

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES



“SENSIBILIDAD DE CULTIVARES SOBRESALIENTES DE GLADIOLO
OBTENIDOS DE IRRADIACIÓN DE Co^{60} A LA MARCHITEZ por *Fusarium.spp.*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA

ARLIN EMMA AYALA VILLADA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Estado de México, Enero 2023.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES



“SENSIBILIDAD DE CULTIVARES SOBRESALIENTES DE GLADIOLO
OBTENIDOS DE IRRADIACIÓN DE Co^{60} A LA MARCHITEZ por *Fusarium.spp*”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA

ARLIN EMMA AYALA VILLADA

COMITÉ DE TUTORES:

DR. JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE

DR. RÓMULO GARCÍA VELASCO

DR. ÁLVARO CASTAÑEDA VILDÓZOLA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Estado de México, Enero 2023.

RESUMEN

El gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* L.) es la ornamental de mayor importancia producidas a campo abierto en el Estado de México, cuya problemática más importante es la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* sp. *gladioli*, que merma la producción hasta 100%. El uso de cultivares resistentes es una alternativa de manejo de la enfermedad, pero se carece de ellos, una alternativa para generarlos es la irradiación. El objetivo de esta investigación fue evaluar la sensibilidad de los cultivares sobresalientes de gladiolo variedad blanca borrega obtenidos de la irradiación de Co^{60} a la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. El experimento se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agrícolas durante 2020-2021. Se evaluaron cultivares sobresalientes de gladiolo variedad Blanca Borrega a dosis de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 Gy, procedentes de una segunda y tercera generación, así como un testigo sin irradiar proveniente de cultivo *in vitro*. Los cormos se sembraron en macetas con suelo estéril e inoculados con 5.4×10^4 conidios de *Fusarium*, en un diseño completamente al azar en condiciones de vivero. Se registró la incidencia de la enfermedad, severidad, mortandad de planta y momificación de cormo en almacén. El análisis de varianza se realizó con PROC GLM en el programa SAS, la separación de medias se realizó con la prueba de LSD α 0.05%, y se cuantificó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad con el programa R. Los cultivares evaluados expresaron diferentes niveles de resistencia, los cultivares de 80, 90 y 100 Gy se categorizaron como altamente resistentes, con un nivel de severidad de clase 0, la mortandad en planta y momificación de cormo en almacén <15% y la menor área bajo la curva. Tanto el testigo como los cultivares a 40 y 60 Gy expresaron la mayor susceptibilidad.

Palabras clave: *Gladiolus grandiflorus*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*., marchitez, cultivares resistentes.

SUMMARY

The gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) is the most important ornamental produced in open fields in Mexico State. Its most serious problem is wilt caused by *Fusarium oxysporum* sp. *gladioli*, which can deplete production by up to 100%. The use of resistant cultivars is one alternative for disease management. When no such cultivars are available, irradiation can be an effective method to produce them. The objective of this study was to evaluate the sensitivity to wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* of outstanding gladiolus cultivars of the Blanca Borrega variety obtained by irradiation with Co⁶⁰. The experiment was carried out at the Facultad de Ciencias Agrícolas in 2020–2021. We evaluated second- and third-generation plants of outstanding cultivars of Blanca Borrega variety gladiolus at doses of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 100 Gy, as well as a non-irradiated control derived from *in vitro* cultivation. The corms were planted in sterile soil and in soil inoculated with 5.4×10^4 *Fusarium* conidia, in a completely random design under greenhouse conditions. We recorded disease incidence and severity, plant mortality, and corm mummification during storage. An analysis of variance was carried out using PROC GLM in the program SAS, means were compared using the LSD test with $\alpha=0.05\%$, and the area under the curve of disease progression was quantified using the program R. The cultivars evaluated expressed different degrees of resistance; cultivars from 80, 90 and 100 Gy were categorized as highly resistant, with a severity level class of 0, plant mortality and corm mummification <15%, and the lowest area under the curve. The control and the 40 and 60 Gy cultivars expressed the highest susceptibility.

Key words: *Gladiolus grandiflorus*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*., wilt, resistant cultivars.

i)	CONTENIDO	
I	INTRODUCCIÓN	1
II	REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1	Origen e Importancia del cultivo de Gladiolo	6
2.2	Países productores	8
2.2.1	Gladiolo en México	8
2.3.1	Clasificación Taxonómica del Gladiolo	9
2.3.2	Descripción botánica	10
2.3.3	Especies y variedades	10
2.4	Fenología del gladiolo	11
2.5	Problemas fitosanitarios del gladiolo	14
2.6	Fusarium	16
2.6.1	Marchitez Vascular	19
2.6.2	Taxonomía	20
2.6.3	Morfología	21
2.6.4	Huéspedes	23
2.6.5	Sintomatología	24
2.6.5.1	Síntomas en el cormo	24
2.6.5.2	Sintomatología en la planta	25
2.6.6	Epidemiología	26
2.7	Manejo integrado de la enfermedad	27
2.8	Mejoramiento genético en el control de la enfermedad	30
2.8.1	Usos de la irradiación en mejoramiento genético	32

III	JUSTIFICACIÓN	34
IV	HIPÓTESIS	35
V	OBJETIVO GENERAL	35
5.1	Objetivos Específicos	35
VI	MATERIALES Y METODOS	36
6.1	Material vegetal	37
6.2	Diseño experimental	37
6.3	Establecimiento del ensayo	37
6.4	Aislamiento del inóculo de Fusarium	39
6.5	Método de inoculación	40
6.6	Muestreo	42
6.7	VARIABLES EVALUADAS	43
6.8	Análisis de datos	44
VII	RESULTADOS	46
7.1	Incidencia	46
7.2	Mortandad en planta	50
7.3	Severidad	51
7.4	Categorización de la resistencia de los cultivares sobresalientes	53
7.5	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)	54
7.8	Resultados de la evaluación del desarrollo vegetativo	55
7.9	Otros resultados	58
	Capítulo I	63
VIII	DISCUSIONES GENERALES	90

IX	CONCLUSIONES	95
X	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
XI	ANEXOS	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del vivero anexo al invernadero número tres, de la Facultad de Ciencias Agrícolas U.A.E.Méx.....	36
Figura 2.	F Selección por tamaño de los cormos de los materiales sobresalientes de la segunda y tercera generación.....	37
Figura 3.	Preparación del sustrato y contenedores.....	38
Figura 4.	Siembra de cormos de los cultivares sobresalientes de las dosis de irradiación.....	39
Figura 5.	Siembra de cormos de los cultivares sobresalientes de las dosis de irradiación.....	39
Figura 6.	Aislamiento y multiplicación del inóculo de Fusarium.....	40
Figura 7.	Preparación y conteo del inóculo de Fusarium.....	41
Figura 8.	Inoculación del patógeno al tallo de las plantas.....	41
Figura 9.	Muestreos para datos de desarrollo, incidencia y severidad de la enfermedad en planta.....	42
Figura 10.	Toma de datos: a) mortandad en cormo 60 Gy, b) mortandad en cormo 40 Gy, d) porcentaje de incidencia en cormo del Testigo, e) porcentaje de incidencia en cormo Testigo.....	43

Figura 11.	Incidencia de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>gladioli</i> en planta en los cultivares sobresalientes de gladiolo.....	47
Figura 12.	Incidencia de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>gladioli</i> en cormos de los cultivares sobresalientes de gladiolo.....	49
Figura 13.	Mortandad por <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>gladioli</i> los cultivares sobresalientes de gladiolo.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Análisis de varianza de la incidencia de la enfermedad en planta ciclo 2020.....	46
Cuadro 2.	Análisis de varianza de la incidencia de la enfermedad en planta ciclo 2021.....	47
Cuadro 3.	Análisis de varianza de la incidencia de la enfermedad en cormo ciclo 2020.....	48
Cuadro 4.	Análisis de varianza de la incidencia de la enfermedad en cormo ciclo 2021.....	49
Cuadro 5.	Clasificación de la severidad de la enfermedad en los cultivares sobresalientes de gladiolo.....	52
Cuadro 6.	Categorización del nivel de resistencia en los cultivares sobresalientes de gladiolo a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>gladioli</i>	54

Cuadro 7.	Valores del área bajo la curva del progreso de la incidencia y severidad de la enfermedad causada por <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>gladioli</i> en los cultivares sobresalientes de gladiolo (a=2020, b=2021).....	55
Cuadro 8.	Duración del ciclo fenológico y sus etapas en número de días después de la siembra (dds) y tamaño de planta (cm).....	57
Cuadro 9.	Evaluación de la cuarta generación de los materiales sobresalientes y su comportamiento ante <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>gladioli</i>	59
Cuadro 10.	Evaluación de la productividad de cormos de los materiales de los cultivares sobresalientes en presencia de la enfermedad causada por <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>gladioli</i>	60
Cuadro 11.	Evaluación de la cuarta generación de los materiales sobresalientes, a la enfermedad causada por <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>gladioli</i>	62

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de la agricultura uno de los sectores más importantes es el florícola, mismo que ha incrementado su desarrollo considerablemente, inclusive pese a la pandemia este siguió incrementando su valor (Salachna, 2022), el mercado de las flores es uno de los más grandes. La preponderancia de la floricultura se debe en gran parte a la extensa diversidad de flores y sus tipos que oferta (Adebayo *et al.*, 2020). A través de las flores se satisface el mercado de la flor cortada destinada a la decoración; esta con fines ornamentales, culturales u obsequio, mientras que la producción en maceta satisface la demanda para decoración de jardines, detalles decorativos de interiores y para alusión a temporadas específicas como la noche buena en fechas decembrinas. Dicho esto, la demanda de los productos florícolas está condicionada por el uso y gusto del consumidor.

La producción de flor es una actividad que se realiza casi en todo el mundo, Adebayo *et al.* (2020) especulan que muy pronto China se convertirá en el principal productor de flor, remplazando a los Países Bajos, seguidos de Estados Unidos, Japón y Brasil principalmente. Por otra parte, México desde la perspectiva de Van Rijswick (2015) se cataloga como un mercado emergente, que no muestra tener una tendencia clara en el flujo de sus importaciones y exportaciones florícolas, aunque internamente la producción y demanda de sus flores y plantas se acrecienta.

De acuerdo con Tejeda *et al.* (2015) México ha desaprovechado su cercanía con Estados Unidos, quien se considera posee uno de los mercados florícolas más sustanciales del mundo y aunque se tiene una diversidad agroclimática que favorece la producción de especies a un

bajo costo esto no se ha explotado, por lo que se ha perdido la oportunidad de desarrollar una floricultura de primer nivel con calidad de exportación.

Dentro de las flores ornamentales de corte más importantes en el mercado se encuentra la gladiola, considerada de las más importantes dentro del grupo de bulbosas que dominan el comercio de la flor (Thakur, 2020). La gladiola (*Gladiolus grandiflorum*) ostenta su valor debido a la majestuosa y atractiva forma, tamaño y color de sus espigas, al igual que otras flores estas han sido destinadas a la decoración de infraestructuras y estructuras, como ornamento, regalo en arreglos florales y fechas especiales, o simbólicamente como homenaje en diversas prácticas culturales.

En el año 2020 en México se reportó un incremento en la superficie nacional sembrada de flores de casi 100 ha., sin embargo, el rendimiento obtenido disminuyó un 12 % en comparación al 2019 (SIAP, 2021). La gladiola se ubica solo después de la rosa y el crisantemo en importancia como flor de corte, mientras que las dos primeras se cultivan bajo cubiertas plásticas, la gladiola se produce a campo abierto, se conoce que su producción se realiza sin un manejo o tecnificación adecuado, situación que desencadena diversas problemáticas que impactan en el rendimiento y calidad de la flor cosechada y en las superficies de suelo donde se establece el cultivo.

Dentro de los problemas que se presentan esta la explotación de los componentes nutricionales del suelo, que no se ven restituidos durante o después de la cosecha, la susceptibilidad al ataque de plagas, el uso de cormos no certificados y sin desinfección, que diseminan enfermedades, y que limitan la posibilidad de seguir utilizando ese suelo en producciones continuas inmediatas (Gutiérrez, 2014). Se ha intentado dar solución a estas

problemáticas abordando factores como la nutrición eficiente del cultivo (González *et al.*, 2011), rotación de cultivos (Riaz *et al.*, 2009), uso de microorganismos (Michel *et al.*, 2014), desinfección de cormos (Rodríguez *et al.*, 2015) enfocadas todas a reducir las pérdidas de la producción.

Uno de los mayores porcentajes de pérdidas de este cultivo se reportó en 2017 de hasta el 100% de la producción (Olalde *et al.*, 2017) atribuido al patógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*, cuyo daño se conoce no se limita a afectar la planta en campo, se extiende como infección latente dentro del cormo y se disemina durante el periodo de almacenamiento y/o mientras está en el suelo antes de su cosecha (Michel *et al.*, 2014).

Basados en la definición del triángulo de la enfermedad, se estaría presentando un escenario donde existe un hospedante genéticamente susceptible, un patógeno genéticamente virulento y un medio ambiente favorable y donde ninguno de estos componentes son independientes.

La Marchitez del gladiolo, como se conoce popularmente, es causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *Gladioli* (Leyva, 1992). Afecta a la planta provocando síntomas principalmente como amarillamiento, secamiento/marchitez, pudrición/ momificación del cormo y la muerte, también se ha reportado indicios de daño a nivel de formación de espiga y floración (Shanmugam *et al.*, 2011).

Los intentos por controlar la enfermedad se han dirigido al uso eficiente de diferentes opciones de control químico (Kakade, 2016; Ram *et al.*, 2004) biológico (Michel *et al.*, 2014; Mundt, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015), y de tipo agronómico (Chandel y Deepika, 2010; Gan *et al.*, 2006; Riaz *et al.*, 2008; Malvaez, 2019), sin embargo y desde otra perspectiva existe un factor que no ha sido evaluado, y que está estrechamente relacionado, partiendo de la base

genética, “el cultivar” es tan importante que podría aportar la capacidad de resistencia o susceptibilidad a la enfermedad.

Mundialmente la flor de gladiola se ha mejorado genéticamente en su mayoría con fines de ornato para la diversificación de colores, formas y tamaño de flor o mayor vida postcosecha, pero poco han sido encaminados los cultivares en su mejora genética a la obtención de una mejor producción y mayor resistencia a plagas y enfermedades (Azimi, 2020), de tal manera que el cultivar utilizado también sería responsable en la disminución de la producción a causa de esta problemática.

Respecto al control genético, es poco lo que se reporta, solo se ha evaluado algunos cultivares (Azimi, 2020; Hembrom *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2016), cuyo origen, características y requerimientos difieren de los necesarios para la producción de las variedades utilizadas comercialmente en México. En nuestro país se carece de investigaciones y programas de mejoramiento direccionados a la resistencia contra este tipo de estrés biótico.

Piña *et al.* (2019) reportó dentro de los efectos resultado del proceso de mutagénesis a través irradiación Co^{60} en las variedades roja y blanca borrega, que en determinadas dosis de radiación se presentaron diferencias en la reacción de estas a la enfermedad de la marchitez, hecho que hasta entonces pudiera ser atribuido como efecto inmediato resultado de la irradiación y no como alteración genética o mutación permanente.

Kozjak y Meglic (2012), menciona la obtención de plantas mejoradas en rasgos de rendimiento, calidad, vigor, tolerancia a enfermedades y resistencia a plagas por métodos de irradiación de Co^{60} , en cuanto a la generación de algún tipo de resistencia a enfermedades por medio de variaciones genéticas inducidas es limitado lo que se reporta, ya que la mayor

cantidad de características deseables en las variedades que se importan y siembran se relaciona a la calidad de la espiga floral.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e Importancia del cultivo de Gladiolo

El cultivo (*Gladiolus grandiflorus* L.) comúnmente conocido como gladiolo, es una planta cultivada desde tiempos de los imperios romanos y griegos; originaria de la cuenca mediterránea de África Austral, actualmente se reconoce que el género comprende aproximadamente 265 especies procedentes de África, Europa, Madagascar, oeste de Asia y Arabia (Singh *et al.*, 2015), lugares donde la flor de gladiola crece espontáneamente; aunque su origen es africano. Los cultivares más sobresalientes de gladiolo son *Gladiolus x hybridus*, *G. x hortulanus*, *G. x grandiflorus*, pertenecen a la familia Iridaceae, las plantas son herbáceas, se desarrollan a partir de un cormo subterráneo. La clasificación de los híbridos modernos de *Gladiolus grandiflorus* comprende al menos 11 especies de gran reconocimiento (Cantor y Tolety, 2011). El mejoramiento genético de esta especie ha permitido el desarrollo de variedades con características que incrementan su demanda y facilitan su producción debido a su adaptación a diversas condiciones ambientales.

En México la gladiola ocupa el primer lugar entre los geófitos cultivados, se posiciona como una de las especies de mayor demanda como flor de corte y el número uno en su producción a cielo abierto. Los usos de esta ornamental son diversos; como planta de paisaje en jardines, especie de exhibición, para decoración y regalo, recientemente se ha situado como flor de detalle en los arreglos florales, gracias a las variedades mejoradas, que brindan una extensa gama de colores (Adebayo *et al.*, 2020), la gladiola forma parte del grupo de especies utilizadas para decorar en eventos o fechas en la cultura y tradiciones de algunos lugares como es el caso de México. La producción del gladiolo representa una fuente importante de

ingresos y empleo para la población dedicada a su cultivo, comercialización y transporte (Escalante *et al.*, 2005).

México durante el año 2019 se reportó una superficie total sembrada de 4605.8 ha, distribuidas en seis estados productores principalmente: el Estado de Puebla (1,791ha), Morelos (641ha), Guerrero (301ha), Michoacán (947 ha), Veracruz (95 ha), Oaxaca (13 ha) y el Estado de México (1,266 ha) correspondiente al 27% de la superficie total plantada (SIAP, 2021). La información contenida en la base del INEGI (2015) reportó que entre 2008 y 2015 el valor de la producción de gladiolo en pesos incrementó un 60% y se mantuvo Estados Unidos como el principal destino de exportación.

El gladiolo se cultiva a través de cormos y cormillos de forma asexual (Moradi y Azimi, 2017), estos son la estructura de reproducción vegetativa y del cual depende directamente la calidad de la flor. En este contexto, cuando los productores pretenden renovar el material vegetal que utilizan de semilla, acuden a casas comercializadoras o con productores de la región para su adquisición, incluso llegan a obtenerlo de ciclos de producción pasados, de ello deriva que la sanidad del corno no esté garantizada, en México se carece de un programa de producción de corno- semilla certificada; enfrentando así una de las mayores limitantes en la producción de este cultivo (Hernández *et al.*, 2017). Existe por ello un deficiente abasto de material certificado, en México no existe ninguna empresa que produzca material vegetativo de gladiola que garantice su sanidad y calidad genética.

La producción de esta flor de ornato, se realiza a campo abierto a diferencia de la rosa, el clavel o crisantemo, que son producidos bajo algún tipo de cubierta y bajo condiciones ambientales semi controladas, la gladiola se siembra bajo un sistema de rotación periódica

del terreno, debido al grave problema de diseminación de un complejo enfermedades fungosas de elevada persistencia en el suelo que causan daño y merman las producciones. El reporte anual de enfermedades en flores es alto y una de las enfermedades de mayor importancia para el cultivo de gladiolo es la marchitez de plantas y pudrición del cormo, considerada la más destructiva (Olalde *et al.*, 2017).

2. 2 Países productores

La flor de gladiola es altamente cotizada en el mercado internacional de flores de corte, se cultiva comercialmente tanto para las espigas florales, como para la producción de cormos (semilla), su principal medio de multiplicación es la propagación natural de nuevos cormos y cormillos resultado de plantaciones anteriores (Chavez, 2019).

Adebayo *et al.* (2020) señalan un incremento anual de las exportaciones e importaciones florícolas, que han registrado derramas económicas de 8.2 hasta 8.7 mil millones de dólares en el periodo de 2017, pronosticando que países como China incrementará su participación a un 19% del total de la producción, desplazando a los líderes Países Bajos cuyo país destina 1,400 ha. a su producción, dicho mercado seguirá siendo competido también por Estados Unidos, Japón y Brasil principalmente.

2. 2. 1 Gladiolo en México

En México la floricultura se desarrolla como una de las actividades más importantes, en este contexto de acuerdo con el estudio del mercado de oportunidades en el sector de flores y plantas ornamentales en México hecho por la OPF (2022), se cultivan 23 088 ha. de ornamentales, dicha producción se clasifica por categorías de tamaño de productor (ha), tiempo que dedica a la producción, tecnificación en producción y área postcosecha y nivel

de infraestructura, además se clasificación por el tipo de flor que producen como productores de flor de corte, follaje y planta de contenedor.

El mercado de la flor se segmenta de acuerdo con la demanda en flores cortadas y plantas de ornato (maceta), la mayor concentración de flores cortadas es cubierta por la Rosa, Crisantemo, la Gladiola se encuentra dentro de los primeros lugares solo después de estas (OPF, 2022). Se ubica como la flor más cultivada, en los últimos 10 años, la superficie destinada a este cultivo se ha incrementado constantemente, debido su creciente producción en zonas tradicionales y a la expansión del cultivar (Gómez, 2016).

Los principales Estado productores de esta flor cortada son Michoacán, Puebla, Morelos y Estado de México contribuyendo en un 8.38 % de la producción total florícola, muy recientemente se ha extendido su cultivo a otros estados en busca de suelos sanos y de buenas características fisicoquímicas, además de aprovechar las condiciones climáticas tan variadas que poseen.

Los productores de este cultivo ornamental cuentan con escasa información técnica y científica sobre el manejo y desarrollo del cultivo, por lo que existe la necesidad de conocer todos los factores que en el inciden en su productividad y calidad, tanto en flor cortada como en cormo.

2. 3. 1 Clasificación Taxonómica del Gladiolo

El gladiolo es una planta herbácea que pertenece a la familia *Iridaceae* del grupo de las monocotiledóneas (Caixeta *et al.*, 2000).

Organismo celular; Eukaryota; Viridiplantae; Streptophyta; Streptophytina; Liliopsida Petrosaviidae; Asparagales; Iridaceae; Gladiolus (NCBI, 2018).

2. 3. 2 Descripción botánica

Los gladiolos presentan cormos subterráneos redondos o planos, cubiertos de una túnica fibrosa. Durante el período de vegetación, 1-2 tallos florales vigorosos se desarrollan a partir de yemas axilares en los cormos, y están envueltos en la base por unas pocas hojas y tienen varias alturas, según la variedad y el tamaño del cormo, al término de su ciclo las plantas producen un cormo nuevo encima del cormo viejo, que se consume, desarrollan numerosos cormos en la base del cormo nuevo (Nicu y Manda, 2022).

Sus hojas asumen la forma de una espada, poseen un color verde con nervaduras visiblemente marcadas, son largas, estrechas y lanceoladas, sus flores son bisexuales, se presentan en una inflorescencia en forma de espiga, sésiles y rodeadas de una bráctea, tienen forma de embudo, de borde recto, ondulado o con flecos, y una gama de colores muy amplia en diferentes tonalidades atractivas, desde el blanco, rosa, rojo, amarillo, naranja hasta el morado, violeta e incluso verde o combinaciones de colores (Nicu y Manda, 2022).

2. 3. 3 Especies y variedades

Las especies de mayor jerarquía botánica son:

1.- *Gladiolus cardinalis*.

2.- *Gladiolus purpureo-auratus*.

3.- *Gladiolus primulinus*.

4.- *Gladiolus Saundersii*

5.- *Gladiolus psittacinus*.

6.- *Gladiolus tristis* (Verdeguer, 1981)

Debido al entrecruzamiento de estos híbridos es difícil descifrar sus progenitores, por lo que se han dado solo dos grandes clasificaciones; gladiolos híbridos de flor grande (*Gladiolus grandiflorus*) y los híbridos de flor chica (*G. primulinus*), destacando entre los de flor pequeña a *G. colvillei* (*G. cardinalis* x *G. tristis*) y *G. nanus*, que es un híbrido originado de cruces entre *G. floribundus*, *G. cardinalis* y *G. ramosus* (Verdeguer, 1981).

2. 4 Fenología del gladiolo

El conocimiento del desarrollo fenológico permite utilizar prácticas preventivas, que efficientizan el proceso productivo y garantizan la más alta calidad del producto cosechado. En gladiolo se disminuirían los efectos del estrés abiótico y biótico que afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo generando pérdidas importantes (Uhlmann *et al.*, 2017). La fenología del cultivo se ve altamente influenciada por los factores ambientales y genéticos (Setiyono *et al.*, 2010)

La temperatura del ambiente en campo es considerada el factor que más influye en la fenología del gladiolo (Streck *et al.*, 2012), se ha reportado que florece cuando el fotoperiodo es mayor a 12 horas (fotoperiodismo de día largo), y se dice que es una planta heliófila, por lo que requiere bastante luminosidad; si es insuficiente, con la falta de luminosidad, las yemas se quedan cerradas, abortan y no florecen, aunque hay variedades que florecen con los días

cortos (Serrano, 1988), por lo que el fotoperiodo también influye en su crecimiento (Uhlmann *et al.*, 2017).

Por otra parte, la fecha de siembra tiene un papel importante en la regulación del crecimiento y la calidad de los gladiolos cultivados en el campo, y los parámetros de desarrollo, como los días hasta la germinación, el porcentaje de brotación y los días hasta la etapa de 6 hojas, porque están correlacionados con la temperatura del ambiente (Adil *et al.*, 2013).

Akpınar y Bulut (2011) concluyeron que los factores climáticos, como la temperatura y la intensidad de la luz, son factores importantes que impulsan el desarrollo y el rendimiento de *Gladiolus*.

Las temperaturas extremas (altas y bajas) pueden dañar las partes vegetativas y reproductivas, temperaturas bajo cero durante la fase vegetativa causan daños en las hojas, mientras que durante la fase reproductiva causan daños severos en la corola. Las hojas son más tolerantes a las altas temperaturas de entre (36–40 °C), que los cogollos, que pueden dañarse a temperaturas superiores a 25° C (IFBC, 2012). Respecto a la formación de la espiga floral ocurre entre cuatro y seis semanas posteriores a su siembra, se presentan floraciones precoces con temperaturas de 28°C, y se tiene el riesgo de que las florecillas aborten (Gutiérrez, 2014). Los procesos de inducción y diferenciación floral se llevan a cabo, cuando aparece la tercera o cuarta hoja, es decir den un lapso de cuatro a ocho semanas; la duración de esta etapa varía en función de la temperatura.

Para algunas de las variedades de gladiola que se siembran en México se estima una duración del ciclo fenológico de 129 días (González *et al.*, 2011), 79 y 110 días (Sánchez *et al.*, 2019), concordando con lo descrito antes, esta duración está en función de las condiciones

medioambientales del lugar donde se establecen y del material genético de la variedad que se establece.

Una humedad óptima para el desarrollo de las plantas comprende un rango del 60-70%. humedad, por debajo del 50 % el crecimiento puede retrasarse; contrario, un exceso de humedad provoca la elongación de la planta y predispone la aparición de pudriciones por enfermedades (Anónimo, 2010). Una baja humedad en el suelo provoca la reducción de la floración. Las plantas son muy sensibles a los rocíos y lluvias. El periodo más crítico del cultivo en cuanto a humedad es de la tercer a la séptima hoja, es decir durante el desarrollo de la espiga.

