resultados y discusión

El experimento duro 40 días, con los datos de germinación se modeló una ecuación polinomial de tercer grado ($R^2= 0.6081$)

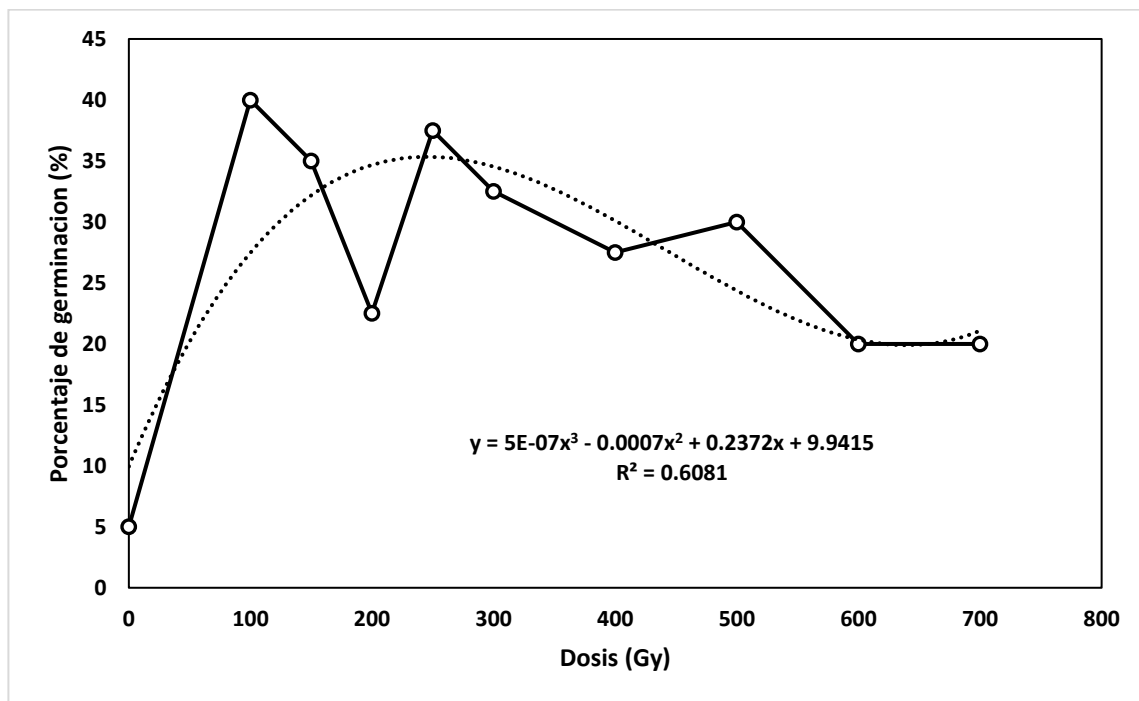


Figura 4. Porcentaje de germinación en diferentes dosis de ^{60}Co en semillas de *Mirabilis jalapa* L.

Los resultados del porcentaje de germinación muestran baja germinación en todas las dosis, sin embargo, fue el grupo control quien alcanzo el porcentaje más bajo de germinación (5 %) en las semillas de *Mirabilis jalapa* L.

Los resultados obtenidos muestran efecto hormético de la radiación sobre la germinación en todas las dosis. La dosis de 100 Gy incrementó la germinación en ocho veces superior al testigo. Esto sugiere que la radiación puede haber activado rutas metabólicas precursoras de la germinación, tal como lo mencionaron Ramírez et al., (2006) al indicar que la radiación puede ayudar en la germinación de diversas especies cuando estas presentan latencia o cuando las condiciones ambientales limitan la germinación. Sin embargo, la respuesta de la germinación depende de varios factores, tanto aspectos morfológicos, como el

grado de sensibilidad a la radiación gamma (Chen et al., 2020; Muhammad et al., 2021; Hasan et al., 2020; Sani Haliru et al., 2020).

