



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

**Efecto de irradiación con rayos gamma como
fuente de inducción de mutaciones en dos
cultivares de malanga (*Colocasia esculenta* L.
Schott)**

Autores

**Br. Yosmara Belén Martínez Martínez
Br. Jaring José Briones Ramírez**

Asesores

**Ing. Agr. Rosario García Loáisiga
Ing. Agr. Heedy Corea Narváez
PhD. Guillermo Reyes Castro**

**Managua, Nicaragua
Mayo, 2020**



*“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”*

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

**Efecto de irradiación con rayos gamma como
fuente de inducción de mutaciones en dos
cultivares de malanga (*Colocasia esculenta* L.
Schott)**

Autores

**Br. Yosmara Belén Martínez Martínez
Br. Jaring José Briones Ramírez**

Asesores

**Ing. Agr. Rosario García Loáisiga
Ing. Agr. Heeidy Corea Narváez
PhD. Guillermo Reyes Castro**

Presentado a la consideración del honorable tribunal
examinador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo

**Managua, Nicaragua
Mayo, 2020**

Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable Tribunal Examinador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:



Miembros del Tribunal Examinador

Presidente

Secretario

Vocal

Lugar y Fecha: _____

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN		PÁGINA
	DEDICATORIA	i
	AGRADECIMIENTO	iii
	ÍNDICE DE CUADROS	v
	ÍNDICE DE FIGURAS	vi
	ÍNDICE DE ANEXOS	vii
	RESUMEN	viii
	ABSTRACT	ix
I	INTRODUCCIÓN	2
II	OBJETIVOS	3
2.1	General	3
2.2	Específicos	3
II	MARCO DE REFERENCIA	4
3.1	Generalidades del cultivo de malanga	4
3.1.1	Origen y distribución	4
3.1.2	Clasificación taxonómica de la malanga	4
3.1.3	Morfología de la malanga	4
3.1.4	Reproducción asexual	6
3.1.5	Inflorescencia	6
3.2	Mejoramiento genético	6
3.2.1	Inducción de mutaciones genéticas en la mejora vegetal	7
3.3	Rayos gamma	8
3.4	Dosis de irradiación	8
IV	MATERIALES Y MÉTODOS	9
4.1	Ubicación del área del estudio	9
4.2	Diseño metodológico	9
4.3	Material vegetativo	9
4.3.1	Preparación del material vegetal para la irradiación	9
4.4	Irradiador gamma	10
4.5	Traslado a medio de cultivo MS	10
4.6	VARIABLES EVALUADAS	10
4.7	Análisis de datos	11

V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
5.1	Análisis de varianza de las variables morfológicas	12
5.2	Análisis de regresión lineal de las variables morfológicas de Malanga Lila	14
5.3	Análisis de regresión lineal de las variables morfológicas de Malanga Blanca	15
5.4	Dosis de reducción del 50% (DR 50) de las variables altura de planta y número de brotes en Malanga Lila	16
5.5	Dosis de reducción del 50% (DR 50) de las variables altura de planta y número de brotes en Malanga Blanca	17
5.6	Porcentaje de sobrevivencia en los cultivares Malanga Blanca y Lila	18
5.7	Dosis de mortalidad del 50% (DM 50) en el cultivar Malanga Lila	19
5.8	Dosis de mortalidad del 50% (DM 50) en el cultivar Malanga Blanca	20
VI	CONCLUSIONES	22
VII	RECOMENDACIONES	23
VIII	LITERATURA CITADA	24
IX	ANEXOS	30

DEDICATORIA

A **DIOS** principalmente por haberme regalado una segunda oportunidad de vida para poder culminar con esta meta, regalarme salud, fortaleza en situaciones difíciles de mi vida, inteligencia y bendiciones que día a día se manifiestan de maneras diferentes y en los momentos indicados, y por tu infinita misericordia.

A mi padre **Francisco Javier Martínez Rugama** (q. e. p. d), por haberme brindado su apoyo en mis estudios, por regalarme sus fuerzas para que saliera adelante y por su verdadero Amor. A mi madre **María del Carmen Martínez Gámez** por obsequiarme tu vida, tus fuerzas, tus consejos tu compañía y todos tus sacrificios para que lograra finalizar mis estudios secundarios y universitarios, “Infinitamente Gracias Mamá por tu apoyo Incondicional”.