El cultivo del gladiolo tolera desde las arcillas hasta arenas, el gladiolo se adapta a una amplia gama de texturas. En suelos orgánicos se obtienen fácilmente espigas florales largas y de tallos fuertes, con cormos grandes (Salinger, 1991). Al igual que en otros cultivos se recomienda pH de 6.5-7, si es menor hay que encalar y utilizar fertilizantes adecuados. Los suelos calizos y ácidos provocan una tendencia a la clorosis. Es importante vigilar el contenido de potasio, pues la planta consume gran cantidad de este elemento. Se requiere especial cuidado cuando el contenido de sales en suelo, conductividades eléctricas mayores a cuatro mmhos/cm son perjudiciales al gladiolo (IFBC, 2012).

Una vez que se obtienen las espigas florales y que estas se encuentran en el punto de cosecha, el proceso comienza con el corte de las varas florales, este es de forma manual con una cuchilla afilada y preferentemente desinfectada, se recomienda iniciar por la mañana muy temprano o por la tarde, cerca de la noche aprovechando que las temperaturas son templadas a un tanto frías.

El punto de corte de flores se observa cuando en la espiga se presentan dos pares de botones florales pintando/ mostrando color. De acuerdo con la finalidad que se desee se dejan de cuatro a cinco hojas en la planta para que el cormo continúe su reproducción y crecimiento en el suelo y pueda obtenerse un mayor rendimiento de cormillos (Leszczyńska y Boris, 1994).

Una vez que el cormo alcanzó su madurez, este es cosechado y se almacena a temperaturas de 5-20°C con un 70% de humedad relativa, en un lugar con buena ventilación este proceso de almacenaje asegura un mayor porcentaje de floración y una mayor calidad de las flores.

El proceso de cosecha de los cormos se da con el cambio en las tonalidades de coloración de las hojas que fueron dejadas en campo, éstas comienzan a tornarse amarillas, momento en el que se ha alcanzado la maduración del cormo y se puede comenzar con su cosecha (Mameli, 1947). Existe la teoría de que, si los cormos se mantienen en el suelo por un periodo más largo de tiempo, se alcanza un nivel más alto de maduración, sin embargo, esto no es correcto, según las investigaciones más recientes, los cormos que terminan su crecimiento y se dejan en un suelo corren el riesgo de que, con el incremento en la humedad y ciertas condiciones del suelo, sean más fácilmente afectados por enfermedades fungosas (Chávez, 2019).

2. 5 Problemas fitosanitarios del gladiolo

Los problemas fitosanitarios que se presentan más comúnmente en este cultivo derivan de la presencia de plagas insectiles, enfermedades y malezas hospedantes. El desarrollo y expresión de una enfermedad se origina por la íntima relación que se establece entre sus diferentes componentes en el llamado triángulo de la enfermedad, como son la interacción de un hospedero susceptible, un patógeno virulento y un ambiente favorable (Agrios, 2004).

El conocimiento de las plagas y enfermedades es importante para emplear soluciones oportunas a estas problemáticas, que al rebasar los umbrales económicos terminan demandando una excesiva cantidad de insumos químicos nocivos para la salud y el medio ambiente y de gran impacto en los costos de producción. Actualmente bajo las condiciones en que se produce de manera comercial el gladiolo, solo es factible sembrar una vez (posiblemente dos) en el mismo terreno luego hay que esperar entre seis y ocho años para poder establecerlo en el mismo lugar, sin correr el riesgo de que se presenten problemas fitosanitarios (Leszczyńska y Boris, 1994).

El problema de la diseminación de enfermedades sucede por el sistema de propagación vegetativa que corresponde a esta especie, un cormo que es utilizado durante varias generaciones, produce en cada una de ellas decenas de cormillos, que prevalecerán en el suelo hasta formar parte del material que se empleará en la siguiente plantación, de esta manera un cormo enfermo, con daños, o que ha sido cultivado en suelos infestados, garantizará la transmisión de patógenos (*Stromatinia gladioli*, *Fusarium oxysporum*, *Verticillium* spp., *Botrytis cinerea* Pers., *Curvularia trifolii* f. sp. *gladioli*, *Pythium* y *Uromyces transversalis*) a otros suelos y material en el momento de su almacenamiento (Forsburq, 1975). Esta problemática hace necesario crear un programa de rotación de cultivos, aplicación de control químico severo y establecer un programas de control biológico mediante la aplicación de sustancias orgánicas y hongos eficientes en el control de enfermedades edáficas (Khalil *et al.*, 2001), de este problema fitosanitario se deriva una de las mayores limitantes causadas por el ataque de plagas y enfermedades, que es el impedimento de exportaciones, situación que deriva en grandes pérdidas económicas.

El factor biótico más importante que repercute en la calidad y reducción de la cantidad de flor que se produce es atribuido al patógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* causante de la marchitez del gladiolo es considerado el principal estrés de importancia del gladiolo, capaz de causar pérdidas del cultivo de hasta el 60- 80% reportadas en plantaciones internacionales (Kakade, 2016) y de hasta el 100% en México (Olalde *et al.*, 2017). Ochoa *et al.* (1994) mencionan que la pudrición del cormo, la pudrición de la raíz y el marchitamiento vascular de la gladiola se han asociado a *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* patógeno importante que ataca esta planta, tanto como para la producción de flor de corte, como para la obtención de cormo. Por su parte Forsburq (1975) la relaciona el ataque a los cormos con los agentes *Fusarium oxysporum*, *Penicillium gladioli* y *Pseudomonas marginata* como los patógenos responsables.

Algunas investigaciones sugieren y reportan que aún no es posible asegurar si se trata de diferentes etapas de la misma enfermedad (originada por el mismo agente causal), o si se trata de diferentes fitopatógenos (hongos y/o bacterias) involucrados en un complejo.

2. 6 Fusarium

Uno de los géneros más adaptables y versátiles conocidos es *Fusarium*, es parte de la familia Nectriaceae, considerado un hongo de distribución cosmopolita, se presenta como saprofito, es capaz de crecer y sobrevivir durante largos periodos sobre la materia orgánica en el suelo, también se presenta en su forma como patógeno especializado denominado *forma especial* según la planta hospedante que afecte (De Granada *et al.*, 2001; Fravel *et al.*, 2003). *Fusarium* es una patógeno que muestra un elevado nivel de especificidad del huésped y en base a las especies y variedades de plantas que pueden infectar, se clasifican en más de 120

formas especiales y razas capaces de causar marchitamiento vascular en gran cantidad de cultivos de importancia agrícola (Correl, 1991). Este hongo existe en muchas formas patogénicas, parasitando más de 100 especies de plantas, gracias a los diversos mecanismos que tiene el hongo para vencer las defensas de las plantas, se caracteriza por producir tres tipos de esporas asexuales: micro conidios, macro conidios y clamidosporas (De Granada *et al.*, 2001).

Fourie *et al.* (2011) indica que *Fusarium oxysporum* es una especie fúngica asexual que incluye patógenos humanos y animales y una amplia gama de no patógenos. Las cepas patógenas y no patógenas de estas especies se pueden distinguir entre sí con pruebas de patogenicidad, pero no con análisis morfológicos o estudios de compatibilidad sexual. Estudios filogenéticos de múltiples genes de *Fusarium oxysporum* han revelado la existencia de al menos ocho linajes filogenéticos.

Fusarium se coloca en el quinto lugar en la lista de los principales diez patógenos fúngicos de importancia económica en la agricultura (Dean *et al.*, 2012; Geiser *et al.*, 2013; Leslie y Summerell, 2008). El género *Fusarium* comprende 70 especies descritas, que a su vez están agrupadas en 12 secciones. Cada sección es un conjunto de especies relacionadas entre sí. Más de la mitad de las especies son parásitas de plantas y entre ellos se encuentran algunos de los más serios patógenos del mundo agrícola (Leslie y Summerell, 2008).

Es considerado uno de los géneros de hongos de mayor importancia cuando de enfermedades en plantas se trata, *Fusarium* ocasiona grandes pérdidas económicas a nivel mundial ya que es capaz de inducir diversas enfermedades sobre muchas especies (Fravel *et al.*, 2003; Nelson *et al.*, 1994). Una de las enfermedades más reconocidas por este agente es la marchitez

vascular de las plantas, en la que el hongo impide la traslocación de agua y nutrientes a lo largo de la planta conduciendo a la muerte del individuo (Schumann y D'Arcy, 2006).

El origen espontaneo de nuevas razas de *Fusarium* en la naturaleza es desconocido, la “forma specialis” (f. sp.) se refiere a cepas con similitudes morfológicas y son caracterizadas por sus adaptaciones a diferentes hospedadores. Tanto las “forma specialis” como las razas fisiológicas no son reconocibles morfológicamente, solo la inoculación y su comportamiento frente al hospedador permiten su identificación. Aunque raza fisiológica y “forma specialis” no están incluidos en los códigos internacionales de nomenclatura, ayudan a describir el grado de especialidad de la relación hospedador- patógeno (Taylor *et al.*, 2016).

La infección que provoca *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* en planta, muchas veces se extiende hasta el cormo, así bien no solo las flores de gladiolo se encuentran comprometidas, el cormo se torna en una pudrición café, hasta la momificación.

La afección de los cormos por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*, se observa como una pudrición en los anillos concéntricos de la estructura, las lesiones inician en la parte inferior, justo donde inician las raicillas, desarrollando así en la planta la sintomatología de amarillamiento foliar y posterior muerte de los individuos, comúnmente se observa que, al extraer la planta, ya no exista el cormo debido a su total pudrición o se encuentre sólo vestigios de éste (López, 1989).

González *et al.* (2009) realizaron su identificación y caracterización molecular por PCR- ITS y analizaron comparativamente las especies de hongos patógenos causantes de la marchitez y muerte de plantas de gladiola, reportando la presencia de cinco especies fungosas identificadas; *Fusarium oxysporum* F. *gladioli*, F. *solani*, *Penicillium* sp.; y dos especies

reportadas con anterioridad, *Acremonium stricto* y *Gliocladium roseum*, en el tejido sano y sintomático de cormos, plantas en campo y de almacén; también describieron los daños en tejido de tallos basales y cuello de plantas de campo.

En la actualidad no se cuenta con métodos de control ni con variedades y/o genotipos mejorados de gladiolo en México que permitan minimizar las pérdidas ocasionadas por este fitopatógeno.

2. 6. 1 Marchitez Vascular

La marchitez se ha asociado al agente causal *F.oxysporum* f. sp. *gladioli* y se ha reportado su asociación con *F. solani*, *F moniliforme*, *F. roseum*, estas con menor frecuencia pero causando podredumbre en el cormo en almacenado y marchitez o amarillamiento de plantas en campo (Chandel y Deepika, 2010; González *et al.*, 2009).

F. oxysporum f.sp. *gladioli* se ha reportado en otras especies de la familia Iridaceae como: Crocus, Iris, Ixia y Flesia, sobrevive en los cormos infectados y en el suelo como micelio, microconidios, macroconidios y clamidosporas, estas últimas como estructuras de resistencia (Di Primo *et al.*, 2002).

En lugares donde predominan los suelos arenosos, lluvias intensas y elevadas temperaturas, la pudrición del cormo es de las enfermedades más destructivas en el cultivo de gladiolo (Gutiérrez, 2014). Una característica de este patógeno es que la infección por *Fusarium* permanece en condiciones de latencia y puede ser activada cuando las condiciones sean favorables, o cuando la resistencia natural de la planta se ve debilitada por condiciones adversas; por otra parte, el uso de fertilizantes que contienen en su formulación nitrógeno favorece la pudrición del cormo. Las relaciones entre la nutrición de la planta y las

enfermedades fueron descubiertas por McClellan y Stuart (Gutiérrez, 2014). Existe precedente de la capacidad que tiene *Fusarium* para invadir el tejido vascular de las raíces, cormos y la base de la hoja (Magie, 1953). Es posible distinguir dos tipos de síntomas: los primarios que se presentan sobre el cormo en campo o almacén y los secundarios sobre el follaje, planta en campo (García y Alfaro, 1985).

2. 6. 2 Taxonomía

Según De Hoogs *et al.* (2000) y Leslie y Summerell (2008) la clasificación taxonómica de *Fusarium* se ubica en la:

División Ascomycota

Subdivisión Pezizomycotina

Clase Sordariomycetes

Subclase Hypocreomycetidae

Orden Hypocreales

Familia Hypocreaceae MitoSPORIC

Hypocreales

Género *Fusarium*

Especie *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. verticillioides*, *F. dimerum*, *F. chlamydosporum*, etc.

Algunas especies tienen un estado sexual (Teleomorfo) reconocido dentro de la familia *Nectriaceae* y pertenecen al género *Gibberella* o *Nectria*.

2. 6. 3 Morfología

La clasificación de las especies del género *Fusarium* se basa principalmente en la estructura y abundancia de estructuras reproductivas asexuales (clamidosporas, fiálides, micro conidios y macro conidios) y en las características culturales (textura, color y aroma cultural de la colonia) (Edel *et al.*, 2000). Algunas especies producen los tres tipos de esporas, mientras que otras especies no.

La caracterización se basa principalmente en el macro conidio de la especie y del género *Fusarium*; su forma y tamaño varían, se forma en esporoquio, en conidióforos bifurcados o monofialides, abundantes, de paredes delgadas, fusiformes, largas, moderadamente curvadas en forma de hoz, generalmente con 3 septos transversales, con la célula basal elongada y la célula apical atenuada; con un tamaño que va de 27-46 μm de largo por 3 a 4.5 μm de ancho. Para algunas especies es una característica relativamente constante y estable, pero se debe utilizar cautelosamente como criterio taxonómico. La presencia de una célula basal con forma de pie en los macro conidios se considera característica de *Fusarium*, pero varios géneros de Coelomycetes también la tienen (Leslie y Summerell, 2008).

El micro conidio es un carácter primario en taxonomía del género *Fusarium* y se considera su presencia o ausencia, los micro conidios usualmente no tiene septos, unicelulares, hialinos, elipsoidales a cilíndricos, rectos o curvados; se forman sobre fiálides laterales, cortas, simples o sobre conidióforos poco ramificados y son formados abundantemente en falsas cabezas. Los micro conidios tienen 5-12 μm de largo por 2.5-3.5 μm de ancho. Producen abundantes

clamidosporas entre las cuatro y seis semanas (Leslie y Summerell, 2008). Se pueden ver aislados, en masas o en cadenas. La forma en la que son producidos se observa mejor en un medio con substrato natural como el agar-clavel (Leslie y Summerell, 2008).

Los meso conidios, anteriormente denominados blasto conidios son otros tipos de conidios que tienen forma y tamaño similar al macro conidio, pero les falta la célula basal en forma de pie, pueden ser rectos, se forman siempre en poli fiálides y son individuales (Leslie y Summerell, 2008).

Otra estructura son los conidióforos, que contienen el micro conidio. Es un carácter taxonómico primario y dependiendo de la especie, se pueden encontrar mono fiálides o contener mono fiálides y poli fiálides produciendo micro conidios (Larson, 2012; Leslie y Summerell, 2008).

La presencia o ausencia de clamidosporas es un carácter primario en taxonomía de *Fusarium*. Si están presentes, pueden estar solas, en pares, en grupos, o en cadenas. Su pared puede ser gruesa, rugosa o lisa. Es una spora de supervivencia ante ambientes adversos que garantiza la propagación y supervivencia del hongo (Leslie y Summerell, 2008).

También es posible reconocer los esclerocios presentes en forma de masa de células duras (difícil de aplastar entre porta y cubre) e inactiva bajo condiciones ambientales desfavorables y el estoma, que es una estructura vegetativa compacta dentro de la que se desarrollan cuerpos de fructificación.

2. 6. 4 Huéspedes

La capacidad de las razas actuales de causar enfermedad en todos o algunos de los cultivares, ha evolucionado en sinergia con el taxón, ya que los miembros de algunas razas aparecen en diferentes linajes filogenéticos. Por lo tanto, se cree que varios factores, incluida la coevolución de la planta huésped y la transferencia horizontal de genes, han dado forma a la historia evolutiva de *Fusarium oxysporum*. (Fourie *et al.*, 2011).

Fusarium oxysporum es probablemente la especie más importante en términos económicos, puesto que puede afectar hasta el 90% de las especies vegetales (Cortes y Cruz, 2012).

Shabani *et al.* (2014) en su investigación sobre diferentes especies del género *Fusarium*, plantea que algunos de los patógenos invasores como *Fusarium oxysporum* representan riesgos para una serie de cultivos comerciales como el banano, el tomate, la palma, el melón, los espárragos, algodón y lechuga, mientras que algunos tienen una relación simbiótica que varía de patógena a comensal (efecto nulo) hasta benéfica, (*F. sp. cubense*, *F. sp. lycopersici*, *F. sp. albedinis*, *F. sp. melonis*, *F. sp. vasinfectum*, *F. sp. lactucae*), así mismo diferentes especies del género *Fusarium* ocasionan enfermedades, que afectan tanto a cultivos hortícolas y de forma particular a los granos y cereales de importancia mundial (Nelson *et al.*, 1994).

Sin embargo, aunque se conocen muchos cultivos que han sido atacados por *Fusarium* sp., en especial por la especie *Fusarium oxysporum*, puede ser que aún no hayan sido reportados todos los potenciales hospederos de importancia agrícola (Gondor y Martyn, 1997), de ahí la importancia de estudiar cómo se desarrollan las enfermedades causadas por *Fusarium* en este tipo de cultivos.

2. 6.5 Sintomatología

2. 6. 5. 1 Síntomas en el cormo

- Pudrición vascular: se presenta como una despigmentación y oscurecimiento de los haces vasculares.
- Podredumbre marrón: sucede en cualquier lugar del cormo principalmente en el área cerca de la base, en la zona central aparecen manchas hundidas de color café que penetran hacia la base del cormo.
- Podredumbre basal seca: sólo se da en la base del cormo, alrededor de la zona radical, el tejido afectado es delgado; tomando una coloración marrón claro, poco visible al principio, que después evoluciona al marrón oscuro, con una textura escamosa cuando el cormo se seca. Cuando la enfermedad evoluciona los tejidos afectados quedan con una textura firme, dura y leñosa.
- Cormos momificados: los cormos en almacén presentan un micelio blanco recubriéndolos y una textura esponjosa y dura (García y Alfaro, 1985).

González *et al.* (2008) reportó por primera vez a nivel mundial a *Acremonium stricto* y *Gliocadium roseum* como el agente causal de la pudrición del cormo del gladiolo en México, en tanto que en 2009 en otra de sus investigaciones encontró en cormos almacenados la presencia de tres patógenos *F. oxysporum*, *F. gladiolus* y *Penicillium* y en cormos en campo detectó la presencia de *A. stricto* y *F. solani*, todas estas especies fueron aisladas de tejido sano de los cormos y ninguna de las cinco fue encontrada en plantas con un 100% de necrosis, las mismas cinco especies también fueron aisladas de tejidos aéreos asintomáticos de plantas

en campo y comparativamente todas las especies presentaron diferencias en color de las colonias así como en las estructuras morfológicas diferenciales.

Varios autores han realizado observaciones a través del aislamiento de cormos sanos, encontrando presencia de algunos hongos y mencionan que incluso los cormos sanos pueden tener hongos patógenos latentes, información que resulta importante, porque sugiere que cada año los agricultores contribuyen a la propagación de la enfermedad, al producir sus propios cormos; cormos que se utilizan en el siguiente ciclo de producción (González *et al.*, 2009).

2. 6. 5. 2 Sintomatología en la planta

Los síntomas que se presentan en la parte aérea de la planta, muy frecuentemente son consecuencia de cormos afectados por podredumbre basal seca por lo que es común el amarillamiento de las plantas y marchitez, al afectarse la zona radical no hay emisión de raíces, por lo que el desarrollo foliar y la traslocación de nutrientes y agua se ven afectadas, la vida se lleva a cabo fundamentalmente de las reservas del cormo; las hojas comienzan con un amarilleamiento desde los extremos (Gutiérrez, 2014).

Otro de los síntomas visibles de la parte aérea es la deformación de las hojas en asta de toro; la sintomatología aparece como la curvatura de las hojas durante los primeros estadios de desarrollo, tomando el aspecto de cuerno, las plantas infectadas destacan claramente del resto por su tamaño y forma, quedando raquílicas, generalmente no alcanzan a producir la vara floral (De Granada *et al.*, 2001).

En la flor también se presentan daños un daño sustancial conducente al deterioro y calidad de las espigas y los materiales de plantación, los tallos enfermos muestran amarillamiento,

retraso del crecimiento y flores descoloridas (Khan *et al.*, 2017), la atrofia de las flores presenta tal grado, que en casos severos las plantas no florecen (Ram *et al.*, 2004).

2. 6. 6 Epidemiología

Fusarium es un agente causal de enfermedades típicas del suelo, que comienzan con la germinación de las clamidosporas en latencia presentes en tejidos muertos del individuo hospedante, estos son estimulados por los restos vegetales infectados. Las clamidosporas pueden persistir de forma inactiva durante varios años y germinar al disponer de nutrientes, por ejemplo, en la proximidad de partes jóvenes de raíces. La clamidospora germinada da lugar a inóculo al formar hifas, conidios y nuevas clamidosporas (De Granada *et al.*, 2001). Las hifas del hongo pueden penetrar a través de las heridas hechas en forma mecánica o por nemátodos, insectos o miriápodos. Sin embargo, el método más común de penetración del patógeno es directo a través de las raíces, debido a esto, en la rizosfera hay una competencia intensa con otros microorganismos y en particular entre varias cepas de *Fusarium*. Una vez dentro de la planta, el hongo se mueve hacia el tejido vascular por colonización intracelular a los vasos del xilema, a los que invade cuando están maduros (De Granada *et al.*, 2001). La forma de colonización del patógeno puede darse por transporte pasivo de microconidias o por crecimiento del micelio. Las principales fuentes de diseminación del patógeno ocurren a partir de esquejes de plantas madre, los cuales pueden estar infectados, a través de suelo contaminado, donde el hongo puede sobrevivir por muchos años a través de las clamidosporas. El agua puede ser una agente de diseminación del hongo, debido a la capacidad de sobrevivir en este medio, muchas veces las esporas pueden llegar a germinar en ella y contaminar los reservorios. La temperatura es uno de los factores ambientales que tienen una mayor influencia en el desarrollo de la enfermedad, siendo la temperatura óptima

para el desarrollo del patógeno entre 25 y 30°C, una temperatura mínima de 05°C y una máxima de 37°C. La esporulación del hongo ocurre en una temperatura de 20 y 05°C, con 12 hora de luz y 12 de oscuridad. El pH óptimo es de 7.7 aunque puede desarrollarse entre 2.2 y 9.0. Una de sus características importantes es ser un hongo aerobio por lo que sus poblaciones se reducen con la saturación de agua en el suelo (De Granada *et al.*, 2001).

2. 7 Manejo integrado de la enfermedad

La marchitez vascular a causa de *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* y pudrición del cormo en la producción del gladiolo conduce a pérdidas de importancia económica (Michel *et al.*, 2014). Diferentes tipos de control han sido propuestos para el tratamiento y manejo de la enfermedad. Riaz *et al.* (2008) indicaron los efectos de contaminación en el medio ambiente a causa del uso de productos químicos con elevada residual y persistencia en el suelo, además de inducir resistencia en los patógenos. Por lo que ha sido necesaria la implementación de métodos alternativos que contrarresten los efectos negativos del uso de fungicidas sintéticos al medio ambiente y a la resistencia de los patógenos, que proporcionen un control eficiente y sustentable, tales como los biológicos y de manejo cultural que faciliten reducir o eliminar el uso de agroquímicos (Chandel y Deepika, 2010).

Dentro de las alternativas biológicas se han evaluado especies como *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. koningii* y *T. virens*, así como al hongo micorrizico arbuscular *Glomus mosseae*, la bacteria *Bacillus subtilis*, extractos vegetales e, inclusive, se ha recurrido a la modificación genética para resistencia a la enfermedad (Chandel y Deepika, 2010).

Khan y Mustafa (2005) reportan la eficiencia de la aplicada al suelo de una mezcla de *T. harzianum* y *Pseudomonas fluorescens*, para reducir la infección por *Fog*, comparado con el uso de productos químicos, sin embargo, se requiere un uso más extensivo del control

biológico y la búsqueda de agentes bio controladores eficientes y preferentemente nativos que sean capaces de competir con el patógeno en el mismo nicho ecológico.

En el manejo integrado se ha propuesto también el uso de compuestos naturales como aceites botánicos, uso del quitosano, uso de isotiocianatos, compuestos fácilmente biodegradables.

Las investigaciones en el cultivo de gladiolo indican resultados sobre las características de los cultivares que tienden a ser susceptibles o resistentes al ataque de patógenos. Hernández *et al.* (2017) argumentaron la susceptibilidad a *Fusarium oxysporum* f.sp. *glaioli*, en la variedad “Tradehorn” que presentaba menor susceptibilidad al ataque del patógeno en el almacenamiento comparado con la variedad “Grand Prix”, y que estas a su vez al evaluar la eficiencia de dos tipos de control químico y biológico se pudo reducir el porcentaje de infección en almacenamiento por este patógeno hasta en el 50%, concluyendo que al lapso mínimo de un mes los tratamientos que controlan la enfermedad en mayor proporción son el fungicida químico, los aceites de canela y clavo a las concentraciones de 150 y 300 mg ml⁻¹, el oligoquitosano al 1.0% y el quitosano al 1.5% y que después de tres meses el mejor control es el fungicida químico.

De igual manera Rodríguez *et al.* (2015) evaluaron el efecto de los extractos fenólicos y carotenoides de frutos de chiltepín sobre el crecimiento micelial y la germinación de conidios de *Alternaria alternata* y *Fusarium oxysporum*, reportados como patógenos importantes y causales de podredumbre en cultivos hortícolas. Indicaron que no se observaron cambios significativos en el crecimiento micelial de *F. oxysporum*, aunque sí se redujo significativamente a un 85 % en relación con el control, el número de conidios germinados a los 5 días de tratamiento. Los extractos carotenoides mostraron frente a *F. oxysporum*, menor inhibición del crecimiento micelial (20%), mientras que hubo una mayor inhibición en la

germinación de conidios (96%). Concluyendo que los extractos fenólicos y de carotenoides de chiltepín son una alternativa promisorio como fungicidas naturales.

Jiménez *et al.* (2015) demostró la inhibición significativa del crecimiento de nueve hongos fitopatógenos, incluyendo *Fusarium* spp. y *Sclerotium* spp. utilizando mutantes de levadura, que condujeron al descubrimiento del efecto de los metabolitos bioactivos en la vía de biosíntesis de quitina, encontrando alteraciones en la morfogénesis de las cepas de levadura y alteración del ciclo celular, así como formación anormal de septos, lo que causa un fenotipo parecido a pseudohifas. Al exponer hongos fitopatógenos principalmente de los géneros *Fusarium*, *Alternaria*, *Rhizoctonia*, *Phoma*, y *Phytophthora*, se encontró un crecimiento disminuido notable al cultivar los hongos en medio de agar adicionados con acetogeninas, también reportaron la acción inhibitoria de los extractos con acetogeninas siendo mayor para *Sclerotium* y *Fusarium* (cepas aisladas de *Fusarium* de los cultivos de ciruela, jitomate y gladiola). Resultando la especie *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*, particularmente “resistente” a los extractos bioactivos de ajo en etanol, rico en eugenol y tampoco hubo inhibición con los metabolitos de guanábana, representando una especie que no se vio afectada por las acetogeninas, mientras que el hongo *Fusarium* aislado de jitomate y ciruela, resultó inhibido por el extracto de *Anona muricata*, a tal grado que su desarrollo fue mínimo, casi nulo.