A dosis superiores a los 500 Gy, la germinación tendió a disminuir o estabilizarse en niveles bajos. Este comportamiento indica que los efectos nocivos de la alta radiación comienzan a contrarrestar cualquier beneficio inicial; además, estas dosis provocan lesiones, irregularidades en la síntesis de proteínas, desequilibrio hormonal e incluso la muerte (Majeed et al., 2018; Ulukapi, 2021).

Diversos estudios han señalado el daño que puede provocar la radiación ionizante al ADN y como en algunos casos este tiene la capacidad de repararse y generar cambios que podrían expresarse en un mayor vigor o rendimiento (Andrew-Peter-León et al., 2021; Choi et al., 2021; Hong et al., 2022). Diversos estudios también han encontrado el efecto estimulante de la radiación en diferentes especies (Mullainathan & Aruldoss, 2015; Majeed et al., 2018; Hase et al., 2020).

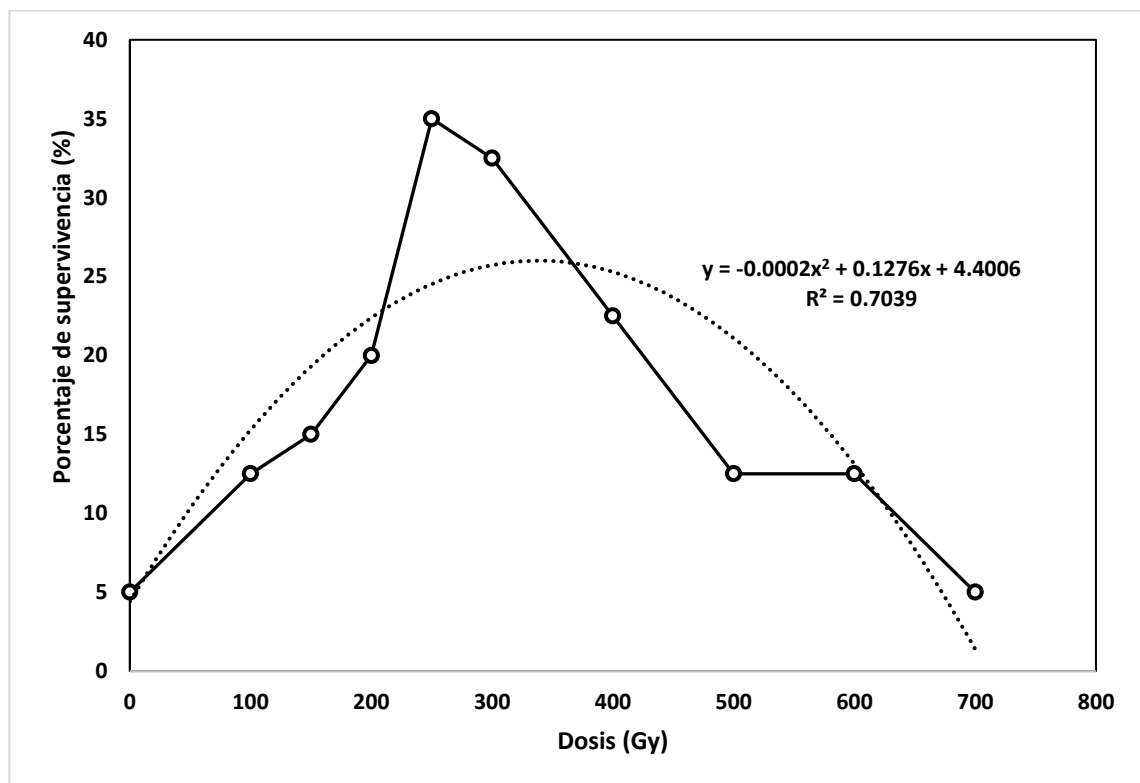


Figura 5. Porcentaje de supervivencia en diferentes dosis de ^{60}Co en semillas de *Mirabilis jalapa* L.

El porcentaje de supervivencia (%), fue modelado con una ecuación polinomial de segundo grado (cuadrática) ($R^2 = 0.7033$).