Br. Yosmara Belén Martínez Martínez

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a **DIOS** por llenarme de vida, salud, sabiduría, inteligencia y entendimiento para culminar de buena manera mi carrera. Porque me has dado la fortaleza y la ambición de luchar por algo que en realidad vale la pena. “Gracias por tanto Amor mi DIOS”.

También dedico este trabajo a mis padres **Zoylo José Briones Mora** y **Betty Isabel Taisigue Ramírez** por el apoyo que siempre me han dado, por el sacrificio que siempre hicieron con el deseo darme lo que necesitaba para salir adelante. Hoy con Amor les dedico este importante trabajo que con mucho esfuerzo, dedicación y orgullo he logrado culminar. “Gracias por tanto Amor”.

Br. Jaring José Briones Ramírez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida que me ha obsequiado, por la salud que me ha regalado, por la fortaleza para vencer los obstáculos y la voluntad de salir de adelante, por las bendiciones diarias y por la oportunidad de poder culminar mi carrera, infinitamente gracias por tu amor y misericordia

A mis padres Francisco Javier Martínez Rugama (q. e. p. d) y María del Carmen Martínez Gámez, por su apoyo emocional y económico, enseñarme a no rendirme, por su valiosa compañía y su incondicional apoyo en toda mi formación personal y profesional. Gracias por todos los amo.

Agradezco a mi novio Jaring José Briones Ramírez por haberme enseñado a luchar por mis sueños y cumplir con mis propósitos personales y profesionales, por su apoyo incondicional y pleno en todo este proceso formativo por acompañarme y fortalecerme en las situaciones y momentos más complicados y felices de mi vida, gracias por perseverar a mi lado en este camino de mi vida, siempre te agradeceré por todo lo que has hecho por mí, Gracias mi Infinito.

A doña Digna Ríos por apoyarme emocional y económicamente durante mis estudios secundarios y universitarios.

Agradezco a mi familia y mis compañeros de clase por haberme acompañado en los momentos más difíciles de mi vida y por los momentos y experiencias más especiales que pude compartir con cada uno de ellos.

A mis asesores Ing. Agr. Rosario García Loáisiga, Ing. Agr. Heeidy Corea Narváez, y PhD. Guillermo Reyes Castro, por el aprendizaje “integral” los conocimientos brindados día a día, por su amistad y gracias por regalarme su valioso tiempo para culminar mi tesis.

A la Universidad Nacional Agraria por brindarme la oportunidad de poder formarme profesionalmente y por convertirse en mi segunda casa de aprendizaje.

Br. Yosmara Belén Martínez Martínez

AGRADECIMIENTO

Agradezco especialmente a Dios por regalarme la oportunidad de cumplir una meta muy importante en mi vida, (Ingeniero Agrónomo), por llenarme de salud, sabiduría y entendimiento en todo el periodo de mi carrera “gracias mi Dios”.

A mis padres Zoylo José Briones Mora y Betty Isabel Taisigue Ramírez por su apoyo incondicional, a pesar de las dificultades y las necesidades sé que me han dado todo con amor, quiero darles las gracias porque me han ensañado a nunca rendirme y siempre luchar por mis sueños. Son mi más grande inspiración.

Agradezco a mis hermanos Saira María Briones Taisigue, Álvaro José Briones Taisigue, Julissa Gabriela Briones Taisigue, Marielos de los Ángeles Briones Taisigue, Norman Antonio Briones Taisigue, Domingo Briones y Cesar Briones, por creer en mí, motivarme y apoyarme emocionalmente en todo el transcurso de mi carrera.

Agradezco a mi Novia Yosmara Belén Martínez Martínez por su apoyo incondicional en todo el transcurso de la carrera, por elegirme y tomarme de la mano luchar ante cualquier adversidad. Te agradezco por ese inmenso sacrificio que con humildad y esmero dedicaste día a día, inspirados en un sueño mutuo que hoy podemos gozar y sentirnos orgullosos de haberlo logrado juntos como un gran equipo. Gracias mi Belencita.