La evaluación *in vitro* de los productos biológicos realizada por Michel *et al.* (2014) indicó que *Trichoderma asperellum* cepa 8 es capaz de inhibir en un 60% el micelio de *Fog* con antagonismo clase dos, mientras que *Bacillus subtilis* no es efectivo; de los agroquímicos sintéticos, la mezcla de Procloraz Tiofanato-metilico fue efectiva en 98%. En *Fog*, la mezcla Procloraz Tiofanato-metilico se redujo la severidad en 47% y con *T. asperellum* en 30%. En

la zona de guerrero, donde la incidencia y severidad de *Fog* es alta, el producto sintético que se utiliza es eficiente, dichos autores recomendaron continuar buscando cepas nativas de mayor efectividad.

En el año 2008 se reportó el empleo de prácticas estratégicas de gestión cultural para controlar enfermedades fúngicas que pueden reducir el uso de productos químicos, los costos de producción y la contaminación del suelo por fungicidas, reconociendo que la rotación de cultivos es importante en el manejo de hongos patógenos del suelo, en muchos cultivos de importancia económica (Gan *et al.*, 2006).

Riaz *et al.* (2009) evaluaron el efecto del co-cultivo y la rotación de cultivos sobre el crecimiento y la pudrición del corno del gladiolo, con 10 cultivos agrícolas. Reportando que la incidencia de la enfermedad se puede suprimir significativamente entre el 29 y 53%, registrando la mayor supresión de la incidencia de la enfermedad en *T. erectus* (53%), seguido de *B. campestris* (49%). Las especies de *H. annuus* y *T. erectus* resultaron ser las más eficaces contra el patógeno inoculado, suprimiendo significativamente la incidencia de la enfermedad, el porcentaje de mortalidad, la gravedad de la enfermedad y el número de lesiones de enfermedad en los cormos. Estas dos especies son capaces también de suprimir la enfermedad de la pudrición del corno cuando se plantan como cultivos anteriores a gladiolos.

2. 8 Mejoramiento genético en el control de la enfermedad

Dentro del mejoramiento genético de las especies vegetales, la genética avanzada de plantas prevé la explotación de las variaciones genéticas desde un nivel de ADN, estas obtenidas por

medios artificiales o por una variación natural, que tengan la capacidad de causar alteraciones fenotípicas específicas (Wang *et al.*, 2020).

El mejoramiento genético a través del uso de tecnologías consideradas como modernas representan una oportunidad para el incremento de la producción de los cultivos, con fines de abastecer la demanda alimenticia del mundo y procurar el cuidado del medio ambiente, a través del mejoramiento genético se obtienen cultivares superiores con rasgos favorables de interés económico; cambios en la altura, el tiempo a floración, la productividad, resistencia a plagas y enfermedades, vida post cosecha, obtención de nuevos colores etc. (Anne y Lim, 2020).

Enfocados en el incremento y mantención del rendimiento en los cultivos, para mejorar la productividad y lograr su estabilización, es preciso desarrollar variedades resistentes a factores de estrés bióticos y abióticos (Nair *et al.*, 2019). El mejoramiento genético puede llevarse a cabo a través de hibridación (cruzamiento), selección clonal, selección por pedigrí, mutaciones inducidas, entre los principales (Rivadeneira *et al.*, 2021).

Las mutaciones pueden ser inducidas por mutágenos físicos y químicos; los mutágenos físicos pueden ser de dos tipos: radiaciones no ionizantes (rayos UV) o ionizantes (rayos X y rayos gamma, alfa, beta, y neutrones rápidos y lentos, los mutágenos químicos más ampliamente utilizados en las plantas incluyen etilmetano sulfonato (EMS), metilmetano sulfonato (MMS), fluoruro de hidrogeno (HF), azida de sodio, N-meil-N-nutrosourea (MNU), e hidroxilamina (Parry *et al.*, 2009, Estrada *et al.*, 2011).

La aplicación de tecnologías de radiación ha conseguido una mayor frecuencia de modificaciones genéticas y eficiencia en semillas tratadas (Oladosu *et al.*, 2016), sobre todo

en las plantas que se reproducen asexualmente y por ende presentan menor variabilidad genética, a través de la mutagénesis se pueden inducir dichos cambios (Estrada *et al.*, 2011).

2. 8. 1 Usos de la irradiación en mejoramiento genético

De acuerdo con la FAO (2017), la irradiación física de las estructuras vegetal como pueden ser semillas es capaz de inducir mutaciones heredables.

La interacción del ADN con los radicales libres formados por las moléculas de agua contenidas en el material vegetal inducen cambios y reordenamientos en los pares de bases, la dimensión de los cambios está estrechamente relacionada tanto como a la dosis de irradiación aplicada como al porcentaje de hidratación contenida en el tejido que se expone.

De acuerdo con Anne y Lim (2020) resultado de la inducción de mutaciones, se han obtenido variedades con mayor resistencia. Se ha reportado que en la base de datos de mutantes de la Organización para la Agricultura y la Alimentación existen 3246 nuevas variedades de plantas mutantes certificadas (Beyaz *et al.*, 2017).

El fitomejoramiento por irradiación ha generado variaciones en una amplia gama de cultivos, desde granos hasta flores (Oldach, 2011), mutantes de tabaco fueron obtenidos en 1936, de Tigo y Arroz en 1994 de Tulipán en 1954.

Cultivos como Papa (*Solanum tuberosum* L.), Quinua (*Chenopodium quinua*), Amaranto (*Amaranthus caudatus*), Arveja (*Pisum sativum* L.) han sido irradiados en busca de características de resistencia en algunos se han obtenido materiales exitosos, en otros se sigue experimentando. En las plantas ornamentales este tratamiento ha sido utilizado con éxito para

obtener características de resistencia a *Fusarium* en mutantes de clavel inducidos por irradiación gamma (Anne y Lim, 2020).

Debido a que la respuesta de los organismos vegetales al ser expuestos a rayos gamas depende tanto del grado de ionización atómica y molécula, como de la especie y parte vegetal que se utilice, el estudio de estos efectos es importante en el ámbito experimental se pueden consolidar sobre otros caracteres muchos hallazgos que derivan de un primer ensayo.

Piña *et al.* (2019) al evaluar los efectos del proceso de irradiación de dos variedades de gladiola, blanca y roja borrega, determinó características vegetativas sobresalientes en las plantas de algunas de las dosis a las que sometió los cormos, observó también variaciones en el daño a tribuido a un factor biótico que resultó de interés a ser evaluado como resultado de una mutación fija heredable.

III. JUSTIFICACIÓN

Las técnicas de cultivo bajo las que se da la producción de la flor de la gladiola la colocan en un escenario desfavorable, en el que tanto los factores bióticos y abióticos bajo los que se desarrolla el cultivo impactan negativamente. Una de las principales problemáticas que limita la producción, generando pérdidas del cultivo, pérdidas del cormo (material utilizado como semilla) y que evita la introducción a mejores mercados de comercialización es causada por el patógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*, enfermedad que se conoce como la marchitez. En México se desconoce la sensibilidad procedente de los cultivares que se siembran a la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*.

El estudio de la sensibilidad de las variedades y cultivares de gladiolo resultado del mejoramiento genético es de relevancia dado que en México se carece de la generación de nuevas variedades gladiolo. Por lo que de acuerdo con los hallazgos que se reportan de procesos de inducción de mutaciones por irradiación, este método de mejoramiento genético en el cultivo de gladiolo podría generar mutaciones fijas y heredables relevantes de ser estudiadas para la evaluación de resistencia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*.

Dada la creciente importancia de la enfermedad se pretende realizar la cuantificación del daño de la enfermedad a través de una metodología estandarizada, que permita determinar la sensibilidad que pudiera ser adquirida en los cultivares de comportamiento sobresaliente, tras el mejoramiento de las variedades para la obtención de caracteres de resistencia a la enfermedad. El objetivo de este proyecto de investigación es identificar la sensibilidad de los cultivares sobresalientes de gladiolo variedad blanca borrega obtenidos de la irradiación de Co^{60} a la marchitez por *Fusarium*.

IV. HIPÓTESIS

Algún cultivar sobresaliente de gladiolo variedad blanca borrega presenta cierto nivel de resistencia a la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*

V. OBJETIVO GENERAL

Identificar cultivares sobresalientes de gladiolo obtenidos de irradiación de Co⁶⁰ por su resistencia a la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Evaluar la incidencia de la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* en plantas de los cultivares sobresalientes de gladiolo obtenidos de irradiación de Co⁶⁰

Evaluar la incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* en los cormos de los cultivares sobresalientes de gladiolo obtenidos de irradiación de Co⁶⁰

Determinar el nivel de resistencia o sensibilidad al patógeno *Fusarium* spp.

VI. MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, del Campus Universitario el Cerrillo, Toluca Estado de México, en el área correspondiente al vivero anexo al invernadero número tres (Figura 1). El sitio tiene una localización entre los 19°14' de latitud norte y 92°42' de longitud oeste; a una altitud de 2,611 msnm., con un clima predominante en la región del tipo templado húmedo con lluvias en verano y poca oscilación térmica. El tipo de suelo característico en el área donde se estableció el experimento es de tipo vertisol pélico de origen volcánico.



Figura 1. Ubicación del vivero anexo al invernadero número tres, de la Facultad de Ciencias Agrícolas U.A.E.Méx.

La investigación se dividió en dos ensayos que fueron realizados durante los ciclos otoño-invierno 2020 y otoño-invierno 2021, en el mes de agosto de cada año, bajo condiciones similares.

6.1 Material vegetal

Se utilizaron cormos de los cultivares sobresalientes de la variedad Blanca Borrega de una segunda y tercer generación, que fueron irradiados, reportados y seleccionados por Piña *et al.* (2019) en base a su sobrevivencia y características morfológicas expresadas y cormos testigo obtenidos de cultivos *in vitro* (Figura 2).



Figura 2. Selección por tamaño de los cormos de los materiales sobresalientes de la segunda y tercera generación.

6.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, se utilizaron diferente cantidad de repeticiones dependiendo del tratamiento, debido a la disponibilidad de cormos por cada cultivar sobresaliente de dosis de irradiación y el testigo, en ambos ciclos, la unidad experimental consistió en una maceta con una planta.

6.3 Establecimiento del ensayo

El establecimiento de los cormos se realizó en contenedores o macetas, previendo evitar la contaminación del suelo por el inóculo del patógeno que se evaluaría.

Los cormos se sembraron en macetas de plástico con capacidad de 1,400 mL, con un sustrato conformado por una mezcla de 30% materia orgánica, 20% agrolita y 50% suelo, el sustrato fue desinfectado y esterilizado con una solución de methamsodio GRUINDAG ® (Figura 3).



Figura 3. Preparación del sustrato y contenedores.

La evaluación del primer ensayo correspondió al ciclo de cultivo otoño- invierno 2020, se realizó sembrando los cormos sobresalientes correspondientes a la segunda generación (M2) y el Testigo (Figura 4).

Para la evaluación del segundo ensayo correspondiente al ciclo de cultivo otoño- invierno 2021 se procedió a la siembra de los cormos correspondientes a la tercera generación (M3) y el testigo (Figura 5).

En una tercera evaluación para registrar datos adicionales se sembraron y evaluaron los cormos cosechados de la generación M3 y un testigo.

Se brindaron las condiciones para el adecuado desarrollo de las plantas, realizando el manejo agronómico correspondiente a riegos, control de malezas adyacentes y control de plagas insectiles, esto durante todo el desarrollo de las plantas y hasta la cosecha de los cormos.



Figura 4. Siembra de cormos de los cultivares sobresalientes de las dosis de irradiación.



Figura 5. Siembra de cormos de los cultivares sobresalientes de las dosis de irradiación.

6. 4 Aislamiento del inóculo de *Fusarium*

Se realizó el incremento del cultivo fúngico de *Fusarium oxysporum* F. sp. *gladioli*, aislado de cormos y plantas enfermas de producciones comerciales (Figura 6). El cultivo y multiplicación de los aislados se llevó a cabo en cajas Petri en un medio de agar PDA a 25°C durante aproximadamente tres semanas para promover el incremento micelial.

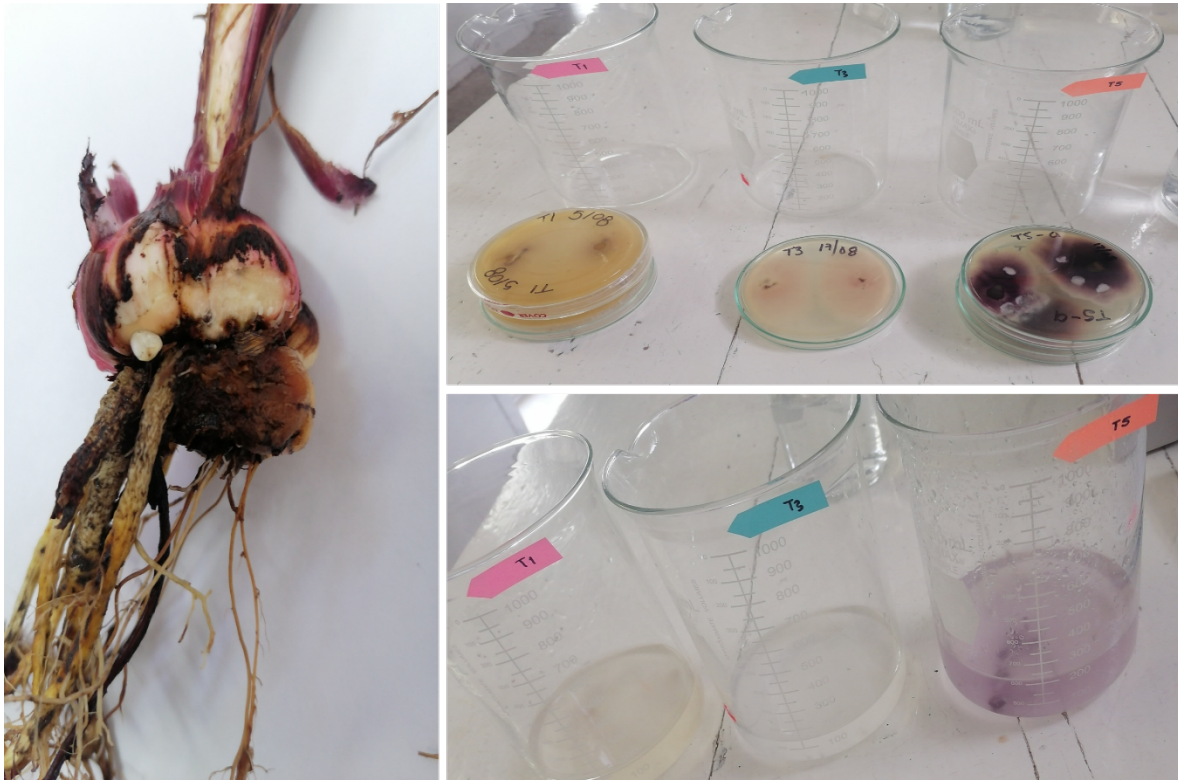


Figura 6. Aislamiento y multiplicación del inóculo de *Fusarium*.

6. 5 Método de inoculación

Una vez que se consideró que el crecimiento de inóculo era suficientes para cubrir la cantidad que se emplearía, se procedió a obtener el crecimiento del cultivo fúngico. En las cajas Petri se colocó una cantidad de agua destilada y de forma manual con el dedo, realizando movimientos suaves en forma circular se aseguró su desprendimiento, la solución obtenida fue depositada en vasos de precipitados para posteriormente fusionar en uno solo todo el crecimiento las cajas.

Se preparo una muestra de la solución del inóculo que fue observada bajo un microscopio compuesto con objetivo de 40X, para determinar las estructuras visibles del patógeno y con el uso de la cámara de Neubauer se contabilizo la cantidad de estructuras presentes y se determinó el requerimiento en mililitros que sería aplicado (Figura 7).

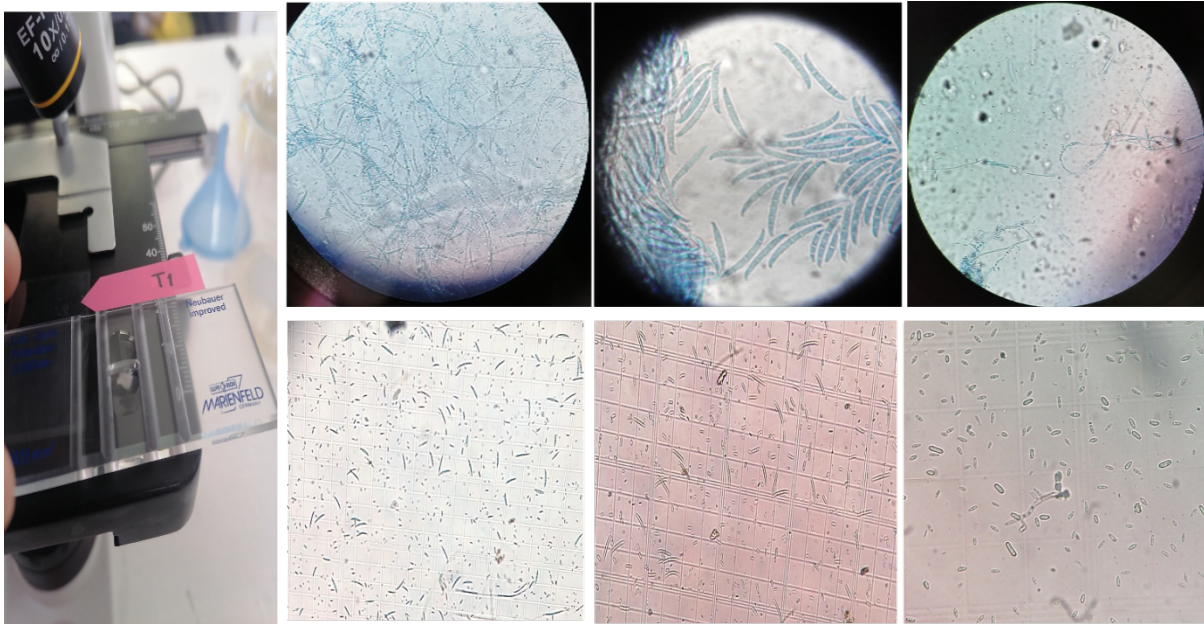


Figura 7. Preparación y conteo del inóculo de *Fusarium*.

La inoculación de las plantas se realizó de acuerdo con la concentración y metodología reportada por Elmer (2002), que indica un umbral de 5.4×10^4 unidades formadoras de colonias de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cyclaminis* por mL de tierra, por maceta se observan síntomas de la marchitez en las plantas.

Las macetas se inocularon directamente al sustrato en la base del tallo a los 25 días después de la siembra, posterior a la aplicación del inóculo se realizó un riego ligero para favorecer la penetración de la solución en el sustrato (Figura 8).



Figura 8. Inoculación del patógeno al tallo de las plantas.

6. 6 Muestreo

Se evaluó la incidencia y severidad del daño en la planta, se monitoreo cada siete días por la mañana y se registró a partir de los 25 DDS, y durante 108 días, registrándose la expresión de los síntomas característicos de la enfermedad y mortandad de las plantas (amarillamiento, marchitez, muerte de planta). A la par se realizó la evaluación semanal del crecimiento y aparición de las etapas fenológicas para determinar la influencia del patógeno en el desarrollo del cultivo (retraso y reducción del crecimiento, altura del tallo floral, emisión de espiga, apertura de flores) esto durante 133 días desde el momento de la siembra (Figura 9).



Figura 9. Muestreos para datos de desarrollo, incidencia y severidad de la enfermedad en planta.

Una vez finalizado el ciclo productivo del cultivo en los dos ensayos al realizar la cosecha de los cormos se evaluó la incidencia y severidad de la enfermedad en los cormos (Figura 10).

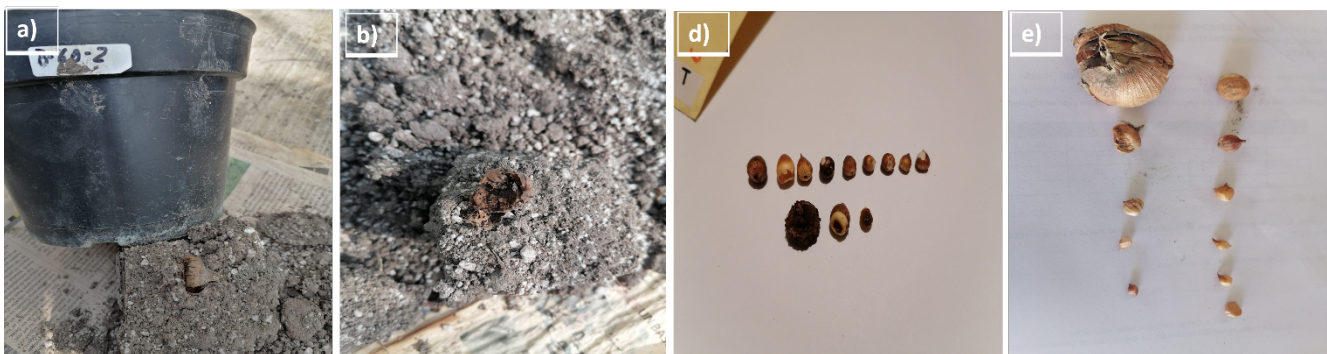


Figura 10. Toma de datos: a) mortandad en corno 60 Gy, b) mortandad en corno 40 Gy, d) porcentaje de incidencia en corno del Testigo, e) porcentaje de incidencia en corno Testigo.

Se obtuvieron los datos de precipitación y la temperatura promedio registrados durante los dos ciclos del cultivo, con información de la estación meteorológica 766750 posicionada a una latitud de 19°20'14.2" y una longitud de -99°34'0.06" a una altitud de 2720 msnm, considerada la fuente más cercana de datos.

Variables evaluadas

Incidencia de la enfermedad

La evaluación del daño de la enfermedad se cuantifico y clasificó con forme a las fórmulas propuestas por Hembrom *et al.* (2019):

$$1) \text{ Incidencia de la enfermedad (\%)} = \frac{\text{número de plantas infectadas}}{\text{número total de plantas evaluadas}} \times 100.$$

$$2) \text{ La mortandad se estimó con la formula; Mortandad (\%) = } \frac{\text{número de plantas muertas por la enfermedad}}{\text{número total de plantas evaluadas}} \times 100.$$

3) La severidad en planta se estableció con el uso de la escala arbitraria con las siguientes clases: clases 0= Sin síntomas de la enfermedad, 1= Amarillamiento de hojas, 2=

Inicio de marchitamiento, 3= De casi muerte a Muerte de la planta (Hembrom *et al.*, 2019).

- 4) La categorización del nivel de resistencia de cada cultivar sobresaliente se realizó con base a los porcentajes de incidencia; altamente resistente AR (0-10%), resistente R (10-25%), moderadamente susceptible MS (25-50%), susceptible S (50-75%), y altamente susceptible AS (75-100%).
- 5) En cuanto determinación de la severidad en corno esta se realizó con la escala arbitraria descrita por Shanmugam *et al.*, (2011) compuesta por las clases: clase 0=0 % infección, clase 1 = 1-25% área infectada, clase 2= 26-50 % del área infectada podrida, clase 3= 51-75% del área podrida, clase 4= 56-100% del área podrida debido a la infección.
- 6) Adicionalmente, considerando el tiempo en que los cultivares brotaron y en que expresaron sus etapas fenológicas (emergencia, desarrollo vegetativo, formación de espiga y floración), se clasificó su comportamiento como de tipo precoz, intermedio o igual al testigo y tardíos además de la aparición de los síntomas de deformación de planta, reducción del crecimiento atrofia de las espigas-flores.

6. 7 Análisis de datos

Los valores de porcentaje de incidencia expresada en las plantas se transformaron con logaritmo inverso para obtener la homogeneidad de las varianzas, se sometieron a un análisis de varianza para la comparación de la epidemia entre los cultivares sobresalientes. El comportamiento de cada cultivar en cada variable analizada se determinó por medio del análisis de varianza usando PROC GLM (SAS System ver. 9.2 Cary, N. C. USA) y la separación de medias con la prueba de LSD α 0.05%.

Los valores del nivel de severidad e incidencia se usaron para calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) (Lozano, 1995; Madden *et al.*, 2007) de cada unidad experimental a través del programa R. usando la librería agricolae.

VII. RESULTADOS

7.1 Incidencia

El porcentaje de incidencia de la enfermedad en planta varió en los dos ensayos de la investigación, con porcentajes desde 0 hasta el 78% en el año 2022, la incidencia se redujo en seis de los cultivares sobresalientes evaluados y en el testigo. Los cultivares sobresalientes con menor incidencia fueron las dosis de 30, 70, 80, 90 y 100 Gy, la mayor incidencia sucedió en los cultivares sobresalientes de 40 y 50 Gy (Figura 11).

Los resultados del análisis de varianza para la comparación de epidemias entre cultivares sobresalientes arrojaron diferencias significativas únicamente en el primer ensayo (Cuadro 1), mientras que en la segunda evaluación no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 2) en la respuesta a la enfermedad de los cultivares sobresalientes procedentes de las distintas dosis (Figura 11).

Cuadro 1: Análisis de varianza de la incidencia de la enfermedad en planta ciclo 2020.

FV	GL	SC	CM	F _C	Pr>F
Dosis	10	0.51094832	0.05109483	3.14	0.002*
Error	77	1.25097456	0.01624642		
Total	87	1.76192288			
C.V.	63.15384				

NS: no significativo (P=0.05) *: Diferencia estadística significativa para F calculada (P>0.005)

Cuadro 2: Análisis de varianza de la incidencia de la enfermedad en planta ciclo 2021.

FV	GL	SC	CM	F _C	Pr>F
Dosis	10	0.01004361	0.01004361	0.69	0.7263 ^{NS}
Error	29	0.42288895	0.01458238		
Total	39	0.52332508			
C.V.	48.62397				

NS: no significativo (P=0.05) *: Diferencia estadística significativa para F calculada (P>0.005)

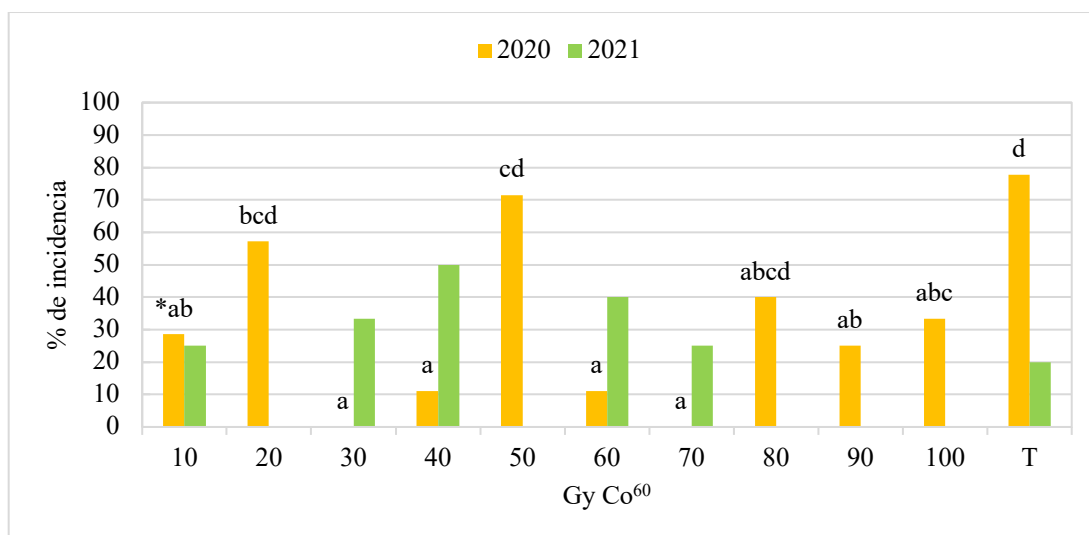


Figura 11. Incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* en planta en los cultivares sobresalientes de gladiolo.