A partir de los 300 Gy, el porcentaje de supervivencia comenzó a disminuir, y en dosis altas, como 700 Gy redujeron la supervivencia a niveles cercanos al testigo. Esto podría estar indicando que el daño celular y la radio inhibición superan el efecto estimulador, conduciendo a una alta mortalidad de las semillas. La dosis donde hubo mayor sobrevivencia fue 250 Gy. Muchas de las plantas no lograban desarrollar el primer par de hojas reales, se mantenían en etapa de cotiledones y muchas presentaban pudrición o clorosis.

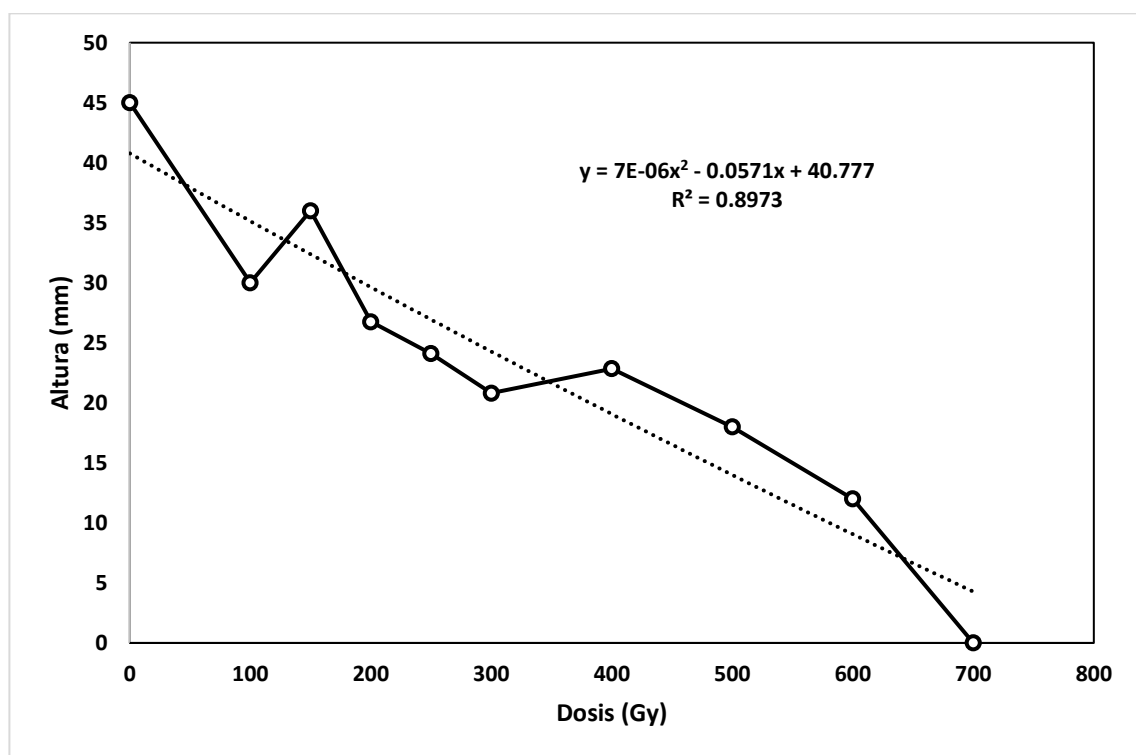


Figura 6. Promedio de altura en diferentes dosis de ^{60}Co en semillas de *Mirabilis jalapa* L.

Para la gráfica de promedios de altura de plántula (mm), los datos se modelaron con una ecuación polinomial de segundo grado (cuadrática; $R^2 = 0.8973$)

Aunque la tendencia general es decreciente, se observa ligero efecto hormético en el promedio de las alturas.

Mullainathan & Aruldoss (2015) indicaron en el cultivo de *C. annuum* L. a dosis de 500 Gy provocó plantas de porte enano (≤ 20.16 cm), en comparación con las plantas testigo (65 a 72.8 cm). En el cultivo de ajonjolí a dosis de 500, 550 y 600 Gy, ocasionaron afectaciones significativas y originaron plantas de menor tamaño (Llaver-Valencia et al., 2025).