A mis familiares por todo el apoyo emocional que me brindaron durante este proceso formativo, que de alguna manera me hacían llegar sus buenos deseos hacia mi persona.

Agradezco a mis compañeros de carrera por estar presentes en todo momento y por estar dispuestos a aportar un granito de arena en lo que es una historia de superación mi vida.

Agradezco infinitamente a mis asesores Ing. Rosario García Loáisiga, Ing. Heeidy Corea Narváez y PhD. Guillermo Reyes Castro, por la oportunidad que me dieron de optar a este trabajo de tesis y de esta manera graduarme como Ingeniero Agrónomo.

A la Universidad Nacional Agraria por recibirme como un miembro más de esta gran familia y brindarme las condiciones que necesité para sacar adelante mi carrera. Siempre estaré infinitamente agradecido por esta gran oportunidad “Agrario por Siempre”.

Br. Jaring José Briones Ramírez

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Clasificación taxonómica de malanga	4
2	Características morfológicas de malanga lila	5
3	Características morfológicas de malanga blanca	6
4	Análisis de varianza de las variables morfológicas altura de planta, número de hojas, número de brotes, número de raíces de Malanga Lila evaluadas a los 69 ddi	12
5	Análisis de varianza de las variables morfológicas altura de planta, número de hojas, número de brotes, número de raíces de Malanga Blanca evaluadas a los 69 ddi	13
6	Análisis de varianza de las variables morfológicas altura de planta, número de hojas, número de brotes, número de raíces en Malanga Blanca y Lila evaluadas a los 69 ddi	13

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Análisis de regresión lineal del porcentaje con respecto al testigo y de dosis de irradiación con rayos gamma de las variables altura de planta, número de hojas, brotes y raíces de plantas de Malanga Lila	14
2	Análisis de regresión lineal del porcentaje con respecto al testigo y de dosis de irradiación con rayos gamma de las variables altura de planta, número de hojas, brotes y raíces de plantas de Malanga Blanca.	15
3	Dosis de reducción 50% (DR 50) con respecto al testigo en las variables altura de planta (cm) y número de brotes irradiados con diferentes dosis de rayos gamma en Malanga Lila.	17
4	Dosis de reducción 50% con respecto al testigo en las variables altura de planta (cm) y número de brotes irradiados con diferentes dosis de rayos gamma en Malanga Blanca.	18
5	Efecto de la irradiación gamma sobre la sobrevivencia de Malanga Blanca y Lila, evaluada a los 69 ddi.	19
6	Dosis de mortalidad (DM 50) para el porcentaje de sobrevivencia de explantes del cultivar Malanga Lila irradiada con diferentes dosis de rayos gamma.	20
7	Dosis de mortalidad (DM 50) para el porcentaje de sobrevivencia de explantes del cultivar Malanga Blanca irradiada con diferentes dosis de rayos gamma.	21

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Explantos de Malanga Blanca a los 69 ddi de las dosis a= Testigo b= 5 c= 10 d=15 e= 20 f=25 g=30 Gy	30
2	Explantos de Malanga Blanca y Malanga Lila los 69 ddi a= Todas las dosis de irradiación en MB b= Todas las dosis de irradiación ML.	31
3	Explantos de Malanga Lila a los 69 ddi de las dosis a= Testigo b=5 c= 10 d=15 e= 20 f=25 g=30 Gy	32