Conforme a los resultados registrados sobre el parámetro de incidencia de la enfermedad en cormo, los valores que se registraron estuvieron comprendidos desde 0 hasta el 80% (Figura 12). Se encontró una estrecha relación entre la incidencia de la enfermedad en planta en campo y en el cormo cosechado, en los cultivares sobresalientes que presentaron incidencia

de enfermedad en planta esta trascendió al cormo generalmente en porcentajes más elevados, en otros de los cultivares sobresalientes como fueron las dosis de 30 y 70 Gy, que en campo no mostraron incidencia de la enfermedad, esta se presentó como una infección tardía expresando menor incidencia en el cormo a la cosecha. En la evaluación de la incidencia de la enfermedad en cormo en el ciclo 2021, los porcentajes fueron iguales a la incidencia en campo lo que correspondería a que la infección de la enfermedad en planta se manifestó en la misma proporción en los cormos, a diferencia del testigo que fue atacado en mayor porcentaje, incrementando la incidencia cuatro veces más que la presentada en planta.

Los resultados del análisis de varianza para la incidencia en cormo (Cuadro 3 y 4) no mostraron diferencias significativas en los dos ciclos evaluados (Figura 12). Sin embargo, la separación de medias con la prueba LSD permitió diferenciar el efecto de cada tratamiento, seguramente influenciado por el efecto de usar diferente número de repeticiones en cada tratamiento.

Cuadro 3: Análisis de varianza de la incidencia de la enfermedad en cormo ciclo 2020

FV	GL	SC	CM	F _C	Pr>F
Dosis	10	0.03125576	0.03125576	1.43	0.1817 ^{NS}
Error	76	1.65606334	0.02179031		
Total	86	1.96862098			
C.V.	101.5762				

NS: no significativo (P=0.05) *: Diferencia estadística significativa para F calculada (P>0.005).

Cuadro 4: Análisis de varianza de la incidencia de la enfermedad en cormo ciclo 2021

FV	GL	SC	CM	F _C	Pr>F
Dosis	10	0.27714329	0.02771433	1.8	0.1048 ^{NS}
ERROR	29	0.44554372	0.01536358		
TOTAL	39	0.72268701			
C.V.	56.79347				

NS: no significativo (P=0.05) *: Diferencia estadística significativa para F calculada (P>0.005).

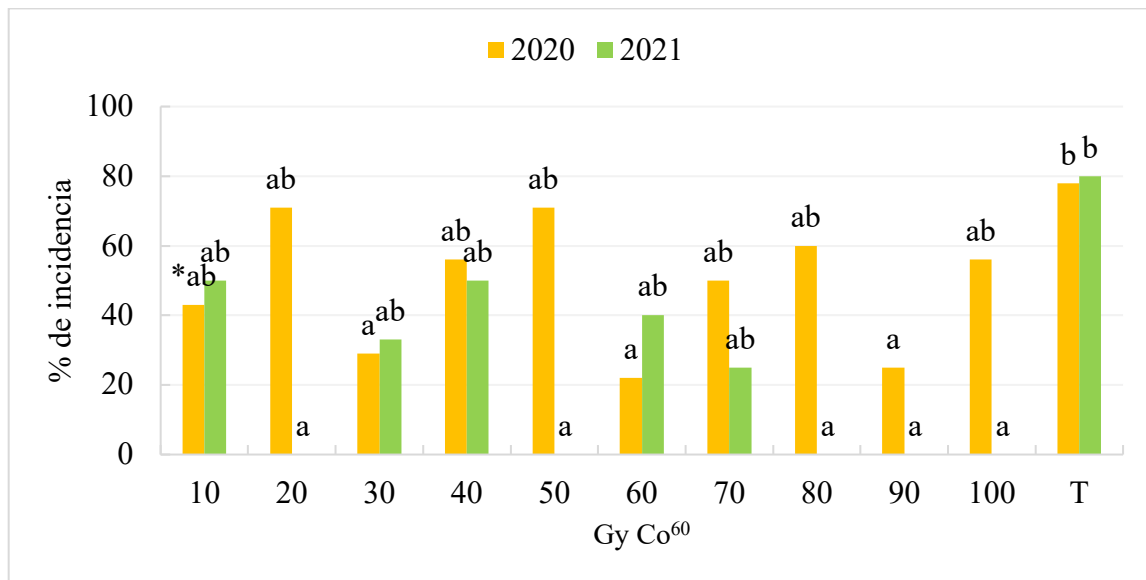


Figura 12. Incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* en cormos de los cultivares sobresalientes de gladiolo.

7.2 Mortandad en planta

Los porcentajes de mortandad fluctuaron de 0 hasta 78% el más alto. Tanto en el testigo como el cultivar sobresaliente a 50 Gy presentaron la mayor pérdida de plantas. La mortandad se redujo drásticamente durante el segundo ensayo donde se evaluaba la tercera generación de las dosis irradiadas (Figura 13).

La mortandad de plantas del ciclo 2020 presentó menores porcentajes de momificación excepto en los cultivares sobresalientes de las dosis de 30, 40 y 70 Gy, mismos materiales en los que se incrementó la muerte de cormo por momificación. Para el ciclo 2021 el porcentaje de planta muerta fue el mismo que de muerte de cormo de tal forma que la infección que se presenta en campo continúa afectando los tejidos hasta el cormo en el periodo de almacén. El material genético al que más afectó la mortandad de cormo en este ciclo fue el testigo, lo que coincide con las pérdidas que se tienen comercialmente e indicaría la susceptibilidad del material (Figura 13).

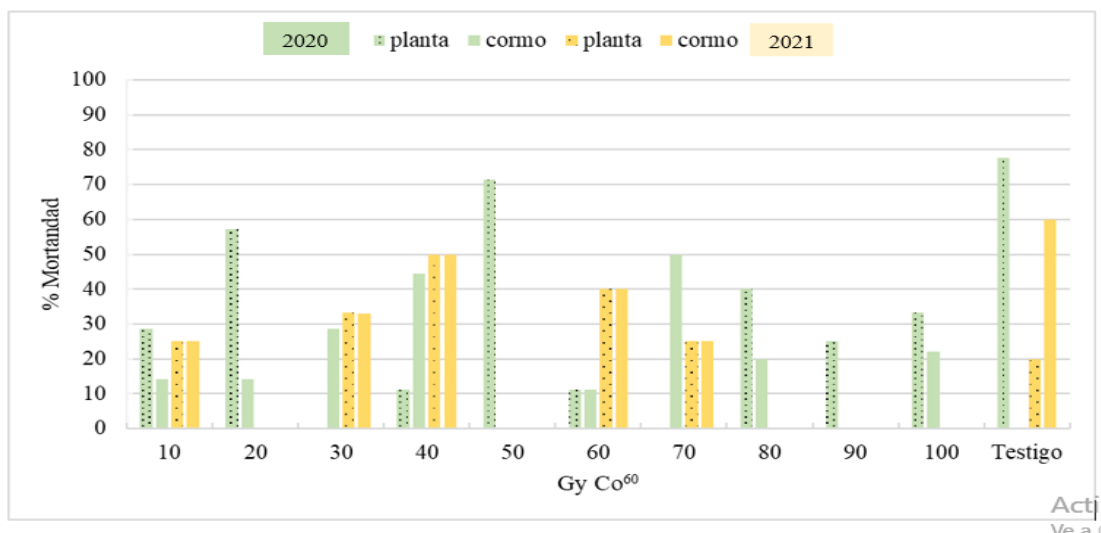


Figura 13. Mortandad por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* los cultivares sobresalientes de gladiolo.

7.3 Severidad

La severidad presentada en las plantas evaluadas se pondero por tratamiento, obteniéndose clases desde 0- sin síntomas, hasta la clase tres de muerte o casi muerte de las plantas. La relación entre los porcentajes de incidencia, mortandad y severidad, indican que en determinados cultivares sobresalientes, aunque se presentó una elevada incidencia de la enfermedad, la severidad con la que esta ataco a la planta no fue suficiente como para alcanzar la mortandad de las plantas (Cuadro 5).

Se observó que la severidad presentada en la planta se ve asociada con la severidad encontrada en el cormo. La severidad del cormo también fue ponderada por lo que, aunque se presentaron cormos completamente momificados en algunos de los cultivares sobresalientes el porcentaje no fue lo suficiente para alcanzar la categoría de clase cuatro de la escala utilizada, por lo que ningún cultivar sobresaliente pudo categorizarse en esa clase.

Cuadro 5: Clasificación de la severidad de la enfermedad en los cultivares sobresalientes de gladiolo.

Cvs	Severidad			
	Planta		Cormo	
	a	b	a	b
10	1	2	2	1
20	1	0	3	0
30	0	1	1	2
40	2	3	2	2
50	1	0	3	0
60	1	3	1	3
70	0	1	2	1
80	1	0	2	0
90	1	0	1	0
100	1	0	2	0
T	2	2	3	3

a=2020, b=2021. Severidad en planta clases: 0= Sin síntomas de la enfermedad, 1. Amarillamiento de hojas, 2. Inicio de marchitamiento, 3. De casi muerte a muerte de planta. Severidad en cormo clases: 0=0% de infección, 1=1-25% del área infectada podrida, 2= 26-50% del área infectada podrida, 3= 51-75% del área podrida, 4= 76-100% del área podrida debido a la infección.

7. 4 Categorización de la resistencia de los cultivares sobresalientes

De acuerdo con el porcentaje de incidencia y daño de la enfermedad que presentaron los cultivares evaluados, fueron ubicados dentro de los rangos de cinco categorías.

Durante la investigación en el primer ensayo dos cultivares presentaron características dentro de la categoría de altamente resistente (30 y 70 Gy), dos más se categorizaron como resistentes (40, y 60 Gy), cuatro como moderadamente susceptibles (10, 80, 90, 100 Gy), uno como susceptible (20) y dos como altamente susceptibles (50 y T) (Cuadro 6).

El número de cultivares sobresalientes de las categorías de altamente resistente y resistente se incrementaron en la evaluación del segundo ensayo pasando de dos a cinco en la categoría de altamente resistente (20, 50, 80, 90 y 100 Gy) y de 2 a 3 para la de resistente (10 y 70 Gy), el número de cultivares contenidos en la categoría de moderadamente susceptible se redujo en uno, mientras que en las categorías de susceptible y altamente susceptible no fueron categorizados ninguno de los materiales evaluados durante el segundo ensayo.

Con los resultados de los parámetros evaluados, los cultivares sobresalientes procedentes de las dosis de irradiación a 80, 90 y 100 Gy se perfilaron como los cultivares con características superiores de resistencia a la enfermedad.

Cuadro 6: Categorización del nivel de resistencia en los cultivares sobresalientes de gladiolo a *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*.

cvs	Categoría	
	2020	2021
10	MS	R
20	S	AR
30	AR	MS
40	R	MS
50	AS	AR
60	R	MS
70	AR	R
80	MS	AR
90	MS	AR
100	MS	AR
T	AS	R

AR= Altamente resistente, R= Resistente, MS= Moderadamente susceptible, S= Susceptible, AS= Altamente susceptible.

7. 5 Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)

Tanto la incidencia como la severidad mostraron un progreso de la enfermedad de forma diferente a través del tiempo en cada cultivar sobresaliente, los valores de cero correspondientes a que no hubo presencia de la enfermedad, los valores más altos conciernen al testigo y a los cultivares que presentaron mayor incidencia y severidad (Cuadro 7).

Cuadro 7: Valores del área bajo la curva del progreso de la incidencia y severidad de la enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli* en los cultivares sobresalientes de gladiolo (a=2020, b=2021).

cvs	Incidencia		Severidad	
	a	b	a	b
10	2202	1479	384.9	259
20	4097	0	715.42	0
30	0	2914	0	509
40	886	3325	450.7	1348.3
50	5135	0	968.2	0
60	963	2660	169.7	626.2
70	0	2013	0	351
80	2800	0	543.2	0
90	1936	0	335.9	0
100	2195	0	387	0
T	6186	1190	2382	208

7. 8 Resultados de la evaluación del desarrollo vegetativo

Durante el desarrollo de las plantas se observó que tanto la brotación del cormo como la aparición de cada una de las etapas fenológicas presentaron variaciones en su tiempo de expresión, entre las dosis de irradiación de los cultivares sobresalientes.

La emergencia de las plantas varió o se expresó en tres fechas 14, 21 y 35 días (Cuadro 8), momento en el que inicia la fase vegetativa, partiendo de cada una de esas fechas se observó

la agrupación de los cultivares sobresalientes tanto por el tiempo en que aparecieron las etapas de desarrollo, como por el crecimiento en altura que presentaron las plantas, en un grupo categorizado como precoz se desarrollaron las plantas de los cultivares sobresalientes a dosis de 30, 50, 80, 90 y 100 Gy cuyo desarrollo fenológico fue más acelerado, además de presentar la mejor altura promedio.

La integración del segundo grupo, categorizado como intermedio, se conformó en un principio por los cultivares sobresalientes de las dosis de 10, 20, 40, 60 Gy con un desarrollo similar hasta la emisión de espiga, momento en el que se agregó el testigo, material que presentó diferente fecha de emergencia pero que alcanzó a los cultivares sobresalientes en la etapa de emisión de espiga y floración, superando en altura de planta a todos los cultivares sobresalientes de este grupo excepto al cultivar de 40 Gy (Cuadro 8).

Tanto el testigo como el cultivar sobresaliente de 70 Gy, tuvieron un desarrollo fenológico y crecimiento menor que el resto de los evaluados en las primeras etapas, el testigo presentó características superiores que lo colocaron en otro rango, por su parte el cultivar sobresaliente a 70 Gy, presentó el ciclo de desarrollo y aparición de las etapas fenológicas más largo además de la menor altura promedio de plantas (Cuadro 8).

Cabe destacar que dentro de los cultivares sobresalientes de las dosis de 10, 40, 60, 70 Gy y el testigo, se presentó el fenómeno de atrofia de las plantas al grado de no haber emisión de espiga porque dicha estructura no se formó o porque esta murió antes de llegar a la etapa de emergencia de espiga, en otros casos las espigas se deformaron, presentaron pocas flores y algunas de ellas no tuvieron la apertura floral convencional.

Cuadro 8: Duración del ciclo fenológico y sus etapas en número de días después de la siembra (dds) y tamaño de planta (cm).

Cvs	Emergencia	Emisión de espiga	Inicio de floración	Máxima altura de planta	% de espiga	Duración del ciclo fenológico
10	14	63	91	37.4	75	intermedio
20	14	63	84	36.2	100	intermedio
30	14	54	77	50.4	100	precoz
40	14	63	77	39.1	50	intermedio
50	14	54	84	49.5	100	precoz
60	21	63	77	31.1	50	intermedio
70	14	63	91-98	27.2	50	Tardío
80	14	54	77	49.7	100	precoz
90	14	54	70	49.2	100	precoz
100	14	54	70	51.8	100	precoz
T	35	70	105-112	35.3	70	intermedio

El registro de características como el tamaño de planta y la aparición o no de estructuras que conforman a la planta, permitió la identificación de otros síntomas que han sido reportados para la marchitez causada por *fusarium* en el cultivo del gladiolo.

7.9 Otros resultados

Adicional a las evaluaciones planteadas de los cultivares sobresalientes de la segunda y tercera generación (ciclos 2020-2021), se realizó una evaluación más, correspondiente a los cormos cosechados de la tercera generación y que pertenecerían a una M4 (ciclo 2022) en el periodo primavera- verano 2022, bajo condiciones ambientales de disponibilidad de luz solar y temperatura diferentes a las presentadas en los ciclos otoño invierno de las evaluaciones de la generación dos y tres.

La mayor altura registrada se presentó en el cultivar sobresaliente de 80 Gy, y la menor en el cultivar sobresaliente de 50 Gy. Los porcentajes de incidencia de la enfermedad en planta fueron del 20% como mínimo y de 100 % la mayor incidencia, esta presentada en el testigo. La clasificación de la severidad se ubicó en las clases uno: con síntomas de amarillamiento y clase tres: muerte o casi muerte de planta, presentada en el cultivar sobresaliente de 50 Gy (Cuadro 9).

La incidencia de la enfermedad en cormo vario en porcentajes desde 20 a 80%, en siete de los cultivares y el testigo, la incidencia presentada en cormo fue menor o igual a la que se dio en campo, mientras que en los tres restantes correspondientes a los cultivares sobresalientes de las dosis de 60, 70 y 80 Gy esta se incrementó. La severidad con la que se presentó la enfermedad en los cormos se ubicó en las clases 1, 2 y 4 (cuadro 9), donde a pesar de que en algunos cultivares la incidencia fue baja, el daño en los cormos se presentó con tal severidad que este se momifico.

Cuadro 9: Evaluación de la cuarta generación de los materiales sobresalientes y su comportamiento ante *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli*.

Cvs	Max altura	%	
		incidencia planta	incidencia cormo
		Severidad	Severidad
B-10	43.1	80	40
B-20	48.28	80	80
B-30	39.4	40	20
B-40	33.8	20	20
B-50	31.3	60	40
B-60	47.1	60	80
B-70	38.5	20	60
B-80	53.3	60	60
B-90	31.9	50	40
B-100	34	25	20
Testigo	41.4	100	60

Se presentan los resultados de la productividad de cormos y cormillos por cultivar sobresaliente y su comparación con el testigo por año evaluado (cuadro 10). Los promedios más altos de producción de cormo se presentaron en los cultivares sobresalientes de 90, 30, 20 Gy y el testigo en ese orden, el resto de los materiales tuvo una productividad por debajo de la obtenida en el material que se utilizó como testigo.

Se evidenció el incremento en la reproducción de los cultivares en la tercera y cuarta generación.

Cuadro 10: Evaluación de la productividad de cormos de los materiales de los cultivares sobresalientes en presencia de la enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli*.

Producción de cormos por ciclo			
cvs	2020	2021	2022
B-10	13	149	147
B-20	27	212	74
B-30	12	43	107
B-40	2	40	138
B-50	3	79	76
B-60	16	80	68
B-70	2	92	108
B-80	31	178	213
B-90	2	39	51
B-100	15	69	176
Testigo	19	89	142
Total	142	1070	1300

Dentro de los datos recabados, se contó con la información suficiente para analizar y clasificar la producción de cormos y cormillos de las tres generaciones, correspondientes a los años de cultivo 2020, 2021 y 2022 mismo orden en que se presenta la información de cada cultivar sobresaliente evaluado (Cuadro 11). Los cormos fueron separados y asignados dentro de cinco categorías de acuerdo con el diámetro que presentaron, correspondientes a

las claves Grande (G) de 2.5 a 3 cm, Mediano (M) de 2 a 2.5 cm, Chico (C) de 1 a 2 cm, Mini (m) de .5 a 1 cm y Mini-micro (Mn) con diámetro menores a .5 cm.

Se contabilizó el total de cormos por cultivar y por categoría correspondientes a la cosecha de cormos de la segunda, tercer y cuarta generación. El tamaño que dominó fue el de mini-micro cormos con un total de 2161 cormillos, después se ubicó el rango de mini-cormos con 175 unidades, seguido del tamaño grande donde se obtuvieron 97 cormos, por último, en los rangos de 1 a 2 cm se colectaron 54 cormos, mientras que para el tamaño de 2 a 2.5 cm solo de agruparon 25 cormos (cuadro 11).

Como un gran total de las tres generaciones se reporta la cosecha y almacenamiento de 2512 cormos /cormillos (Cuadro 11).

Cuadro 11: Evaluación de la cuarta generación de los materiales sobresalientes, a la enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli*.

Tamaño cm	2.5-3	2-2.5	1.0-2.0	.5-1	<-0.5	Total
cvs	G	M	C	m	mn	
B-10	1	0	1	4	7	13
B-10	1	2	7	17	122	149
B-10	4	2	0	0	141	147
B-20	1	1	0	6	19	27
B-20	5	0	5	30	172	212
B-20	5	0	0	4	65	74
B-30	2	1	0	0	9	12
B-30	2	0	4	4	33	43
B-30	4	1	0	1	101	107
B-40	1	1	0	0	0	2
B-40	2	0	0	6	32	40
B-40	5	0	0	0	133	138
B-50	2	0	1	0	0	3
B-50	3	0	0	16	60	79
B-50	4	2	0	3	67	76
B-60	1	0	4	1	10	16
B-60	3	0	0	8	69	80
B-60	5	1	0	3	59	68
B-70	0	0	1	0	1	2
B-70	1	1	1	5	84	92
B-70	6	0	1	3	98	108
B-80	3	0	5	2	21	31
B-80	3	2	0	5	168	178
B-80	7	1	1	2	202	213
B-90	1	0	1	0	0	2
B-90	0	1	2	5	31	39
B-90	3	1	0	0	47	51
B-100	1	2	0	0	12	15
B-100	2	0	0	11	56	69
B-100	1	3	0	0	172	176
Testigo	7	1	3	0	8	19
Testigo	7	1	17	30	34	89
Testigo	4	1	0	9	128	142
Total	97	25	54	175	2161	2512

Capítulo I

Derivado de los resultados de la presente investigación, se generó un artículo científico que fue enviado a la Revista Fitotecnia Mexicana, ISSN 0187-7380, indexada en Web of Science (antes JCR) y Conacyt. Con un factor de impacto a 2022 de 0.418.



CARTA DE RECEPCIÓN

Chapingo, Estado de México, 30 de diciembre de 2022

JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Con la presente se hace constar que se ha recibido el manuscrito propuesto para su publicación en la REVISTA FITOTECNIA MEXICANA titulado:

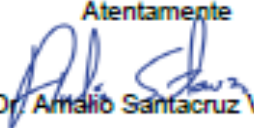
**SENSIBILIDAD DE CULTIVARES SOBRESALIENTES DE GLADIOLO A LA MARCHITEZ
POR *Fusarium* spp.**

Autores: ARLIN EMMA AYALA VILLADA, JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE*, RÓMULO GARCÍA VELASCO, ÁLVARO CASTAÑEDA VILDÓZOJA, OMAR FRANCO MORA, EDUARDO PIÑA DE JESÚS, LUIS DEMETRIO PIÑA HERNÁNDEZ.

Para su evaluación, el manuscrito con clave: **R2022074** será enviado a dos revisores técnicos y a un editor, cuyo dictamen se hará de su conocimiento tan pronto esté disponible.

Para facilitar la comunicación del caso, le agradeceré que en toda correspondencia relacionada con este manuscrito anote la clave asignada. En adición, es necesario que oportunamente nos avise de cualquier cambio, ya sea de dependencia o de correo electrónico.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente

Dr. Amalio Santacruz Varela
Director

ASV*gd

**SENSIBILIDAD DE CULTIVARES SOBRESALIENTES DE GLADIOLO A LA
MARCHITEZ POR *Fusarium. spp***

**SENSITIVITY TO *Fusarium spp.* WILT IN OUTSTANDING CULTIVARS OF
GLADIOLUS**

Arlin Emma Ayala-Villada¹, Jesús Ricardo Sánchez-Pale^{1*}, Rómulo García-Velasco²,
Álvaro Castañeda-Vildózola¹, Eduardo Piña-De Jesús¹, Luis Demetrio Piña Hernández¹

¹UAEMex, Facultad de Ciencias Agrícolas, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México, Apdo. Postal 435, El Cerrillo Piedras Blancas, Edo. de México. Teléfono:(722) 296-5531. Fax: 01 (722) 296-5529² Centro Universitario Tenancingo, Tenancingo, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia (jrsanchezp@uaemex.mx)

**SENSIBILIDAD DE CULTIVARES SOBRESALIENTES DE GLADIOLO A LA
MARCHITEZ POR *Fusarium. spp***

**SENSITIVITY TO *Fusarium spp.* WILT IN OUTSTANDING CULTIVARS OF
GLADIOLUS**

Arlin Emma Ayala-Villada¹, Jesús Ricardo Sánchez-Pale^{1*}, Rómulo García-Velasco²,
Álvaro Castañeda-Vildózola¹, Eduardo Piña-De Jesús¹, Luis Demetrio Piña Hernández¹

¹UAEMex, Facultad de Ciencias Agrícolas, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México, Apdo. Postal 435, El Cerrillo Piedras Blancas, Edo. de México. Teléfono:(722) 296-5531. Fax: 01 (722) 296-5529² Centro Universitario Tenancingo, Tenancingo, Estado de México, México.

* Autor para correspondencia (jrsanchezp@uaemex.mx)

Sensibilidad de cultivares sobresalientes de gladiolo

RESUMEN

El gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* L.) es la ornamental de mayor importancia producidas a campo abierto en el Estado de México, cuya problemática más importante es la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* sp. *gladioli*, que merma la producción hasta 100%. El uso de cultivares resistentes es una alternativa de manejo de la enfermedad, pero se carece de ellos, una alternativa para generarlos es la irradiación. El objetivo de esta investigación fue evaluar la sensibilidad de los cultivares sobresalientes de gladiolo variedad blanca borrega

obtenidos de la irradiación de Co⁶⁰ a la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. El experimento se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agrícolas durante 2020-2021. Se evaluaron cultivares sobresalientes de gladiolo variedad Blanca Borrega a dosis de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 Gy, procedentes de una segunda y tercera generación, así como un testigo sin irradiar proveniente de cultivo *in vitro*. Los cormos se sembraron en macetas con suelo estéril e inoculados con 5.4×10^4 conidios de *Fusarium*, en un diseño completamente al azar en condiciones de vivero. Se registró la incidencia de la enfermedad, severidad, mortandad de planta y momificación de cormo en almacén. El análisis de varianza se realizó con PROC GLM en el programa SAS, la separación de medias se realizó con la prueba de LSD α 0.05%, y se cuantificó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad con el programa R. Los cultivares evaluados expresaron diferentes niveles de resistencia, los cultivares de 80, 90 y 100 Gy se categorizaron como altamente resistentes, con un nivel de severidad de clase 0, la mortandad en planta y momificación de cormo en almacén <15% y la menor área bajo la curva. Tanto el testigo como los cultivares a 40 y 60 Gy expresaron la mayor susceptibilidad.

Palabras clave: *Gladiolus grandiflorus*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*., marchitez, cultivares resistentes.