Estos resultados sugieren que la respuesta de las plantas a la radiación es muy diversa y no puede estudiarse de manera lineal. Por el contrario, presenta efectos positivos a dosis bajas y negativos a dosis altas; es en estas últimas dónde se puede encontrar el mayor número de mutaciones, así como casos de plantas tolerantes a la radiación (Croseth-Palazín et al., 2023; Olasupo et al., 2016).

5.6. Conclusión y recomendación

El intervalo de dosis de trabajo más prometedor para causar mutaciones (el que causa suficiente daño para inducir mutaciones, pero mantiene la supervivencia) probablemente se encuentra entre 250 Gy (máxima supervivencia) y 500 Gy (donde inician los efectos nocivos severos)

No fue posible estimar la dosis letal para *Mirabilis jalapa* L. debido a la baja germinación de sus semillas. Por lo tanto, se recomienda el uso de métodos pregerminativos en futuras investigaciones, con el fin de garantizar una población de plántulas suficiente y uniforme para nuevos ensayos de radiosensibilidad.

5.7 Literatura citada

- Andrew-Peter-Leon, M. T., Ramchander, S., Kumar, K. K., Muthamilarasan, M., & Pillai, M. A. (2021). Assessment of efficacy of mutagenesis of gamma irradiation in plant height and days to maturity through expression analysis in rice. *PLoS ONE*, 16(1), Article e0245603. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245603>
- Billore, V., Mirajkar, S. J., Suprasanna, P., & Jain, M. (2019). Gamma irradiation induced effects on *in vitro* shoot cultures and influence of monochromatic light regimes on irradiated shoot cultures of *Dendrobium Sonia* Orchid. *Biotechnology Reports*, 22, Article e00343. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00343>
- Chen, T., Huang, L., Wang, M., Huang, Y., Zeng, R., Wang, X., Wang, L., Wan, S., & Zhang, L. (2020). Ethyl methyl sulfonate-induced mutagenesis and its effects on peanut agronomic, yield and quality traits. *Agronomy*, 10(5), 655. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050655>
- Choi, H. I., Han, S. M., Jo, Y. D., Hong, M. J., Kim, S. H., & Kim, J. B. (2021). Effects of acute and chronic gamma irradiation on the cell biology and physiology of rice plants. *Plants*, 10(3), 439. <https://doi.org/10.3390/plants10030439>
- Corrales-Lerma, R., Avendaño-Arrazate, C. H., Morales-Nieto, C. R., Santellano-Estrada, E., Villarreal-Guerrero, F., Melgoza-Castillo, A., Álvarez-Holguín, A., & Gómez-Simuta, Y. (2019). Radiación gamma para inducción de mutagénesis en pasto rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka]. *Acta Universitaria*, 29, Article e1847. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1847>
- Crosetos-Palazín, M. I., Antúnez-Ocampo, O. M., Sabino-López, J. E., Espinosa-Rodríguez, M., & Cruz-Izquierdo, S. (2023). Cambios horméticos por efecto de radiación gamma ^{60}Co en plantas M1 de chile apaxtleco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), Article e3444. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3444>
- Hasan, N., Rafii, M. Y., Rahim, H. A., & Ahmad, F. (2020). Mutagenic effect of ion beam irradiation on survival and seedling growth characters of Malaysian rice (*Oryza sativa* L.) variety MR84. *Annals of Agri Bio Research*, 25, 228–233.
- Hasbullah, N. A., Taha, R. M., Saleh, A., & Mahmud, N. (2012). Irradiation effect on *in vitro* organogenesis, callus growth and plantlet development of

Gerbera jamesonii. *Horticultura Brasileira*, 30(2), 252–257.
<https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200010>

Hernández-Muñoz, S., Pedraza-Santos, M. E., López, P. A., Cruz-Torres, E. D. L., Fernández-Pavía, S. P., Martínez-Palacios, A., & Martínez-Trujillo, M. (2017). Determinación de la DL50 y GR50 con rayos gamma (^{60}Co) en protocormos de *Laelia autumnalis* in vitro. *Agrociencia*, 51(5), 507–524.