SUMMARY

The gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) is the most important ornamental produced in open fields in Mexico State. Its most serious problem is wilt caused by *Fusarium oxysporum* sp. *gladioli*, which can deplete production by up to 100%. The use of resistant cultivars is one alternative for disease management. When no such cultivars are available, irradiation can

be an effective method to produce them. The objective of this study was to evaluate the sensitivity to wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* of outstanding gladiolus cultivars of the Blanca Borrega variety obtained by irradiation with Co⁶⁰. The experiment was carried out at the Facultad de Ciencias Agrícolas in 2020–2021. We evaluated second- and third-generation plants of outstanding cultivars of Blanca Borrega variety gladiolus at doses of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 100 Gy, as well as a non-irradiated control derived from *in vitro* cultivation. The corms were planted in sterile soil and in soil inoculated with 5.4×10^4 *Fusarium* conidia, in a completely random design under greenhouse conditions. We recorded disease incidence and severity, plant mortality, and corm mummification during storage. An analysis of variance was carried out using PROC GLM in the program SAS, means were compared using the LSD test with $\alpha=0.05\%$, and the area under the curve of disease progression was quantified using the program R. The cultivars evaluated expressed different degrees of resistance; cultivars from 80, 90 and 100 Gy were categorized as highly resistant, with a severity level class of 0, plant mortality and corm mummification <15%, and the lowest area under the curve. The control and the 40 and 60 Gy cultivars expressed the highest susceptibility.

Key words: *Gladiolus grandiflorus*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*., wilt, resistant cultivars.

INTRODUCCIÓN

Una de las flores ornamentales de mayor importancia es el gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* L.), además considerada majestuosa por su diversidad de colores y disposición de flores en forma de espiga, es conocida como la reina de las ornamentales bulbosas (Shaji *et al.*, 2022)

y el geófito de mayor producción mundial. En México es un referente de cultura y tradición por lo que su demanda y producción se ha incrementado en los últimos años, se cultiva en siete estados de la república, el Estado de México con 1,403 ha (SIAP, 2021) ocupa el segundo lugar en la producción a nivel nacional como flor de corte, sin embargo esta producción se ve severamente mermada por problemas fitosanitarios como la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* considerada la de mayor importancia ya que el daño no se limita a la parte aérea sino que se extiende hasta el cormo (Michel *et al.*, 2014). En México se han reportado daños hasta del 100% (Olalde *et al.*, 2017), pérdidas económicas similares son reportadas en producciones comerciales internacionales (kakade *et al.*, 2016). Debido a los métodos y técnicas bajo los que se cultiva y obtiene el material propagativo vegetal para la producción de la gladiola, es necesario mejorar genéticamente su cultivo con la finalidad de generar materiales resistentes a patógenos.

Devi y Abdulraqueeb (2019) mencionan que los gladiolos se han desarrollado principalmente a través de la reproducción convencional, sin embargo, la generación y mejora de variedades de gladiolo en México es nula. Una de las posibles alternativas de mejoramiento es el uso de mutaciones inducidas por radiaciones gamma o mutaciones químicas para crear cambios genéticos con la finalidad de incrementar el rendimiento de flores, resistencia a enfermedades, precocidad, entre otras características (Tirkey y Singh, 2019). La resistencia biótica facilita el manejo de enfermedades resultando un método sostenible y económico (Mundt, 2014). Por otro lado, el tratamiento mutagénico por irradiación en gladiolo permite que las características se mantengan fácilmente por su tipo de reproducción (Anne y Lim, 2020).

Piña (2019) reporta la existencia de cultivares sobresalientes en sus características vegetativas y de flor, pero se desconoce su comportamiento ante la problemática fitosanitaria del cultivo y que represente una herramienta en el manejo integrado del cultivo, por lo que el objetivo del presente trabajo fue identificar la sensibilidad de los cultivares sobresalientes de gladiolo variedad blanca borrega obtenidos de la irradiación de Co^{60} a la marchites por *F. oxysporum* f. sp. *gladioli*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó durante los ciclos otoño-invierno 2020-2021, en condiciones ambientales de temporal y en un área de vivero, en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario el Cerrillo, Toluca Estado de México, localizada entre los 19°14' de latitud norte y 92°42' de longitud oeste; a una altitud de 2,611 msnm, con clima predominante del tipo templado húmedo con lluvias en verano y poca oscilación térmica.

Se utilizaron cormos de cultivares sobresalientes (cvs.) de gladiolo variedad Blanca Borrega de las dosis 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 Gy de Co^{60} , de la segunda y tercer generación descendiente de la estimulación inicial de irradiación seleccionados por Piña (2019) y como testigo cormos sin irradiar obtenidos *in vitro*. Los cormos se sembraron en macetas de plástico con capacidad de 1,400 mL de sustrato compuesto de 50% suelo agrícola, 30% materia orgánica, 20% agrolita, esterilizado con metham sodio Gruindag®. En cada maceta se depositó un cormo, se utilizaron 5 cormos de cada cultivar sobresalientes y 5 cormos del testigo por cada ciclo de evaluación, el diseño experimental utilizado fue completamente al azar. La siembra se realizó en agosto de 2020 y 2021.

A los 25 días después de sembrados se inoculó con una concentración de $5.4 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$ conidios obtenidos de cultivos monospóricos de *F. oxysporum* f. sp. *gladioli* por maceta (Elmer, 2002). La cuantificación del inoculo se hizo mediante la cámara de Neubauer. Se realizaron monitoreos cada siete días para registrar la manifestación de los síntomas característicos de la enfermedad reflejados y evaluar la incidencia, severidad y mortandad de plantas (amarillamiento, marchitez, muerte de planta, infección en corno y momificación). Durante el desarrollo del ensayo se registró la precipitación y la temperatura promedio durante todo el ciclo del cultivo, con los datos obtenidos de la estación meteorológica 766750 posicionada a una latitud de $19^{\circ}20'14.2''$ y una longitud de $-99^{\circ}34'0.06''$ a una altitud de 2720 msnm.

La evaluación de a enfermedad se realizó con las fórmulas propuestas por Hembrom *et al.*, (2019), la incidencia de la enfermedad a través de la fórmula; Incidencia de la enfermedad

(%) = $\frac{\text{número de plantas infectadas}}{\text{número total de plantas evaluadas}} \times 100$. La mortandad se estimó con la formula;

Mortandad (%) = $\frac{\text{número de plantas muertas por la enfermedad}}{\text{número total de plantas evaluadas}} \times 100$. La severidad en planta

con el uso de la escala arbitraria con las siguientes clases: clases 0= Sin síntomas de la enfermedad, 1= Amarillamiento de hojas, 2= Inicio de marchitamiento, 3= De casi muerte a Muerte de la planta y la categorización del nivel de resistencia de cada cultivar sobresaliente se realizó con base a los porcentajes de incidencia; altamente resistente AR (0-10%), resistente R (10-25%), moderadamente susceptible MS (25-50%), susceptible S (50-75%), y altamente susceptible AS (75-100%). La severidad en corno con la escala arbitraria descrita por Shanmugam *et al.*, (2011) compuesta por cuatro clases: clase 0=0 % infección, clase1 =

1-25% área infectada, clase 2= 26-50 % del área infectada podrida, clase 3= 51-75% del área podrida, clase 4= 56-100% del área podrida debido a la infección.

Los valores de porcentaje de incidencia expresada en las plantas se transformaron con logaritmo inverso para obtener la homogeneidad de las varianzas, se sometieron a un análisis de varianza para la comparación de epidemias entre los cultivares sobresalientes. El comportamiento de cada cultivar en cada variable analizada se determinó por medio del análisis de varianza usando PROC GLM (SAS System ver. 9.2 Cary, N. C. USA) y la separación de medias con la prueba de LSD α 0.05%.

Los valores del nivel de severidad e incidencia se usaron para calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) (Lozano, 1995; Madden *et al.*, 2007) de cada unidad experimental a través del programa R (Bivand *et al.*, 2008; R Core Team R, 2014) usando la librería agrícola. Adicionalmente, considerando el tiempo en que los cultivares brotaron y en que expresaron sus etapas fenológicas (emergencia, desarrollo vegetativo, formación de espiga (espata), y floración), se clasificó su comportamiento como de tipo precoz, intermedio o igual al testigo y tardíos además de la aparición de los tipos de síntomas de deformación, aborto y no emisión de espiga.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las temperaturas promedio mensuales registradas para los periodos de estudio fueron, para el año 2020 una temperatura promedio 14.9°C, la mínima promedio de 1°C en diciembre y la máxima promedio fue de 23.8 °C en octubre; en el año 2021 la temperatura promedio registrada fue de 14.5 °C, la máxima promedio fue de 23.3 °C registrada en octubre y la

mínima promedio de 0.6°C registrada en diciembre (Figura 3), la precipitación pluvial fue de 68.6 y 68.9 mm para cada ciclo respectivamente, consideradas adecuadas para desarrolló del cultivo (Gómez, 2016).

INCIDENCIA

La incidencia de la enfermedad en planta para los ciclos evaluados osciló entre los 0 y 78% (Cuadro 1). La máxima incidencia se presentó en el testigo y a 50 Gy en 2020 en la categoría de altamente susceptible; mientras que en 2021 se expresó a los 40 y 60 Gy categorizados como moderadamente susceptibles. Considerando los valores promedio de ambos años evaluados, los cvs. de 30, 70, 80, 90 y 100 Gy se comportaron como altamente resistentes de acuerdo con la escala de Hembrom *et al.* (2019) al expresar la menor incidencia en los dos ciclos, aunque el cvs. de 90 Gy presentó la mayor resistencia, mientras que la mayor incidencia promedio se presentó en el testigo con 49%, ubicándose en la categoría de altamente susceptible a moderadamente susceptible en el 2021; de acuerdo con Devi y Abduraqueeb (2019) la irradiación acelera los procesos metabólicos e incrementa la actividad enzimática de las plantas, actividad que puede enfocarse para distintos fines, las plantas evaluadas al encontrarse ante la presencia del patógeno pudieran enfocar esa actividad enzimática en la producción de metabolitos secundarios en forma de exudados fitotóxicos de defensa, en este sentido la revisión hecha por Mateos y Leal (2003) describieron la defensa de las plantas contra enfermedades a través de la producción de fitoalexinas concluyendo que en el campo de la ingeniería genética, los avances pueden llegar a incidir en la maquinaria biosintética de estos metabolitos, generando variedades resistentes a algunos patógenos. Por otra parte, López (1995) indicó que el manejo de los factores

ambientales (temperatura, luz, humedad, suelo) son determinantes en la expresión de la resistencia a las enfermedades; sin embargo, se añadiría un nuevo factor en este patosistema con la variedad blanca borrega, como son los cambios en la duración del ciclo fenológico obtenidos en el presente trabajo, por lo que el efecto fijo producto de la irradiación afectó la duración de la fenología del cultivo (Figura 3) al obtener ciclos precoces y tardíos que pueden generar una estrategia de cultivo que permita establecer las planta en el momento que el ambiente sea favorable para su desarrollo, pero no para el patógeno.

La incidencia de la enfermedad en cormo (secamiento o momificación) fluctuó de 0% hasta 78% para el año 2020, y 80% para el ciclo 2021. La mayor incidencia promedio se presentó en el testigo con 79% y la menor incidencia ocurrió a 80, 90 y 100 Gy (Cuadro 1). En este sentido, Chahín *et al.* (2007) mencionan que el hongo requiere de una herida provocada por el manejo o la emergencia de raíces en el cormo para que penetre a los tejidos y cause infección, a su vez el tejido tierno de los cormillos hace que presenten mayor susceptibilidad en comparación a los cormos de calibre más grande que presentan mayor tolerancia al ataque de los patógenos, la infección del cormo puede quedar restringida a la herida por donde ingreso, expresarse en toda la planta y continuar durante el periodo de cosecha y almacenamiento de los cormos que servirán de semilla para el próximo ciclo, que de acuerdo a Khan *et al.* (2017) las heridas tienen interacción con el hongo patógeno y aceleren el proceso de infección del cormo, esto explicaría el incremento en la incidencia de la enfermedad en los cormos del testigo y algunos de los cvs. descendientes de dosis bajas de irradiación.

Desde otra perspectiva, la resistencia del cultivo se debe principalmente al retraso activo o a la localización del hongo después de la penetración, ya que las estructuras del cormo, la raíz y el tallo de la planta conforman barreras estructurales contra la penetración de los patógenos, producción de compuestos fitotóxicos preformados en la constitución exterior del cormo que lo protegen de la penetración (García y Lozoya, 2004), por lo que una mayor incidencia en cormo puede estar asociada a la permanencia del patógeno en el sustrato y el cormo en la cosecha de la flor, y al largo periodo de almacenamiento de este último.

Cuadro 1: Incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* y categorización del nivel de resistencia en los cultivares sobresalientes de gladiolo.

cvs. (Gy)	2020		2021			
	Incidencia planta %	Categoría	Incidencia Cormo %	Incidencia Planta %	Categoría	Incidencia Cormo %
10	*29 ab	MS	43 ab	25	R	50 ab
20	57 bcd	S	71 ab	0	AR	0 a
30	0 a	AR	29 a	33	MS	33 ab
40	11 a	R	56 ab	50	MS	50 ab
50	71 cd	AS	71 ab	0	AR	0 a
60	11 a	R	22 a	40	MS	40 ab
70	0 a	AR	50 ab	25	R	25 ab
80	40 abcd	MS	60 ab	0	AR	0 a
90	25 ab	MS	25 a	0	AR	0 a

100	33	abc	MS	56	ab	0	AR	0	a
T	78	d	AS	78	b	20	R	80	b

AR= Altamente resistente, R= Resistente, MS= Moderadamente susceptible, S= Susceptible, AS= Altamente susceptible. *Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (LSD, α 0.05%).

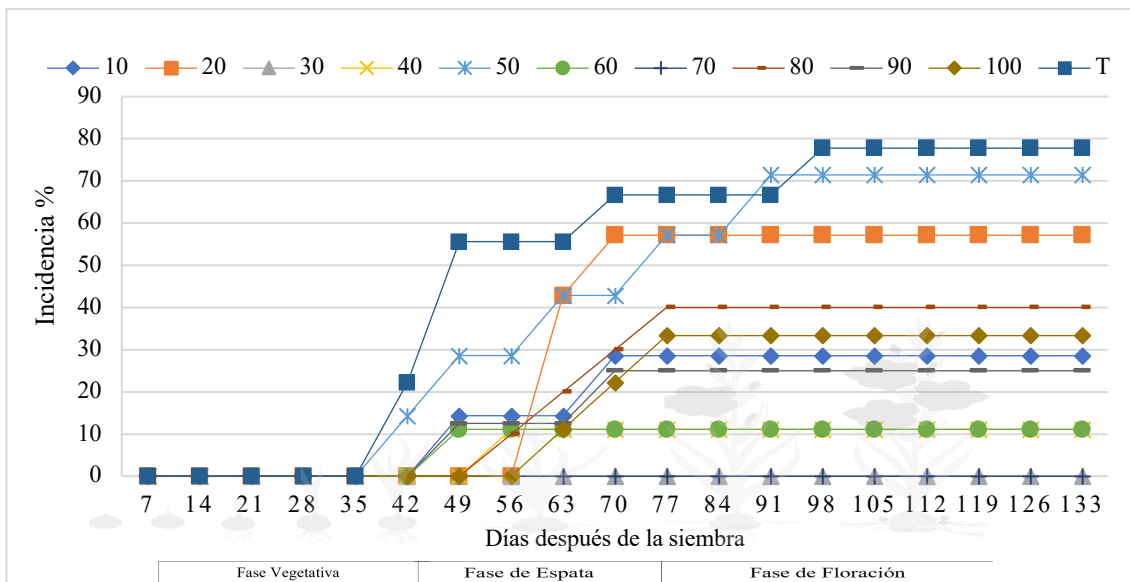


Figura 1. Progreso de la incidencia de la enfermedad *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* en los diferentes cvs. ciclo 2020.

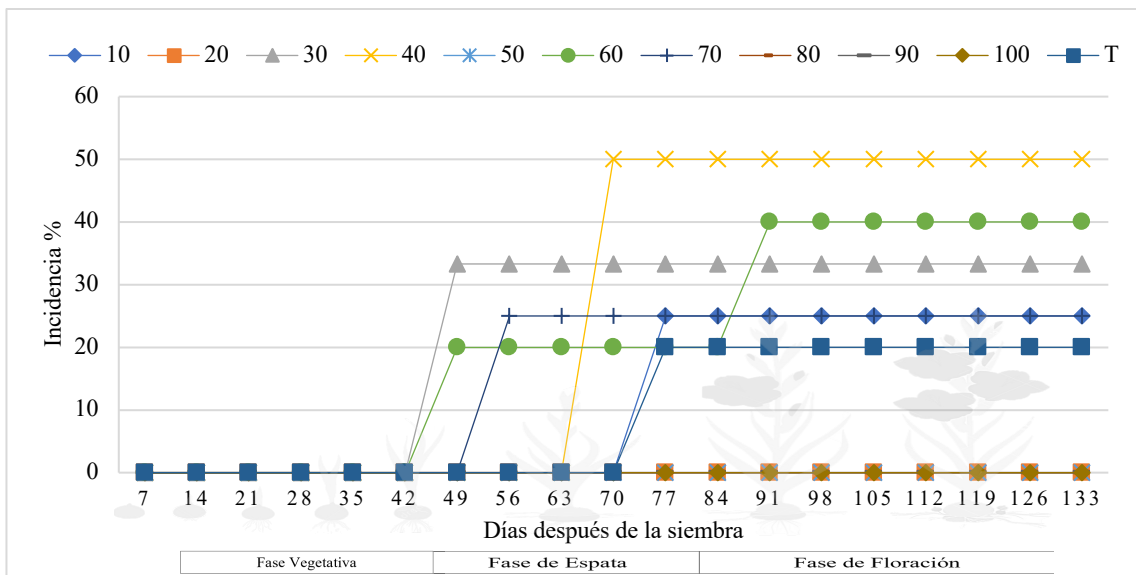


Figura 2. Progreso de la incidencia de la enfermedad *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* en los diferentes cvs. ciclo 2021.

SEVERIDAD Y MORTANDAD

La severidad observada por la sintomatología de la enfermedad se ubicó entre la clase 0 y 3 (Cuadro2), En la clase 0, no mostraron síntomas de la enfermedad los cvs. de 30 y 70 Gy el primer año, y 20, 50, 80, 90 y 100 Gy en el segundo, la menor severidad (clase 1) se observó en los cvs. de 10, 20, 50, 60, 80, 90, 100 Gy en la primera evaluación y 30, 70 Gy para la segunda mostrando síntomas leves de amarillamiento. En la clase 2, las plantas que tuvieron inicio de marchitez se encontraron los cvs. de 10 y 40 Gy en un ciclo, y el testigo en ambas evaluaciones, el mayor nivel de severidad (clase 3), se expresó en los cvs. de 40 y 60 Gy. En este sentido Khan *et al.* (2017) indica que, de acuerdo con la gravedad de la sintomatología, los daños en la planta están estrechamente relacionados con la propagación

del patógeno dentro del huésped, por lo que una elevada colonización representaría un mayor nivel de severidad.

La mayor mortandad de planta se presentó durante la primera evaluación en el testigo con 78%, seguido de 50 Gy con 71% (Cuadro 2). Porcentajes similares se obtuvieron al evaluar la mortandad en cormo, tanto el testigo como a 70 y 40 Gy que presentaron los índices más altos de mortandad, así pues, la presencia de la enfermedad en etapas tardías concuerda con lo puntualizado por Gonzales *et al.*, (2009) donde indicaron que cormos sanos pueden tener hongos patógenos latentes, que propician la enfermedad hasta el almacén.

Es de destacar que, al promediar la mortandad desde la planta en campo, cosecha y almacenamiento del cormo, el testigo y el cvs. de 40 Gy fueron los que mayor mortandad expresaron (38 a 39%). Por otro lado, las dosis a 80, 90 y 100 Gy presentaron la menor mortandad (>15%) de planta en campo y cormo momificado en el almacenamiento, ante esto y, coincidiendo con lo indicado por Azimi (2020), sobre los parámetros que tanto el consumidor como el productor buscan, los cvs. sobresalientes obtenidos de la irradiación inicial en determinadas dosis, cumplen con las características de resistencia al patógeno e indirectamente en un alto rendimiento en flor de corte y calidad de cormos.

ÁREA BAJO LA CURVA

El área bajo la curva del progreso de la incidencia de la enfermedad (AUDPC) inició entre los 35 y 42 DDS, al final de la fase vegetativa y hasta el término de la floración a los 133 DDS. El máximo valor de AUDPC (6,185.9) se encontró en el testigo y 50 Gy (5,134.5) en el ciclo 2020 (Figura 1 y 2) y 40 Gy (3,325.0) en el ciclo 2021. Los cvs. a 10, 20, 60, 80, 90

y 100 Gy del primer ensayo junto con los cvs a 10, 30, 60, 70 Gy y el testigo del segundo ciclo presentaron un AUDPC entre (885 y 4097.45). Mientras que a 30, 70 y 20, 50, 80, 90 y 100 Gy no se registró ningún valor de AUDPC en los dos ciclos evaluados, debido a que el progreso de la incidencia a través del tiempo fue diferente en cada cvs.

Cuadro 2: Severidad y Mortandad (%) en planta y cormo causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli* en los cultivares sobresalientes de gladiolo.

Cvs. (Gy)	Planta (M)		Cormo (M)		Planta (S)		AUDPC		Cormo (S)	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
10	29	25	14	25	1	2	384.9	259	2	1
20	57	0	14	0	1	0	715.42	0	3	0
30	0	33	29	33	0	1	0	509	1	2
40	11	50	44	50	2	3	450.7	1348.3	2	2
50	71	0	0	0	1	0	968.2	0	3	0
60	11	40	11	40	1	3	169.7	626.2	1	3
70	0	25	50	25	0	1	0	351	2	1
80	40	0	20	0	1	0	543.2	0	2	0
90	25	0	0	0	1	0	335.9	0	1	0
100	33	0	22	0	1	0	387	0	2	0
Testigo	78	20	0	60	2	2	2382	208	3	3

a=2020, b= 2021. Severidad en planta clases: 0. Sin síntomas de la enfermedad, 1. Amarillamiento de hojas, 2. Inicio de marchitamiento 3. De casi muerte a Muerte. Severidad en cormo clases: 0=0 % infección, 1 = 1-25% área infectada, 2= 26-50 % del área infectada podrida, 3= 51-75% del área podrida, 4= 76-100% del área podrida debido a la infección.

EVALUACIÓN DE LA FENOLOGÍA

Se observaron variaciones en la ocurrencia de las etapas fenológicas entre los cvs. de gladiolo de 10 a 100 Gy y el testigo (Figura 3), con lo que se diferenciaron tres grupos de desarrollo de acuerdo con el tiempo en que brotaron y momento en que comenzó la senescencia. La emergencia sucedió entre los 14 y 21 días para los cvs. de 10 a 100 Gy, y a los 37 días para el testigo. El primer grupo, considerado como precoz, se caracterizó por el comienzo de la fase de espata a los 54 DDS, destacando las dosis a 100 Gy que registró la máxima altura de planta 51.8 cm. A partir de la emisión completa de espata los cvs. de 80, 90 y 100 Gy presentaron un desarrollo similar, sin embargo, a 90 Gy fue el primero en iniciar la senescencia, además no manifestaron síntomas de la enfermedad en ninguna etapa, en este mismo grupo de desarrollo se encontraron los cvs. de 30 y 50 Gy, pero con menor altura hasta la floración y con presencia de síntomas de amarillamiento en el cultivar de 30 Gy.

La clasificación de un segundo grupo de desarrollo, considerado como intermedio, se conformó por los cvs. de 10, 20, 60 y 40 Gy, este último cultivar presentó la altura máxima de planta de 39.1 cm a los 77 DDS, casi al término de la emisión de espata; en este mismo grupo se incluyó al testigo, con una altura máxima de planta alcanzada en floración de 35.1 cm a los 105 DDS. El cvs. a 10 Gy fue el primero en iniciar su senescencia a los 112 DDS, en este grupo de cvs. se observó el fenómeno de no emisión de espiga y en el testigo las plantas, que sí tuvieron emisión de espiga, está fue de menor tamaño y no ocurrió la apertura de flores y expresaron amarillamiento, en el caso de 40 y 60 Gy hubo muerte de plantas, la sintomatología fue consistente a la marchitez causada por *Fusarium* (Khan *et al.*, 2017) y corroborada con la morfología de cada aislamiento en laboratorio.

En un último grupo de desarrollo, considerado como tardío, se encontró el testigo y 70 Gy en su etapa vegetativa, pero se evidenció que a los 70 DDS bifurcaron su comportamiento de crecimiento, de tal forma que el cvs. a 70 Gy alcanzó una altura máxima de planta de 25.1 cm en la floración, con un ciclo que se extendió a 133 días, presentando síntomas de amarillamiento, marchitez, emisión de espiga del 20% y no emisión de espiga del 80%. El hecho de tener un tamaño pequeño y en algunas plantas sin apertura floral, también son características semejantes a las causadas por *Fusarium* tal como lo afirman Ram *et al.* (2004).

La ocurrencia de las fases de desarrollo, tamaño de las plantas y estructuras florales se vieron influenciadas significativamente de acuerdo con el grado de irradiación inicial, efectos que se mantienen en la segunda y tercera generación evaluada en este estudio. Las dosis más altas presentaron la mayor altura contrario a lo reportado por Sisodia y Singh (2015), que describió el efecto que causaron dosis altas de irradiación, en donde expresaron una disminución de la altura de la espiga, tamaño de flor y de planta; con relación a la floración Cantor *et al.* (2002) indicaron algo semejante en sus resultados obtenidos, los cultivares procedentes de dosis altas expresaron precocidad en la floración debido a un incremento en la longitud de las raíces, que aceleró la brotación, mayor absorción de nutrientes, mayor actividad fotosintética, resultando en una emergencia temprana de la espiga. Por su parte Sathyanarayana *et al.* (2019) reportan que en dosis menores de 55 Gy obtuvieron una brotación temprana de 10-13 días, un inicio de espiga de 67 días, y una altura máxima de planta de 82 cm, datos que, con excepción a la altura, coinciden con lo encontrado en esta investigación.

Respecto a la duración del ciclo del gladiolo, González *et al.* (2011) hacen mención de un ciclo fenológico de 129 días caracterizado por una emergencia de planta a los 14 DDS, emisión de espiga de 71 DDS, floración a los 82 DDS en la variedad espuma (color blanco) sembrada en el Estado de Puebla en condiciones ambientales similares a las presentadas en este ensayo, en el sur y norte del Estado de México, en dos municipios donde se cultiva extensamente se han reportado ciclos fenológicos de 79 DDS para Tenancingo y 110 DDS para Ixtlahuaca (Sánchez *et al.*, 2019), por lo que la clasificación de ciclos precoz de 119 días, intermedio en el testigo con 126 días y tardío para 70 Gy con 133 días resulta pertinente, aunque es necesario evaluarlo en otros ambientes. De acuerdo Sistema de clasificación de gladiolo (N.A.G.C) de Estados Unidos, los cvs. a 10, 20, 30, 60, 70 incluido el testigo tendrían una clasificación como tardíos, mientras que los cvs. a 40 y 50 Gy se clasificarían como intermedio tardío y los cvs. 80, 90 y 100 Gy como temprano medio (NAGC, 2022). Sobre los antecedentes y las bases de este estudio se reafirma que el conocimiento del ciclo fenológico permitirá la programación de prácticas agrícolas pertinentes que optimicen la producción, incrementen la calidad y disminuyan las pérdidas por estrés biótico y abiótico, particularmente las que expresan cierto nivel de resistencia a *F. oxysporum* f. sp. *gladioli*.

La disminución del crecimiento de las plantas posterior a los tratamientos mutagénicos en gladiolo se expresa como aberraciones cromosómicas (Kumari *et al.*, (2015), Singh *et al.*, (2013) y Tiwari *et al.*, (2010)) citados por Sathyanarayana *et al.* (2019), aunque no evaluaron dichos cambios y su efecto a enfermedades. Sin embargo, los resultados obtenidos en el desarrollo de las plantas en el presente estudio son de interés, ya que las alteraciones observadas durante la fenología en las plantas de los cvs. a 10 y 70 Gy, mostraron un deterioro

de la flor, en tamaño de planta y espiga floral, existiendo atrofia de la espiga y nula emisión y apertura de esta, además de la pérdida del corno por efecto de la infección tardía del patógeno, tal sintomatología consistente con la reportada por Shanmugam *et al.* (2011) quienes indican que estos cambios pueden ser ocasionados por *F. oxysporum* f. sp. *gladioli*.

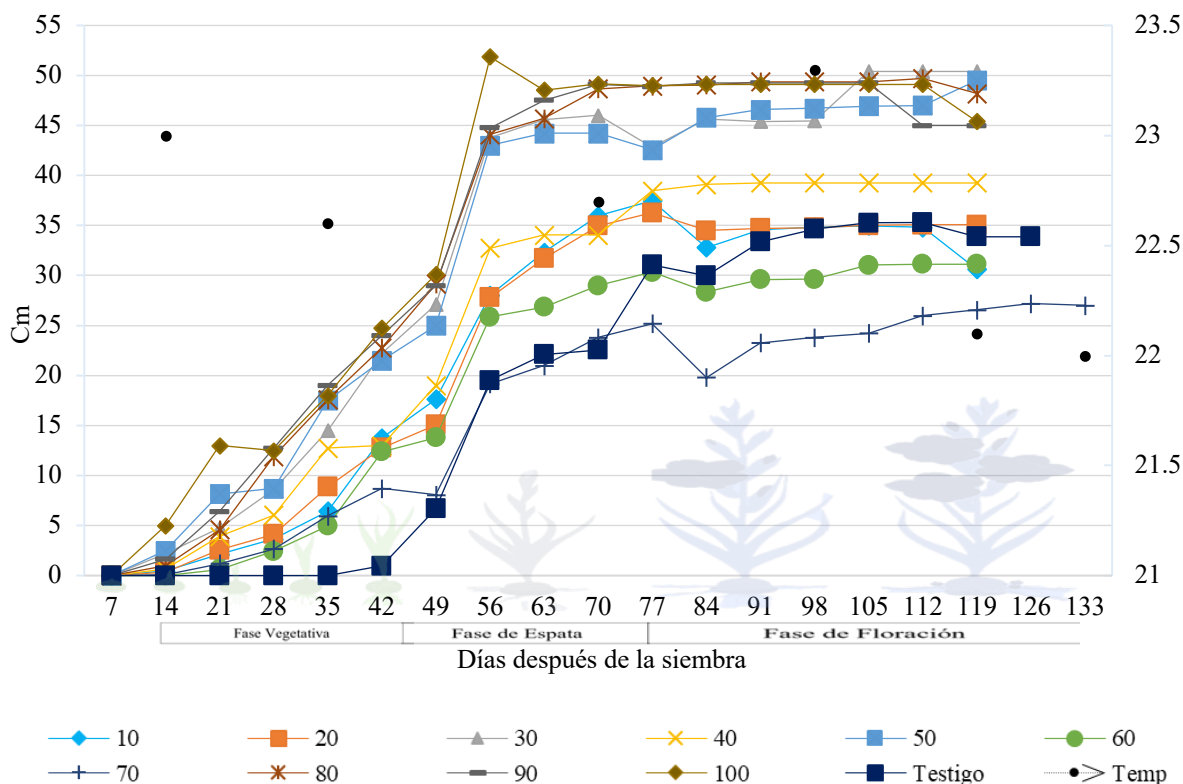


Figura 3. Desarrollo fenológico de los cvs. de gladiolo en condiciones de vivero y efecto ante la inoculación con *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*.

CONCLUSIONES

Los cvs. a 80, 90 y 100 Gy expresaron una baja incidencia y severidad, clasificándose en la categoría de Altamente Resistente, estos cultivares presentaron los porcentajes de mortandad de planta y corno momificado más bajos y la menor área bajo la curva del progreso de la

enfermedad, además de un ciclo fenológico precoz; el cultivar de 100 Gy presentó la mayor altura de planta.

Los cvs. a 40 y 60 Gy presentaron la mayor susceptibilidad a la marchitez con porcentajes de incidencia, severidad y mortandad elevados, similares a los reportados en las producciones comerciales en campo y al testigo evaluado.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce el financiamiento al proyecto de investigación bajo el cual se desarrolló esta investigación, a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México por las facilidades, materiales sobresalientes generados en el proyecto 4496/2018/CI para uso, accesibilidad de sus instalaciones y por todo el apoyo recursos humanos y materiales de sus investigadores, que dirigieron el proyecto y a CONACYT por la beca otorgada.

BIBLIOGRAFÍA

Azimi M. H (2020) Evaluation yield and genetically factors in different cultivars of gladiolus. *Ornamental Horticulture* 26:8-17, <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v26i1.2027>

Anne S. and H. J. Lim (2020) Mutation breeding using gamma irradiation in the development of ornamental plants: A review. *Flower Research Journal* 28:102-115, <https://doi.org/10.11623/frj.2020.28.3.01>

Bivand R. S., J. E. Pebesma, V. Gómez-Rubio, and J. E. Pebesma (2008) Applied spatial data analysis with R. Second Edition. Springer. New York, NY, USA.405p.

Cantor M., I. Pop and S. Kosfoy (2002) Studies concerning the effect of gamma radiation and magnetic field exposure on gladiolus. *Journal of Central European Agriculture* 3:276–284

Chahín A. M. G., A.V. Montesinos, F. J. Marquez, S.N. Ferrada y M.L. Ibañez (2007) Producción de flores cortadas IX Región: para pequeños (as) productores (as) de la agricultura familiar campesina. Fundación para la Innovación Agraria - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. 104p.

Devi N. S., U. Fatmi and Abdulraqueeb (2019) Effect of gamma radiation on vegetative and floral characters of gladiolus cultivars (Praha, Tiger Flame and Snow Princess). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8:4309-4312

Elmer W. H (2002) Influence of inoculum density of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cyclaminis* and sodium chloride on cyclamen and the development of *Fusarium* wilt. *Plant disease*, 86:389-393

García P.E y E.G. Lozoya (2004) Genes de resistencia a enfermedades en plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22:414-422

Gómez-G A. A (2016) Producción y comercio internacional de la Gladiola mexicana. Producción, Comercialización y Medio Ambiente. Handbook T-I. ©ECORFAN, Texcoco de Mora-México. 164 p.

González P. E., M. de J. M. Yáñez, H. M. E. Ortega and J.M. Velázquez (2009) Comparative Analysis among Pathogenic Fungal Species that Cause Gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) Corm Rot in Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 27:45-52

González P. E., J. O. G. Ayala, J. A. S. Carrillo, G. de los S. García, M. de J. M. Yáñez y J. M. Juárez (2011) Estudio del desarrollo, calidad de flor y dosis de fertilización en gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* Hort.). *Revista fitotecnia mexicana* 34:277-283

Hembrom. R., T. M. Rao, S. Sriram, R. Kumar, R. Venogopalan and M.V. Dhananjaya (2019) Evaluation of Gladiolus genotypes for resistance to different isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 8:2811-2821, <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.806.339>

Kakade D.S., B.S. Jadhav and M.S. Katwate (2016) Management of Fusarium wilt in Gladiolus. *International Journal of Pure and Applied Sciences* 4:127-132

Khan M.R., S. Shahid, A. F. Mohidin and U. Mustafa (2017) Interaction of *Fusarium oxysporum* and *Meloidogyne incognita* on gladiolus cultivars and its management through corm treatment with biopesticides and pesticides. *Biological Control* 115:95-104, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.09.010>

Kumari K and S. Kumar (2015) Effect of Gamma Irradiation on Vegetative and Propagule Characters in Gladiolus and Induction of Homeotic Mutants. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 8:413-422, <https://doi.org/10.5958/2230-732X.2015.00049.2>

López T.M (1995) Resistencia de las plantas. Primera edición. Editorial Trillas, México. 103 p.

Madden L. V., G. Hughes and F. Van Den Bosch (2007) The Study of Plant Disease Epidemics. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, U.S.A. 432 p.

Mateos R. G y P. R. Leal (2003) Fitoalexinas: mecanismo de defensa de las plantas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9:5-10

Michel A. A. C., R. A. Flores, O. M.O. Sánchez, A.B. Ayala y M. A.Q. Millán (2014) Efectividad *in vitro in situ* de fungicidas químicos y biológicos en el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* y *Uromyces transversalis* en gladiola. *AP AgroProductividad* 7:3-11

Mundt C. C (2014) Durable resistance: a key to sustainable management of pathogens and pests. *Infection, Genetics and Evolution* 27:446–455, [https://doi:10.1016/j.meegid.2014.01.011](https://doi.org/10.1016/j.meegid.2014.01.011)

North American Gladiolus Council, NAGC (2022) How To Growth Glorious Gladiolus, Chapter nine, BOOKLET.pdf <http://www.gladworld.org/>

Olalde L.G. G., M. V. Sandoval, T. D. C. Á. Val, A.Y. R. Montaña, P. D. Valerio y N. B. L. Chávez (2017) Caracterización Molecular del Agente Causal de la Secadera del Gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* Hort). *AgroProductividad* 10:85-91

Piña de J. E (2019) Efecto de irradiación con rayos Gamma de Co60 en gladiolo (*Gladiolus Communis* L.) variedad roja y blanca borrega. Repositorio Universidad Autónoma del Estado de México. Tesis de licenciatura

Ram R., S Manuja, D. Dhyani and D. Mukherjee (2004) Evaluations of fortified fungicide solutions in managing corm rot disease of gladiolus caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protection* 23: 783-788 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.12.006>

R Core Team (2014) R:A language and environment for statistical computing, Viena: R Foundation for Statistical Computing [<http://www.R-project.org/>].

Riaz T., S.N. Khan and A. Javaid (2009) Effect of co-cultivation and crop rotation on corm rot disease of Gladiolus. *Scientia Horticulturae* 121:218–222, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.041>

Riaz T., S.N Khan and A. Javaid (2010) Management of Fusarium corm rot of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* sect. Blandus cv. Aarti) by using leaves of allelopathic plants. *African Journal of Biotechnology* 30:4681-4686

Sathyanarayana E., G. Sharma, T. Tirkey, BK. Das, K. Divya and J. Kumar (2019) Studies of gamma irradiation on vegetative and floral characters of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8:227–230

Sánchez P. J. R, R.V. Quiñones, Á. V. Castañeda , O. M. Franco and A. K. E. Pedraza (2019) Dinámica Espacio Temporal de Thrips simplex y Frankliniella occidentalis en *Gladiolus communis* L., *Southwestern Entomologist* 44:667-678, <https://doi.org/10.3958/059.044.0312>

Shaji M. A., E. S. Topno and M. V. Prasada (2022) A Comparative Study on Growth, Flowering and Corm Production by Growth Regulators & Cut Corms of Gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) *International Journal of Plant & Soil Science* 34:545-551, <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2022/v34i2131298>

Shanmugam V., N. Kanoujia, M. Singh, S. Singh and R. Prasad (2011) Biocontrol of vascular wilt and corm rot of gladiolus caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* using

plant growth promoting rhizobacterial mixture. *Crop Protection* 30:807–813,
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.02.033>

Singh A. K and A. Kumar (2013) Studies of gamma irradiation on morphological characters in gladiolus. *The Asian Journal of Horticulture* 8:299-303.

Sisodia A., A. K. Singh (2015) Studies on gamma ray induced mutants in gladiolus. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 85:79-86

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México.
<http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Tirkey P and D. Singh (2019) Effect of induced mutagenesis on different characters of gladiolus (*Gladiolus grandifloras* L.) *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8:650-654

Tiwari A.K., M. R. Srivastava, V. Kumar, B. L. Yadav and K. S. Misra (2010) Gamma-rays induced morphological changes in gladiolus Progress. *Society for Recent Development in Agriculture* 10:75-82

VIII. Discusiones generales

Uno de los objetivos del mejoramiento genético es mejorar la productividad de los cultivos con respecto al manejo de plagas y enfermedades, las pérdidas causadas por patógenos merman los rendimientos en cada ciclo de producción, a través del mejoramiento por radiación se han mejorado características de rendimiento, calidad, sabor y resistencia a enfermedades y plagas en cereales, legumbres, algodón, menta, girasoles, cacahuete, toronja, sésamo, plátano y yuca (Kozjak y Meglic, 2012).

En el área de mejoramiento de ornamentales a través de técnicas de irradiación Anne y Lim (2020) reportan la obtención y liberación cuatro variedades mutantes de gladiola, que fueron mejoradas en caracteres de interés ornamental referente al color y tres variedades de clavel (*Dianthus caryophylluz*) con características de resistencia a *Fusarium*.

Respecto a los resultados de esta investigación se han determinado cultivares sobresalientes con características de resistencia a la marchitez en planta que se han mantenido en los dos ciclos evaluados (80, 90 y 100 Gy). Devi *et al.* (2019) evaluando el desarrollo de plantas de gladiolo irradiadas con fines de mejorar caracteres florares indicaron que a través de la irradiación se genera un incremento en la actividad enzimática de las plantas, proceso que de acuerdo con Mateo y Leal (2003) la planta al ser sometida a una condición de estrés a causa del patógeno, podría estar aumentando la producción de metabolitos secundarios o exudados de defensa, ellos catalogan a la formación de estos exudados como avances en la ingeniería genética como una forma de resistencia ante algunos patógenos.

De acuerdo con Riaz *et al.* (2009) existe una relación a mayor incidencia de la enfermedad es posible que la gravedad con que se presente en la planta hospedante sea de mayor intensidad, situación que tendría lugar en el cultivar sobresaliente de 40 Gy, en el caso de la severidad presentada en los cormos la clase más alta presentada indicaba un porcentaje de daño superior al 50% del corno, por lo que aunque porcentaje de cormos con la enfermedad fue bajo, estos serán considerados pérdida total por el nivel de daño.

En severidad de la enfermedad en planta se presentaron las cuatro clases de la escala, los cultivares de las dosis de 60 y 40 Gy se ubicaron en la clase tres, con muerte total de plantas. La ubicación de los cultivares sobresalientes en las diferentes clases de la escala de severidad concuerda con los resultados de Rodríguez *et al.* (2015) que afirmaron que la susceptibilidad de los cormos de gladiolo a *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* es diferente según la variedad que se evalué.

La respuesta del material utilizado como testigo tuvo un comportamiento en porcentaje de incidencia de la enfermedad casi igual al que se reporta del 80% en las plantaciones de grado comercial a nivel internacional (Kakade *et al.*, 2016), el cultivar sobresaliente que más cerca estuvo de este porcentaje de incidencia fue a dosis de 50 Gy en el ciclo 2020, en cultivares de 20 y 40 Gy la incidencia fue igual o superior al 50%, en el resto se considera que la influencia de la irradiación redujo la incidencia del patógeno.

En la evaluación del progreso de la enfermedad se presentaron valores bajos y altos, de acuerdo con Hembrom *et al.* (2019) los valores bajos en las plantas corresponden a síntomas tardíos de la enfermedad y menor severidad, estos autores afirman que la evaluación de la ABCPE de la severidad es crucial para determinar la resistencia de las enfermedades en las

plantas pues esta representa la interacción huésped-patógeno-ambiente en un lapso de tiempo correspondiente al progreso de la enfermedad, mientras que la información de la incidencia representa los datos asignados en un solo momento de la línea de tiempo.

El incremento de la incidencia de la enfermedad en cormo en algunos de los cultivares sobresalientes, coincide con la epidemiología reportada por Elmer y Kamo (2018) quienes indican que el daño en cormos resulta de una respuesta por la colonización de las raíces de plantas asintomáticas, que resulta en infecciones posteriores provocadas de la emergencia de las hifas, por lo que el hongo invade las raíces intracelularmente provocando la pudrición de la raíz avanzando hasta el cormo, convirtiéndose en una infección sistémica de los tejidos vasculares, esta hallazgo también explicaría el incremento en el daño del cormo a su salida del periodo de almacenamiento, entendiéndose que la infección permanece latente en el material vegetal y relacionándose con los porcentajes presentados de mortandad de planta y cormo.

Por otra parte, la inducción de cambios en la composición de la estructura del cormo, raíz y tallo según indica García y Lozoya (2004) confieren la formación de barreras estructurales que evitan la penetración del patógeno, todo esto coincide con el concepto de Kozjak y Meglic (2012) sobre que la constitución de la resistencia de la defensa de las plantas está dada barreras físicas y químicas preexistentes que impiden la penetración del patógeno en la célula.

Por otra parte, el aumento de la incidencia de la enfermedad en cormo de acuerdo con Khan *et al.* (2017) se debe a la interacción del patógeno con el cormo a través de heridas generadas en la cosecha de la flor o del cormo, que acelerarían el proceso de infección además Chaín

et al. (2007) menciona que la susceptibilidad del cormo también está dada en función de la juventud o ternura de los cormos, indicando que en ocasiones en los cormos de mayor calibre la infección queda restringida a la herida por donde ingreso, pero no continua desarrollándose.

Los resultados obtenidos de la evaluación del desarrollo de las plantas y la duración del ciclo fenológico difieren en lo reportando por Sisodia y Singh (2015) respecto a la altura que alcanzan las plantas de gladiolo irradiadas estimuladas con dosis altas de rayos gamma, ya que en esta investigación la máxima altura procedió del cultivar sobresaliente a 100 Gy, en relación a la aparición de las etapas fenológicas y desarrollo del cultivo los resultados de las plantas de gladiolo evaluadas por Sathyanaraya *at al.* (2019) presentaron similitud en el tiempo de emergencia de plantas e inicio de la aparición de la espiga.

Los efectos negativos de la enfermedad se manifestaron durante la evaluación del desarrollo fenológico, que concuerda con los síntomas que describe Ram *et al.* (2004) en las plantas de los cultivares sobresalientes de 10, 40, 60 y 70 Gy en donde el daño se manifestó como atrofia de las plantas reduciendo el tamaño de planta, limitando la formación de espigas y apertura de flores.

Uno de los fines de importancia en el mejoramiento genético es la obtención de con ciclos de producción más cortos.

La información contenida en la fenología de un cultivo y la influencia del medio ambiente es trascendental porque a través de la identificación de la fuente de los rasgos de tolerancia o resistencia que se expresan en la etapa correcta, las plantas se podrían mejorar con una

estrategia efectiva para que la interacción de la planta con el patógeno en este caso y el medio ambiente sean aprovechadas para potenciar los cultivos.

Los resultados sobre la sanidad y calidad de los cormos producto de los cultivares sobresalientes de las dosis de irradiación evaluadas es de vital importancia, de acuerdo con lo indicado por Azimi (2020) al enfatizar que la sanidad y calidad de la flor que se demanda y consume, preceden de la calidad y sanidad de cormo. Choudhary *et al.* (2011), Patra y Mohanty (2014) demostraron que la longitud de la espiga, el número de florecillas por espiga, el tamaño de la flor, el peso y el diámetro del cormo son características de calidad importantes y pueden considerarse índices de selección en el programa de reproducción y mejoramiento del cultivo de gladiolo.

La suma de los resultados de los parámetros de producción de cormos y cormillos y lo concerniente a la importancia de esta investigación sobre la inducción de caracteres de resistencia a la enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli* indican que los cultivares sobresalientes a dosis de irradiación de 80, 90 y 100 Gy no solo se perfilaron con características superiores de resistencia a la enfermedad, también presentan características superiores respecto a la reproducción de cormos, en comparación al comportamiento del testigo.

Se pueden concluir que la inducción de mutaciones por radiaciones ionizantes de rayos gamma de Co⁶⁰ induce variaciones genéticas favorables que persisten en el cultivo de gladiolo por fijación y herencia debido a su tipo de reproducción asexual.

IX. Conclusiones generales

Los caracteres de resistencia a *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli* en los cultivares sobresalientes procedentes de las dosis a 80, 90 y 100 Gy, expresando baja incidencia y severidad, categorizándose como altamente resistentes, con índices bajos de mortandad de planta y momificación de cormo, menores valores de ABCPE, ciclos fenológicos cortos y buenas características florales y reproductivas.

Las dosis medias de irradiación a 40 y 50 Gy presentaron un comportamiento similar al indicado por el testigo en las producciones comerciales.

X. Referencias bibliográficas

- Adebayo, I. A., Pam, V. K., Arsad, H., & Samian, M. R. (2020). The Global Floriculture Industry: Status and Future Prospects. *The Global Floriculture Industry*; Apple Academic Press: Waretown NJ, USA. p 1–14.
- Adil M., Ahmad, W., Ahmad, K. S., Sharif, J., Shehzad M.A., Sawar, M.A., Salman, M., Ghani, M.I. & Iqbal, M. (2013). Effect of different Planting dates on growth and development of gladiolus grandiflorus under the ecological conditions of Faisalabad, Pakistan. *Universal Journal of Agricultural Research*, 1: 110-117 <http://dx.doi.org/10.13189/ujar.2013.010311>
- Agrios, G. N. (2004). Fitopatología. 2da Edición. Limusa. México, DF 635 p.
- Akpinar, E. & Bulut, Y. (2011). A study on the growth and development of some Gladiolus (Gladiolus L.) varieties planted in different time under the ecological conditions of Erzurum. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 3143-3148 <https://doi.org/10.5897/AJAR11.066>
- Anne, S. & Lim, J. H. (2020) Mutation breeding using gamma irradiation in the development of ornamental plants: A review. *Flower Research Journal*, 28: 102-115 <https://doi.org/10.11623/frj.2020.28.3.01>
- Anónimo (2010). Cultivo de Gladiolo. Proyecto Estratégico para la Seguridad Alimentaria Unidad Técnica Nacional. Región Altos de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 36 p.

- Azimi, M. H. (2020). Evaluation yield and genetically factors in different cultivars of gladiolus. *Ornamental Horticulture*, 26: 8–17.
- Beyaz, R., Kahramanogullari, C. T., Yildiz, C., Darcin, E. S., & Yildiz, M. (2016). The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. under in vitro conditions. *Journal of Enviromental Radioactivity*, 162: 129-133. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.05.006>
- Caixeta, F. J., Swaay, N. J., & López, R. (2000). Programación lineal aplicada al sector de las flores: un estudio de caso de producción de bulbos de gladiolos. *Transacciones internacionales en investigación operativa*, 7: 525-537p.
- Cantor, M. & J. Tolety. (2011). *Gladiolus*. In *Wild crop relatives: Genomic and breeding resources*. Springer, Berlin, Heidelberg. 133-159 p.
- Chahín A. M. G., Montesinos, V. A, Marquez, J. F., Ferrada, N. S., y Ibañez, L. M. (2007) Producción de flores cortadas IX Región: para pequeños (as) productores (as) de la agricultura familiar campesina. Fundación para la Innovación Agraria - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. 104p.
- Chandel, S. & R. Deepika. (2010). Recent advances in management and control of *Fusarium* yellows in *Gladiolus* species. *In Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 18: 361-380.
- Chávez, G. J. A. (2019). Nanopartículas de ag para el cultivo aséptico y producción de cormos de gladiolo en tres sistemas de cultivo in vitro.

- Choudhary, M., Moond, S.K., Kumari, A. (2011). Correlation studies in *Gladiolus*. *Research in Plant Biology*, 1: 68-72.
- Correl, J. (1991). The relationship between formae speciales, races, and vegetative compatibility groups in *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology*, 81: 1061–1064.
- Cotes, A., Jiménez, P., Rodríguez, M., Díaz, A., Zapata, J., Gómez, M., Grijalba, E., Villamizar, L., González, C., Dimith, A., Mejía, C., Mesa, P., and Cruz, L. (2012). Estrategias de control biológico de *Fusarium oxysporum* en el cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L). Corporación colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica), Bogotá, Colombia. 82 p.
- De Granada, E. G., De Amezquita, M. C. O., Mendoza, G. R. B. & Zapata, H. A. V. (2001). *Fusarium oxysporum* el hongo que nos falta conocer. *Acta Biológica Colombiana*, 6: 7-2. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/63462>
- De Hoogs, G. S., Guarro, J., Gene, J., & Figueras, M. J. (2000). Atlas of clinical fungi. central burea voor Schimmelculures. Universitat Rovira i Virgili, Utrecht, Reus, The Netherlands.
- Dean, R., Van Kan, J., Pretorius, Z., Hammond, K., Di Pietro, A., Spanu, P., Rudd, J., Dickman, M., Kahmann, R., & Ellis, J. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13: 414–430.

- Devi N. S., Fatmi, U. and Abdulraqueeb (2019) Effect of gamma radiation on vegetative and floral characters of gladiolus cultivars (Praha, Tiger Flame and Snow Princess). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8:4309-4312
- Di Primo, P., Cappelli, C., & Katan, T. (2002). Vegetative compatibility grouping of *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* from saffron. *European Journal of Plant Pathology*, 108: 869–875.
- Edel, V., Steinberg, C., Gautheron, N., & Alabouvette, C. (2000). Dirigido a ADN ribosómico sonda de oligonucleótidos y ensayo de PCR específico para *Fusarium oxysporum*. *Mycolog. Research*, 104: 518–526
- Elmer W. H (2002) Influence of inoculum density of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cyclaminis* and sodium chloride on cyclamen and the development of *Fusarium* wilt. *Plant disease*, 86: 389-393
- Elmer, W. H., Kamo, K. K. (2018). Enfermedades de los gladiolos. Manual de enfermedades de cultivos de floristas. Manual de Manejo de Enfermedades de las Plantas. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39670-5_47
- Escalante, L., Escalante, Y., Linzaga, C., & Carreño, E. (2005). Efecto de diferentes dosis de sulfato de amonio en el rendimiento del gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* L.). *Rev. Alternativa*, 22: 1–5.
- Estrada, B. J. A., Pedraza, S. M. E., Cruz, T. E. D. L., Martínez, P. A., Sáenz, R. C., & Morales, G. J. L. (2011). Efecto de rayos gamma ^{60}Co en nardo (*Polianthes tuberosa* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2: 445-458.