Hong, M. J., Kim, D. Y., Jo, Y. D., Choi, H. I., Ahn, J. W., Kwon, S. J., Kim, S. H., Weon, Y. S., & Kim, J. B. (2022). Biological effect of gamma rays according to exposure time on germination and plant growth in wheat. *Applied Sciences*, 12(6), 3208. <https://doi.org/10.3390/app12063208>

International Atomic Energy Agency. (2025). *Mutant Variety Database (MVD)*. IAEA Nucleus. Recuperado el 9 de septiembre de 2025, de <https://nucleus.iaea.org/sites/mvd/SitePages/Search.aspx>

Jan, S., Parween, T., Siddiqi, T. O., & Mahmooduzzafar. (2012). Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews*, 20(1), 17–39. <https://doi.org/10.1139/a11-021>

Llaver-Valencia, E. C., Antúnez-Ocampo, O. M., López-López, M. E., Sabino-López, J. E., Martínez-Cruz, A. B., & Cruz-Izquierdo, S. (2025). Efecto de la radiación gamma en la germinación y supervivencia de plántulas en la variedad de ajonjolí pachequeño. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 48(2), 249–257. <https://doi.org/10.35196/rfm.2025.2.151>

Ludovici, G. M., Oliveira de Souza, S., Chierici, A., Cascone, M. G., d'Errico, F., & Malizia, A. (2020). Adaptation to ionizing radiation of higher plants: From environmental radioactivity to Chernobyl disaster. *Journal of Environmental Radioactivity*, 222, Article 106375. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106375>

Majeed, A., Muhammad, Z., Ullah, R., & Ali, H. (2018). Gamma irradiation I: Effect on germination and general growth characteristics of plants – a review. *Pakistan Journal of Botany*, 50(6), 2449–2453.

Muhammad, I., Rafii, M. Y., Nazli, M. H., Ramlee, S. I., Harun, A. R., & Oladosu, Y. (2021). Determination of lethal (LD) and growth reduction (GR) doses on acute and chronic gamma-irradiated Bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.] varieties. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 14(1), 133–145. <https://doi.org/10.1080/16878507.2021.1883320>

- Mullainathan, L., & Aruldoss, T. (2015). Effect of gamma rays in induced morphological mutants on M₂ generation of chilli (*Capsicum annuum* L.) var. K1. *International Letters of Natural Sciences*, 3, 19–24. <https://doi.org/10.56431/p-lny1ps>
- Olasupo, F. O., Ilori, C. O., Forster, B. P., & Bado, S. (2016). Mutagenic effects of gamma radiation on eight accessions of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *American Journal of Plant Sciences*, 7(3), 339–351. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.72034>
- Puerta-Ortiz, J. A., & Morales-Aramburo, J. (2020). Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27(S1), 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.005>
- Ramírez, R., González, L. M., Camejo, Y., Zaldívar, N., & Fernández, Y. (2006). Estudio de radiosensibilidad y selección del rango de dosis estimulantes de rayos X en cuatro variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 27(1), 63–67.
- Sani Haliru, B., Rafii, M. Y., Mazlan, N., Ramlee, S. I., Muhammad, I., Silas Akos, I., & Rini Bashir, Y. (2020). Recent strategies for detection and improvement of brown planthopper resistance genes in rice: A review. *Plants*, 9(9), Article 1202. <https://doi.org/10.3390/plants9091202>
- Spencer, M. M., Forster, B. P., & Jankuloski, L. (2021). *Manual on mutation breeding* (3rd ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ulukapi, K. (2021). Hormetic effect of gamma irradiation under salt stress conditions in *Phaseolus vulgaris*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 81(3), 256–269. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392021000300256>
- Wang, L., Wu, J., Lan, F., & Gao, P. (2020). Morphological, cytological and molecular variations induced by gamma rays in *Chrysanthemum morifolium* 'Donglinruixue'. *Folia Horticulturae*, 32(1), 87–96. <https://doi.org/10.2478/fhort-2020-0009>