- FAO. (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations /International Atomic Energy Agency (FAO/IAEA). <https://mvd.iaea.org/#!/Search>
- Forsburg, J. (1975). Diseases of ornamental plants. University of Illinois Press. USA.
- Fourie, G., Steenkamp, E. T., Ploetz, R. C., Gordon, T. R., & Viljoen, A. (2011). Current status of the taxonomic position of *Fusarium oxysporum* formae specialis *cubense* within the *Fusarium oxysporum* complex. *Infection, Genetics and Evolution*, 11: 533–542. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2011.01.012>
- Fravel, D., Olivain, C., & Alabouvette, C. (2003). *Fusarium oxysporum* and its biocontrol. *New Phytologist*, 157: 493–502.
- Gan, Y., Siddique, K. H., MacLeod, W., & Jayakumar, P. (2006). Management options for minimizing the damage by *ascochyta* blight (*Ascochyta rabiei*) in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Res*, 97: 121–134.
- García, J. J., & Alfaro, G. A. (1985). Inspección Fitosanitaria del bulbo de gladiolo: Estudio Básico (Issue 632 G216i). Madrid, ES: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- García, P.E. y Lozoya, G. E. (2004) Genes de resistencia a enfermedades en plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22:414-422
- Geiser, D., Aoki, T., & Bacon, C. (2013). One fungus, one name: Defining the genus *Fusarium* in a scientifically robust way that preserves longstand- ing use. *Phytopathology*, 103: 400–408.

- Gómez, A. A. (2016). Producción y comercio internacional de la Gladiola mexicana.
- Gordon, T. R., & Martyn, R. D. (1997). The evolutionary biology of *Fusarium oxysporum*. *Annual Review of Phytopathology*, 35: 111–128.
- González, E., Yáñez, M., Ortega, H., & Velázquez, J. (2008). Primer informe de *Acremonium stricto* y *Gliocladium roseum* causando la pudrición del tallo basal y del cormo *Gladiolo grandiflorus* en Mexico. *Revista de Patología Vegetal*, 90–586.
- González, E., Yáñez, M., Ortega, H., & Velázquez, J. (2009). Comparative Analysis among Pathogenic Fungal Species that Cause Gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) Corm Rot in Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 27, 45–52.
- González P. E., Ayala, G. O. J., Carrillo, S. A. J., García, S. de los. G., Yáñez, M. J. de M. y Juárez, M. J. (2011) Estudio del desarrollo, calidad de flor y dosis de fertilización en gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* Hort.). *Revista fitotecnia mexicana* 34:277-283
- Gutiérrez, M. (2014). Producción de gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) en El Sur del Estado De México.
- Hembrom, R., Rao, M., Sriram, S., Kumar, R., Venugopalan, R., & Dhananjaya, M. V. (2019). Evaluation of *Gladiolus* Genotypes for Resistance to Different Isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. *Int. J. Curr. Microbiol*, 8: 2811–2821.

- Hernández, A., Bautista, S., Hernández, M., Barrera, L. L., León, R., & García, L. (2017). Etiología de la pudrición de cormos de gladiolo en almacén en Cuautla Morelos, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35: 476–493.
- IFBC. International Flower Bulb Centre. (2012). Gladiolus as cut flowers. Guidelines for cut flower production. International Flower Bulb Centre. Hillegom, A.D. (Ed.). International Flower BulbCentre, The Netherlands <http://edepot.wur.nl/167428>
- INEGI. (2015). Estadísticas de balanza comercial comercial de mercancías. Exportación de flor de corte de gladiolo. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825073633>
- Jiménez, R., Martínez, V., & Domínguezl, N. (2015). Una alternativa para el biocontrol de hongos fitopatógenos. *Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo* ISSN: 2007-2619, 9.
- Kakade, D. S. (2016). Management of Fusarium wilt in Gladiolus. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 4(5), 127–132. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.2369>
- Khalil, G. A., Cetina, A. V. M., Ferrera, C. R., Velásquez, M. J., Pérez, M. C. A., & Larqué, S. M. (2001). Hongos micorrízicos arbusculares como componente de control biológico de la pudrición causada por *Fusarium* sp. en gladiola. *Terra Latinoamericana*, 19:259- 264.

- Khan M.R., S. Shahid, A. F. Mohidin and U. Mustafa. (2017). Interaction of *Fusarium oxysporum* and *Meloidogyne incognita* on gladiolus cultivars and its management through corm treatment with biopesticides and pesticides. *Biological Control*, 115: 95-104, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.09.010>
- Khan, M. R., & Mustafa, U. (2005). Corm rot and yellows of gladiolus and its biomangement. *Phytopathologia Mediterranea*, 44: 208–215.
- Kozjak, P., Meglič, V., 2012. Mutagenesis in plant breeding for disease and pest resistance. In: Rajnikant, M., (Ed.) Mutagenesis. InTech, pp. 195–220. doi: 10.5772/50332.
- Kumar, S., Stecher, G., & Tamura, K. (2016). MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution*, 33: 1870–1874.
- Larson, R. A. (2012). Introducción a la Floricultura. Departamento Deficiencia Horticola de La Universidad Del Estado de Carolina Del Norte. Raleigh, Carolina Del Norte. AGT Editor, SA México.
- Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2008). The *Fusarium* laboratory manual. John Wiley & Sons.
- Leszczyńska, B., & Boris, M. (1994). Gladiola. EDAMEX. In Gladiola. EDAMEX. México, DF.

- Leyva, M. S. (1992). Enfermedades del gladiolo (*Gladiolus* sp.). Memorias Del Segundo Curso de Acreditación Técnica En El Manejo y Certificación Fitosanitaria En Ornamentales. Metepec, Estado de México. México. 61–73p.
- López, J. (1989). Producción de claveles y gladiolos. Agroguías Mundi-Prensa.
- Lozano, C. (2017). Área bajo la curva del progreso de la enfermedad en R. <http://rparamicrobiologos.blogspot.mx/2013/11/audpc-en-r.html>
- Madden, L. V, Hughes, G., & Van Den Bosch, F. (2007). The study of plant disease epidemics.
- Magie, R. O. (1953). Some fungi that attack gladioli. Plant Diseases, the Yearbook of Agriculture USDA, 601.
- Malvaez, A. D. (2019). Alternativas de manejo de la marchitez (*Fusarium oxysporum* f. sp. *Gladioli*) del gladiolo (*Gladiolus* spp.) En Almoloya de Juárez, estado de México.
- Mameli, C. (1947). El gladiolo: la flor moderna. T. Bartolome (ed.).
- Michel, A. A. C, Ariza, F. R., Otero, S. M.O., Barrios, A. A., & Quiroz, M.M. (2014). Efectividad *in vitro* e *in situ* de fungicidas químicos y biológicos en el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* y *Uromyces transversalis* en gladiola. AP Agroproductividad 7: 3
- Mateos R. G y Leal, R. P. (2003) Fitoalexinas: mecanismo de defensa de las plantas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9:5-10

- Moradi, A. B. & AZIMI, M. H. (2017). Increasing qualitative and quantitative indexes of *Gladiolus grandiflorus* plant density and cultivation method. *Scientific Journal of Promotion on Ornamental Flowers and Ornamental Plants*, 2: 61-68.
- Mundt, C. (2014). Durable resistance: a key to sustainable management of pathogens and pest. *Infection, Genetics and Evolution*, 27: 446–455
- Nair, R. M., Pandey, A. K., War, A. R., Hanumantharao, B., Shwe, T., Alam, A. K. M. M., & Schafleitner, R. (2019). Biotic and abiotic constraints in mungbean production—progress in genetic improvement. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1340.
- NCBI. (2018). National Center for Biotechnology Information. National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>.
- Nelson, P. E., Dignani, C., & Anaissie, E. (1994). Taxonomy, biology, and clinical aspects of *Fusarium* species. *Clinical Microbiology Reviews*, 7: 479–504.
- Nicu, C., & Manda, M. (2022). Morphological and phenological variability of some varieties of *gladiolus* cultivated under climatic conditions of craiova. *Journal horticulture*, 66: 724-729.
- Ochoa, D. L., Zavaleta, E., Cárdenas, E., Herrera, A., Naime, J., Maseso, R., & Sadaña, L. (1994). Detección y factores epidemiológicos de la virosis del crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Fitosanidad. Texcoco Estado de México.

- Oladosu, Y., Rafii, M.Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H.A., Miah, G. U. (2016) Principle and application of plant mutagénesis in crop improvement: A review. *Biotechnol Equip*, 30:1-16. doi: 10.1080/13102818.2015.1087333
- Olalde L.G. G., M. V. Sandoval, T. D. C. Á. Val, A.Y. R. Montáño, P. D. Valerio y N. B. L. Chávez. (2017). Caracterización Molecular del Agente Causal de la Secadera del Gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* Hort). *AgroProductividad*, 10:85-9.
- Oldach, K. H. (2011). Mutagenesis. In: Pratap A, Kumar J (eds) *Biology and Breeding of Food Legumes*. CABI, UK, pp 208- 219. Doi: 10.1079/ 97818459376690208
- OPF. (2022). Project "opportunities for dutch businesses in the Mexican Ornamental sector". Ornamental Plants & Flowers México in conjunction with internal team and advisory council for the embassy of kingdom of the netherlands in Mexico and the Netherlands Enterprise Agency: <https://www.agroberichtenbuitenland.nl/actueel/nieuws/2022/11/21/presentation-of-market-study-on-opportunities-in-mexican-ornamental-plants-and-flowers-sector>
- Parry, M. A. J., Madgwick, P. J., Bayon, C., Tearall, K., Hernández, L. A. L. (2009) Mutation Discovery for crop improvement. *J. Expe. Bot.* 60: 2817-2825.
- Patra, S.K., Mohanty, C.R. (2014). Variability studies in Gladiolus. *The Asian Journal of Horticulture*, 2: 352-355.

- Piña, D. J. E., Sánchez, P. J. R., Franco, M. O., Castañeda, V. A., De La Cruz, T. E. (2022). Effect of irradiation with 60 Co Gamma Rays in Gladiolus (*Gladiolus communis* L.) Red and White cultivar. *Acta Agricola y Pecuaria* en prensa.
- Ram, R., Manuja, S., Dhyani, D., & Mukherjee, D. (2004). Evaluations of fortified fungicide solutions in managing corm rot disease of gladiolus caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protection*, 23: 783–788.
- Riaz, T., Khan, S. N., & Javaid, A. (2008). Antifungal activity of plant extracts against *Fusarium oxysporum*—the cause of corm-rot disease of Gladiolus. *Mycopath*, 6: 13–15.
- Riaz T., Khan, S. N., & Javaid, A. (2009) Effect of co-cultivation and crop rotation on corm rot disease of Gladiolus. *Scientia Horticulturae* 121:218–222, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.041>
- Rivadeneira, R. J. E., Cuesta, S. H. X., Villavicencio, S. M. F., & López, V. R. D. (2021). Generación y selección de mutantes de papa (*Solanum tuberosum*) con resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*). *Revista Avances en Ciencias e Ingeniería*, 12: 50-57.
- Rodríguez, A., Troncoso, R., Sánchez, A., González, D., Ruiz, E., Zamora, R., Cecaña, C., Grimaldo, O., & Aviles, M. (2015). Efecto antifúngico de extractos fenólicos y de carotenoides de chiltepín (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) en *Alternaria alternata* y *Fusarium oxysporum*. *Revista Argentina de Microbiología*, 47: 72–77.

Salachna, P. (2022). Trends in Ornamental Plant Production. *Horticulturae*, 8: 413.

<https://doi.org/10.3390/horticulturae8050413>

Salinger, J. P. (1991). Producción comercial de flores. Editorial Zaragoza, Acribia. 371 p.

Sánchez P. J. R, Quiñones, V. R., Castañeda, V. A., Franco, M. O., and Pedraza, E. K.

A. (2019) Dinámica Espacio Temporal de *Thrips simplex* y *Frankliniella occidentalis* en *Gladiolus communis* L., *Southwestern Entomologist* 44:667-678.

<https://doi.org/10.3958/059.044.0312>

Sathyanarayana E., Sharma, G., Tirkey, T., Das, BK., Divya, K. and Kumar, J. (2019)

Studies of gamma irradiation on vegetative and floral characters of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8:227–230

Schumann, G. L., & D'Arcy, C. J. (2006). Essential plant pathology. St. Paul, MN: American Phytopathological Society (APS Press).

Setiyono, T.D., Cassman, K.G., Specht, J.E., Doberman, A., Weiss, A., Yang, H.,

Conley, S.P., Robinson, A.P., Pedersen, P., De Bruin, J.L. (2010). Simulation of soybean growth and yield in near-optimal growth conditions. *Field Crops Res.*

119: 161–174, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.007>.

Shabani, F., Kumar, L., & Esmaili, A. (2014). Future distributions of *Fusarium*

oxysporum f. spp. in European, Middle Eastern and North African agricultural

regions under climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 197: 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.005>

Shanmugam, V., & Kanoujia, N. (2011). Biological management of vascular wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* by plant growth-promoting rhizobacterial mixture. *Biological Control*, 57: 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.02.00>

SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera). (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap. Julio 2021>.

Singh, A., & Sisodia, A. (2015). Effect of gamma irradiation on morphological changes, flowering, and induced mutants in gladiolus. *Indian Journal of Horticulture*, 72: 84–87.

Sisodia A., Singh, K. A. (2015) Studies on gamma ray induced mutants in gladiolus. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 85:79-86

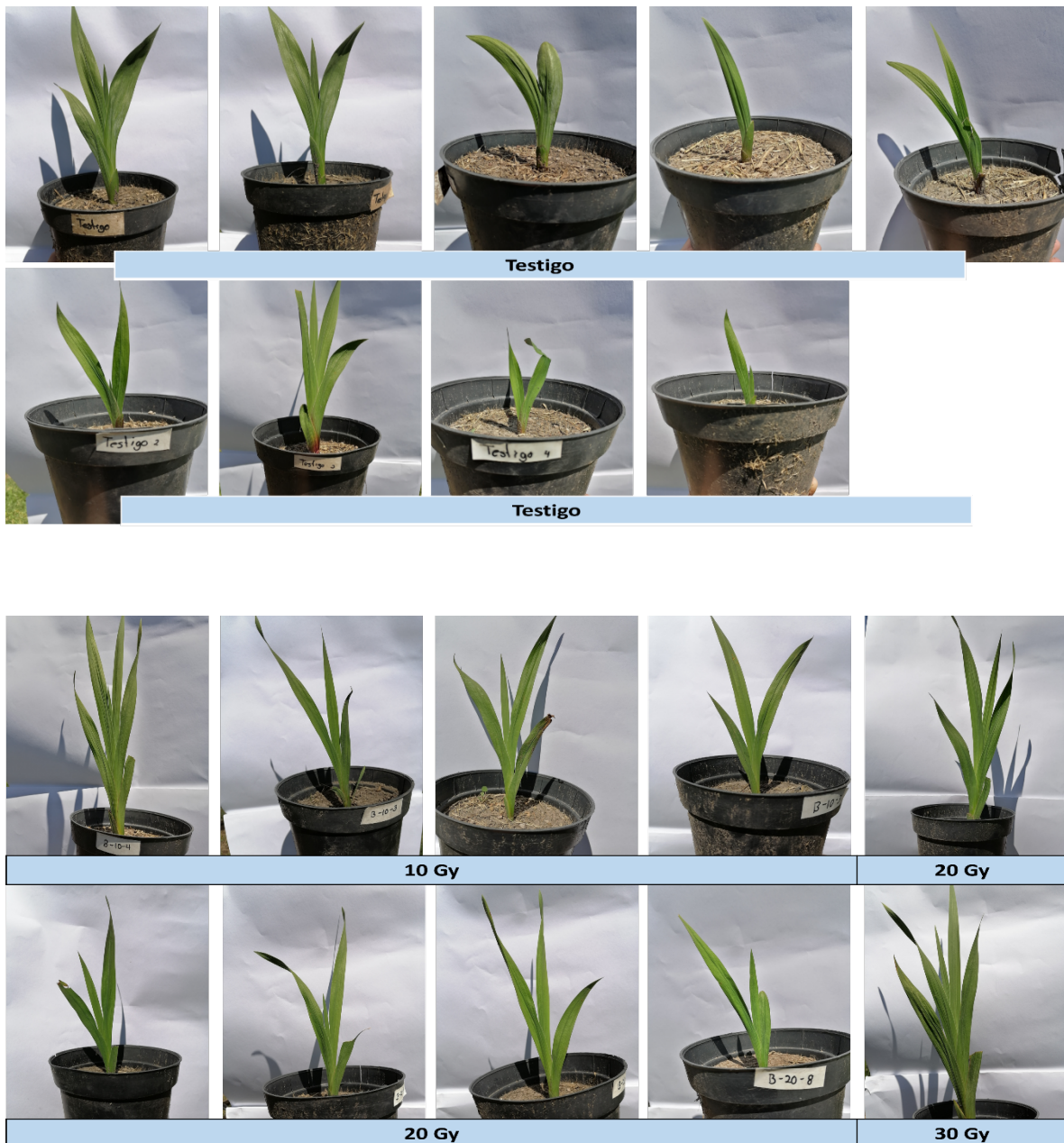
Streck, N.A., Bellé, R.A., Backes, F.A.L.B., Gabriel, L.F., Uhlmann, L.O., Becker, C.C. (2012). Vegetative and reproductive development in gladiolus. *Cienc. Rural* 42: 1968–1974, <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012001100010>
(InPortuguese, with Abstract in English)

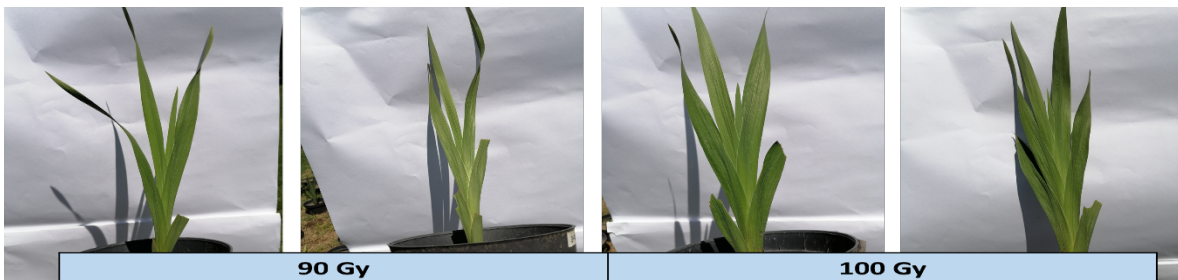
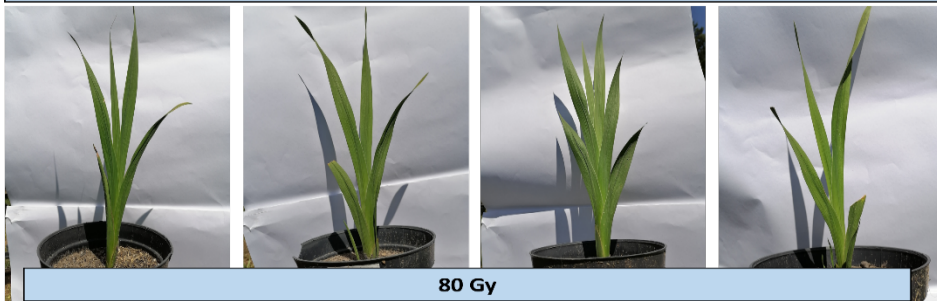
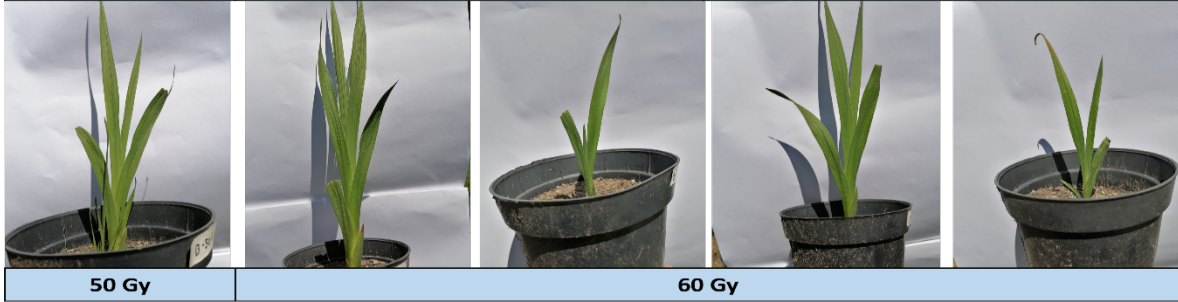
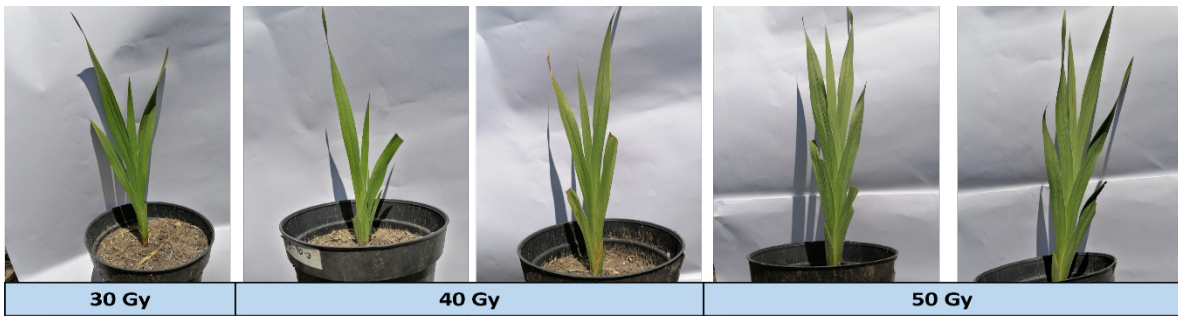
Taylor, A., Vagangy, V., Jackson, A. C., & Et al. (2016). Identification of pathogenicity - related genes in *Fusarium* is required for full virulence on *Arabidopsis*. *Molecular Plant Pathology*, 25: 180–190.

- Tejeda, S. O., Rios, B. Y., Trejo, T. L. I., & Vaquera, H. H. (2015). Caracterización de la producción y comercialización de flor de corte en Texcoco, México. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 6: 1105-1118.
- Thakur, N. (2020). A review on the effect of storage methods and packaging material on the post-harvest longevity of cut flowers. *International Journal of Chemical Studies*, 8: 2375-2379.
- Uhlmann, L. O., Streck, N. A., Becker, C. C., Schwab, N. T., Benedetti, R. P., Charão, A. S., & Becker, D. (2017). PhenoGlad: A model for simulating development in *Gladiolus*. *European Journal of Agronomy*, 82: 33-49.
- Van Rijswick, C. (2015). World floriculture map 2015. Rabobank Insutry Note # 145. Cooperative Centrale Raiffeisen- Boerenleenbank B. A. 1-4p
- Verdeguer, M. A. (1981). Variedades de gladiolo para flor cortada. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Wang, H., Cimen, E., Singh, N., & Buckler, E. (2020). Deep learning for plant genomics and crop improvement. *Current opinion in plant biology*, 54: 34-41.

XI. ANEXOS

Progreso del desarrollo de síntomas de la enfermedad en los cultivares sobresalientes, cada color corresponde a fechas de monitoreo subsiguientes.







Testigo

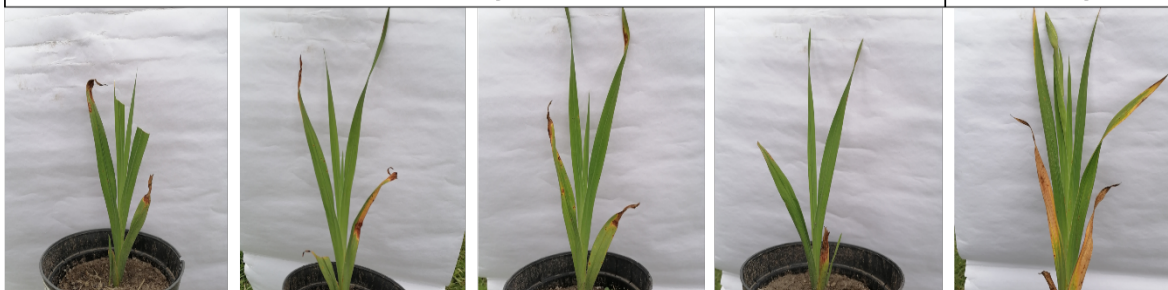


Testigo



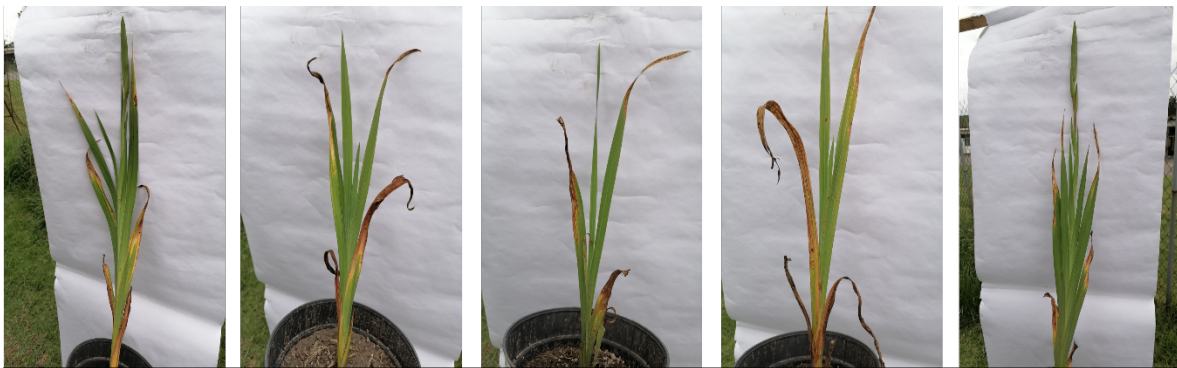
10 Gy

20 Gy



20 Gy

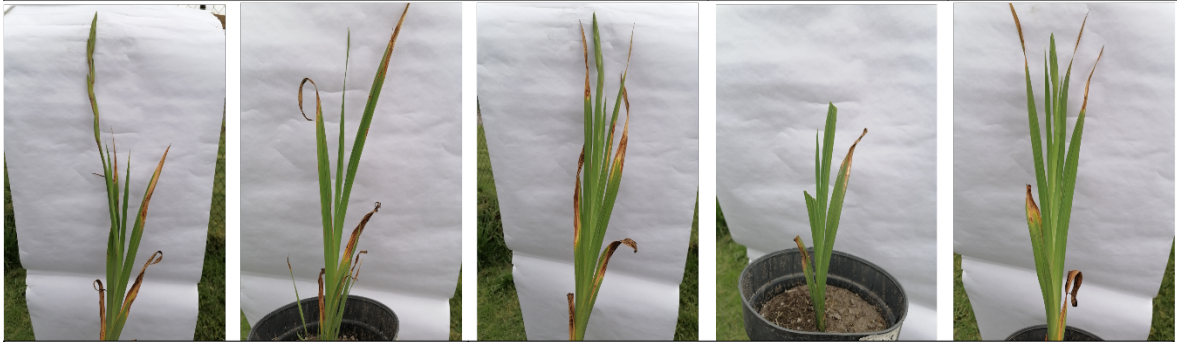
30 Gy



30 Gy

40 Gy

50 Gy



50 Gy

60 Gy

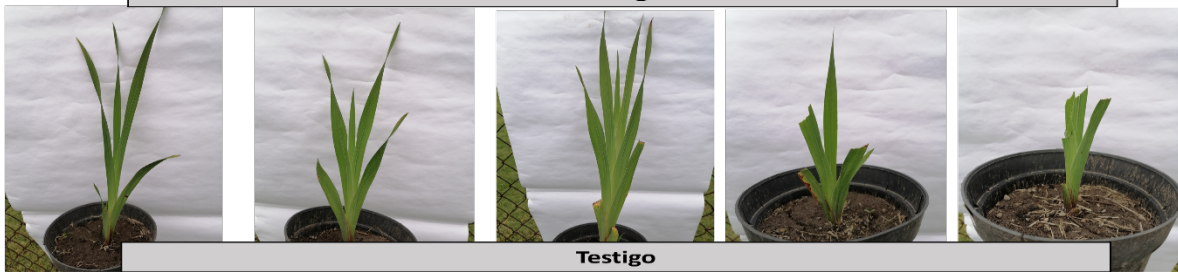
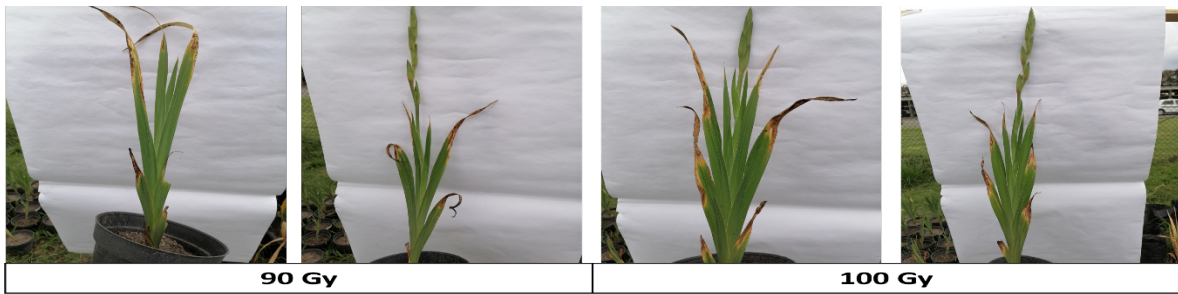


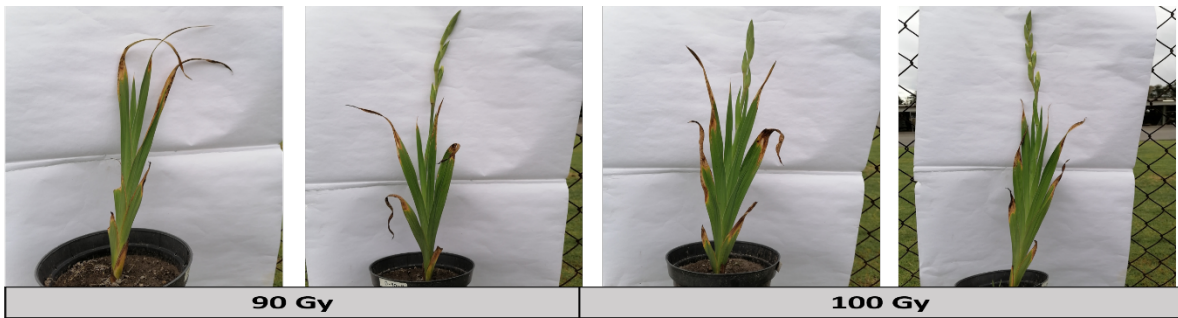
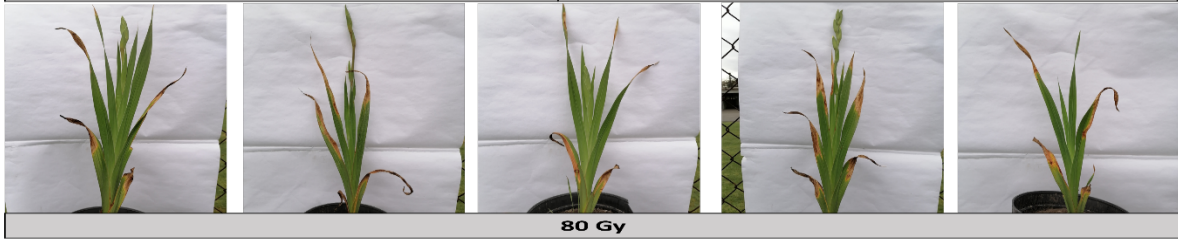
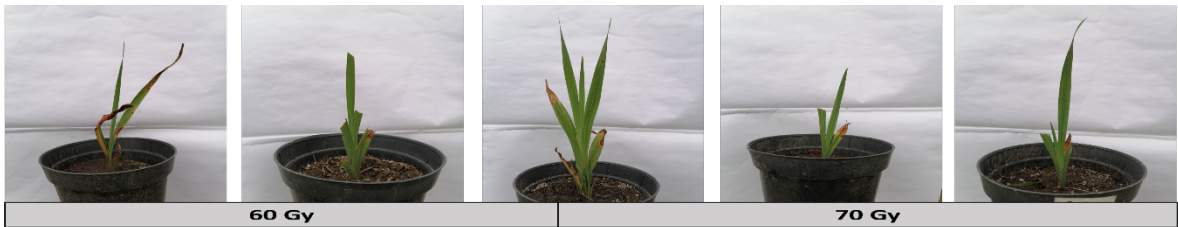
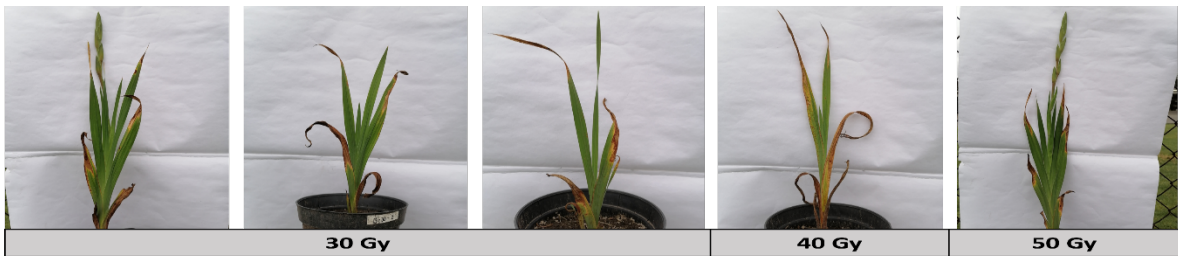
60 Gy

70 Gy



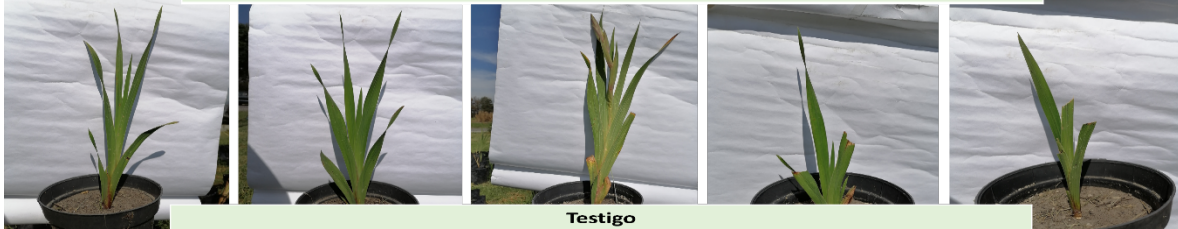
80 Gy



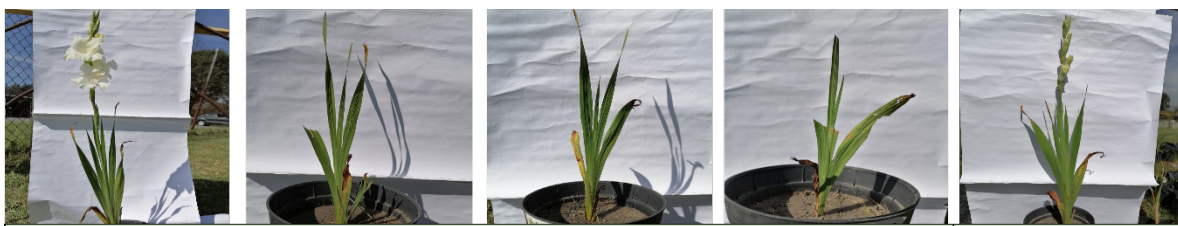




Testigo

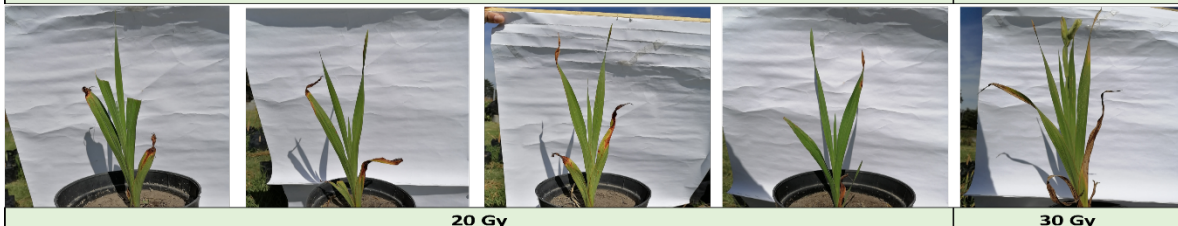


Testigo



10 Gy

20 Gy



20 Gy

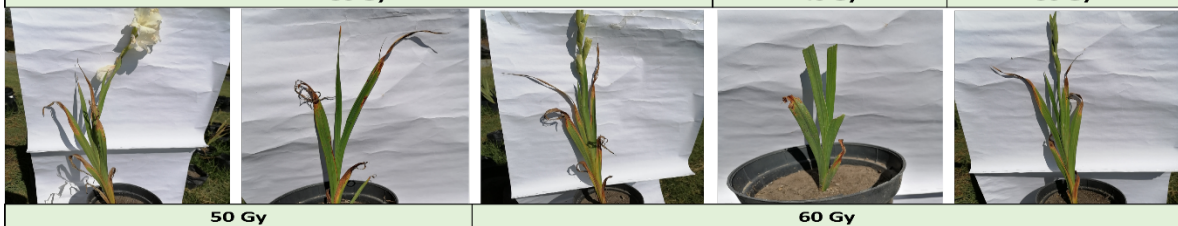
30 Gy



30 Gy

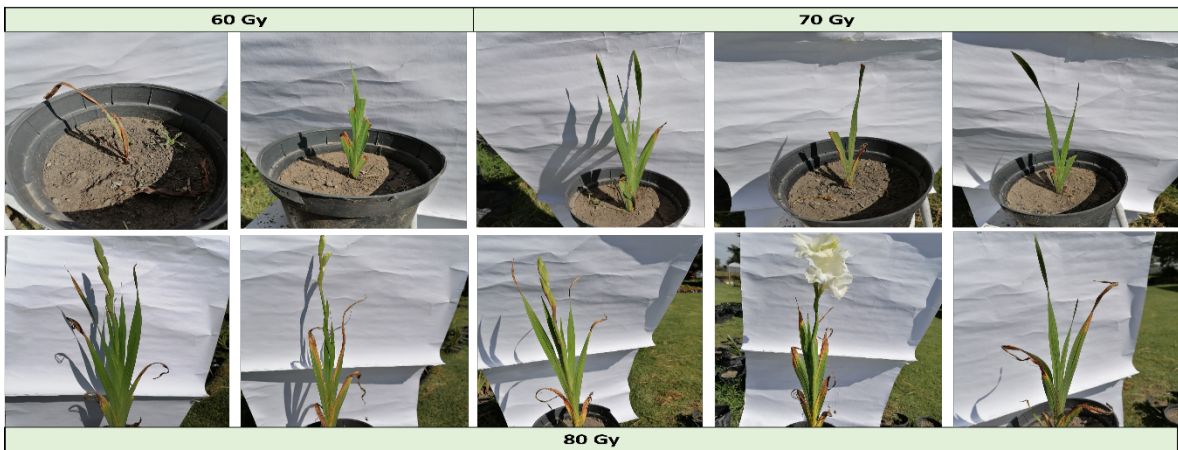
40 Gy

50 Gy

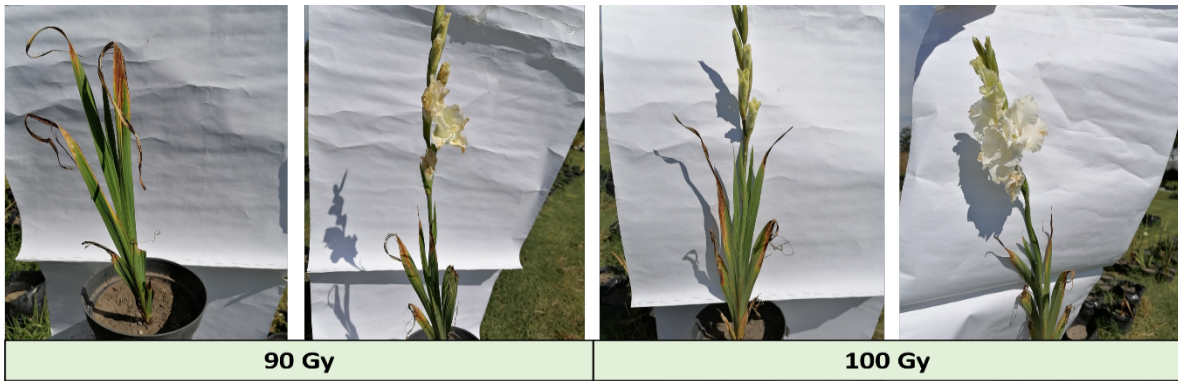


50 Gy

60 Gy

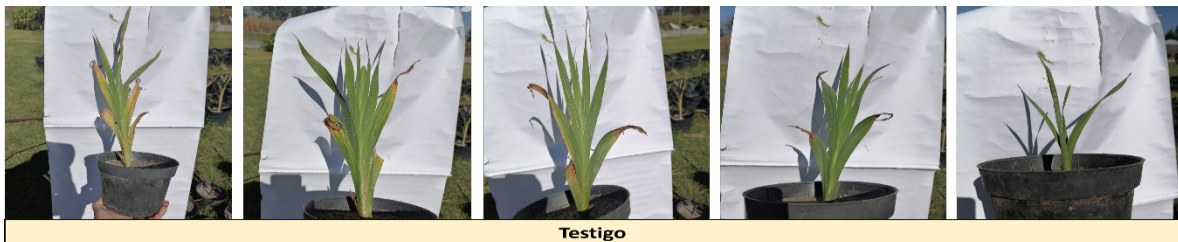


80 Gy

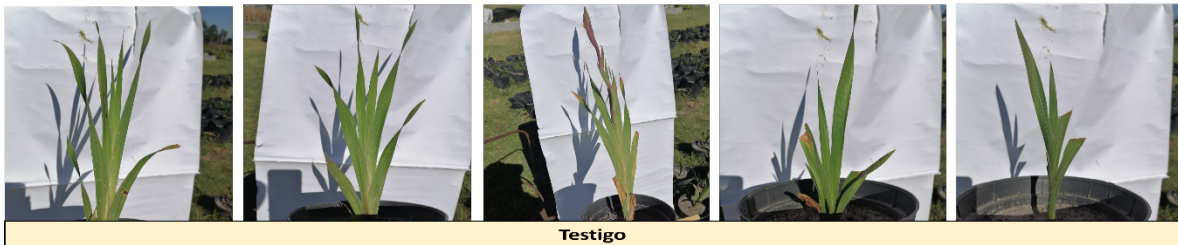


90 Gy

100 Gy



Testigo



Testigo



10 Gy

20 Gy



20 Gy

30 Gy



30 Gy

40 Gy

50 Gy



50 Gy

60 Gy

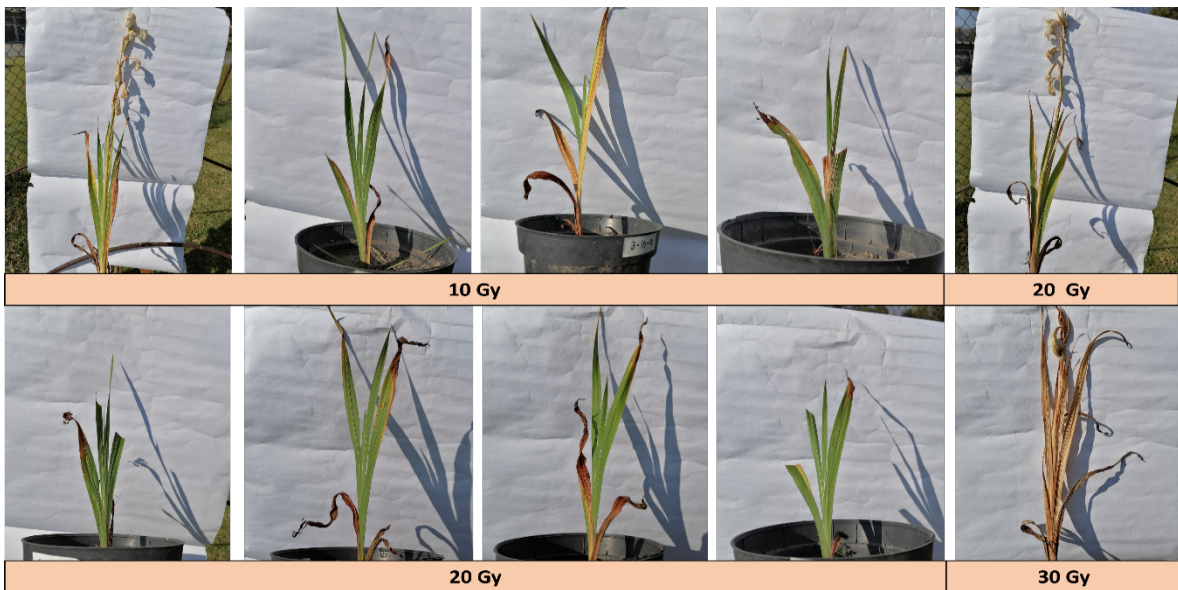
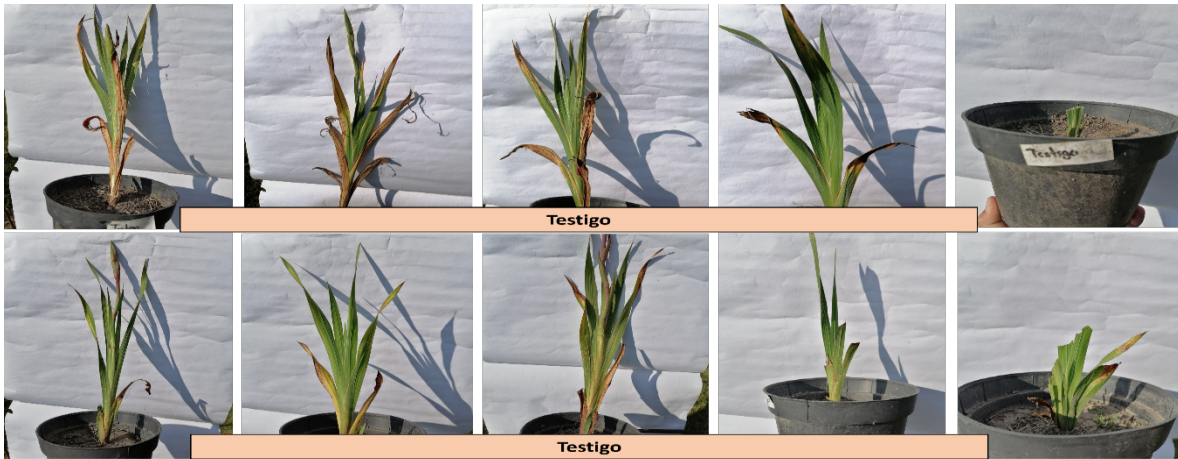
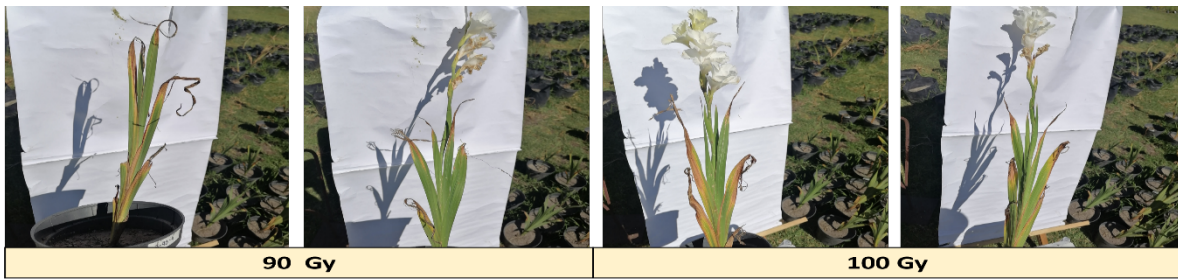


60 Gy

70 Gy



80 Gy





30 Gy

40 Gy

50 Gy



50 Gy

60 Gy

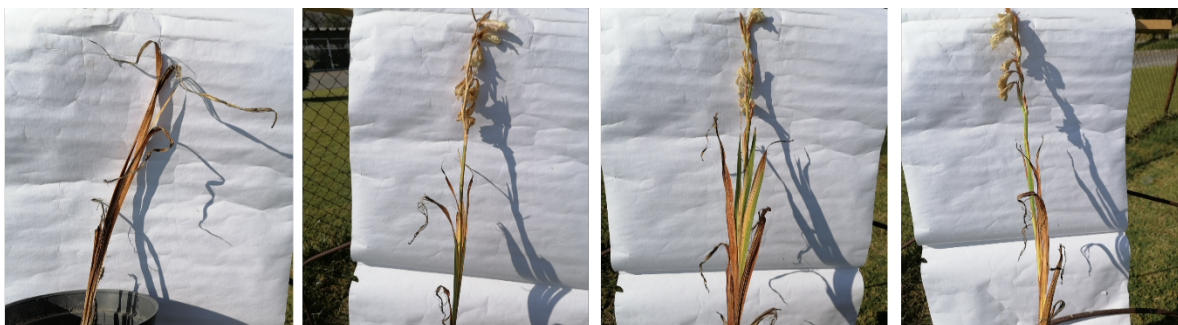


60 Gy

70 Gy

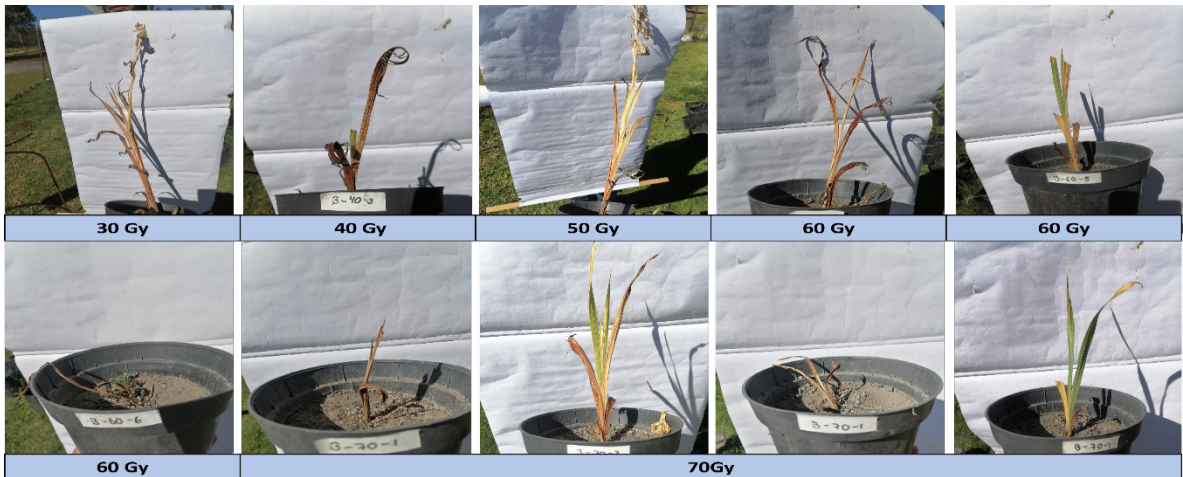
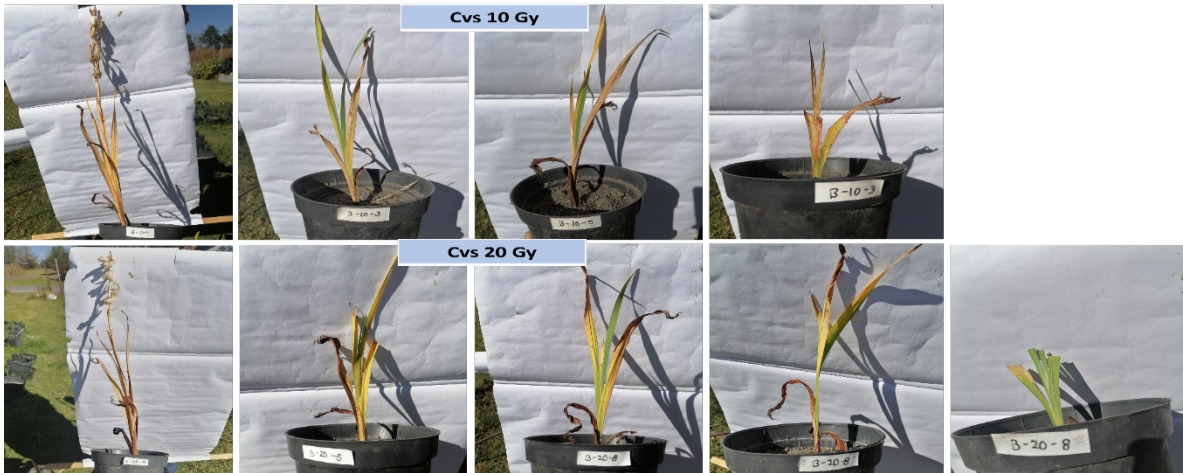
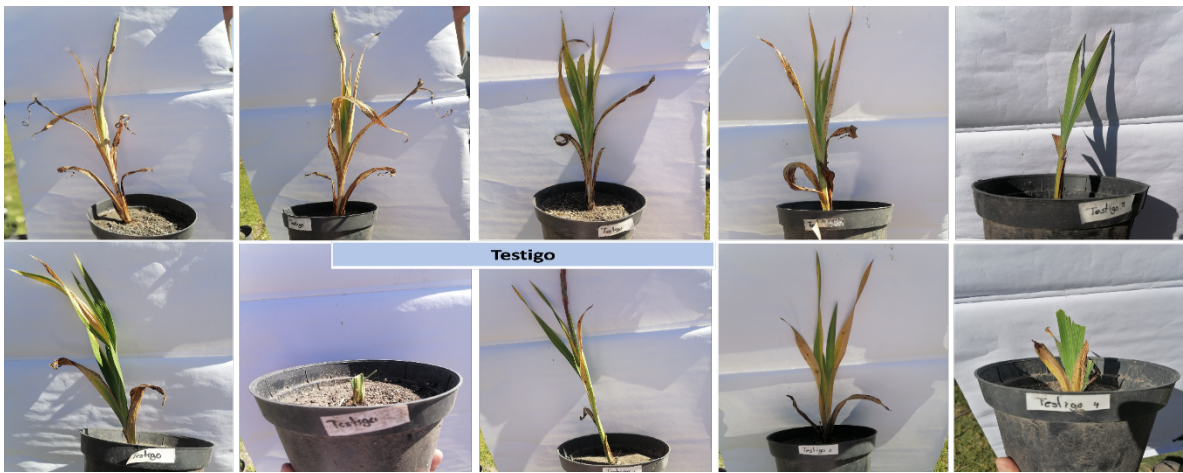


80 Gy



90 Gy

100 Gy





Progreso de la infección en los cormos al momento de cosecha (parte superior de la imagen en color gris) y daño final al salir del periodo de almacenamiento.