RESUMEN

La malanga (*Colocasia esculenta* L) es un cultivo que ha venido adquiriendo una fuerte importancia como cultivo exportador. En Nicaragua se siembran dos cultivares de malanga, Lila y Blanca, ninguno tolerante a factores bióticos o abióticos. Se trasladaron desde Nicaragua plantas *in vitro* de los cultivares Malanga Lila y Blanca al Instituto de Investigación en Viandas Tropicales (INIVIT) y se irradiaron en el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), La Habana, Cuba, con el objetivo de evaluar el efecto de irradiación con rayos gamma, como fuente de inducción de mutaciones en dos cultivares de malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott) y fueron retornados al laboratorio de cultivo de tejidos vegetales (LCTV) de la Universidad Nacional Agraria (UNA) en Nicaragua para su evaluación. Se estableció un diseño completamente al azar (DCA), con dos factores: dosis de irradiación y cultivares, y siete tratamientos con treinta observaciones por tratamiento. Los tratamientos estudiados fueron las dosis de irradiación gamma: 0 (testigo), 5, 10, 15, 20, 25 y 30 Gy. Se evaluó a los 69 días después de la inducción, la altura de planta (cm), número de hojas, número de brotes, número de raíces, porcentaje de sobrevivencia, dosis de reducción de crecimiento en 50% (DR 50) y dosis de mortalidad 50% (DM 50). En el cultivar Malanga Lila el testigo fue superior en las variables altura de planta y número de brotes. Número de raíces y hojas no presentaron diferencia significativa. En Malanga Blanca las variables altura de planta y número de hojas se presentó diferencias significativas el testigo, 5 y 10 Gy mostraron categorías superiores. En número de brotes hubo diferencias significativas siendo el testigo el de mayor número de brotes (4.38), en número de raíces 5 Gy fue superior estadísticamente. En Malanga Lila la DR 50 fue de 13 Gy y la DM 50 de 19 Gy. En Malanga Blanca la DR 50 fue de 25 Gy y la DM 50 fue de 55 Gy. La dosis óptima de irradiación para Malanga Lila fueron 10, 13 y 16 Gy y para Malanga Blanca 20, 25 y 30 Gy.

Palabras Claves: Irradiación, mejoramiento genético, cultivo *in vitro*.

ABSTRACT

Taro (*Colocasia esculenta* L) is a crop that has been gaining importance as an export crop. Two taro cultivars, Lila and Blanca, are planted in Nicaragua, none tolerant to biotic or abiotic factors. *In vitro* plants of Lila and Blanca Taro cultivars were transferred from Nicaragua to the Center for Technological Applications and Nuclear Development (CEADEN), Havana, Cuba, to evaluate the effect of gamma-ray irradiation as a source of induction of mutations in two taro cultivars (*Colocasia esculenta* L. Schott laboratory (LCTV) of Universidad Nacional Agraria (UNA) in Nicaragua for evaluation. A completely randomized design (DCA) was established, with two factors: irradiation dose and cultivars, and seven treatments with thirty observations per treatment. The treatments studied were the gamma irradiation doses: 0 (control), 5, 10, 15, 20, 25 and 30 Gy. At 69 days after induction, plant height (cm), leaves number, shoots number, roots number, survival percentage, 50% growth reduction dose (DR 50) and 50% mortality dose (DM 50). In Malanga Lila the control was significant higher in plant height and shoots number. Root and leaves number did not show significant difference. In Malanga Blanca plant height and leaves number the control, 5 and 10 Gy showed higher categories. In shoot number the control has highest number (4.38), in roots numbers 5 Gy was statistically higher. In Malanga Lila DR 50 was 13 Gy and DM 50 was 19 Gy. In Malanga Blanca DR 50 was 25 Gy and DM 50 was 55 Gy. The optimal irradiation dose for Malanga Lila were 10, 13 and 16 Gy and for Malanga Blanca 20, 25 and 30 Gy.

Key Words: Irradiation, plant breeding, *in vitro* culture

I. INTRODUCCIÓN

La malanga (*Colocasia esculenta* L) es miembro de la familia Araceae y originario del sureste de Asia entre la India e Indonesia, del cual se consumen los cormos (López, Vázquez y López, 1984). Según Villalta (2011) es un cultivo que ha venido adquiriendo una fuerte importancia como cultivo exportador estimulado por los buenos precios debido a la demanda permanente en los mercados internacionales como el de los EEUU. APAC (2004) menciona que es un producto comercializable durante todo el año, se cultivan en los departamentos de Boaco, Matagalpa, Jinotega, Estelí, Región Autónoma Caribe Sur y Región Autónoma Caribe Norte, regiones de pluviosidad adecuada para el cultivo y donde se logran óptimos rendimientos.

De acuerdo con CETREX (2017) en los años 2015 y 2016 se exportaron 4 642 996.89 y 2 376 716.35 millones de kg de malanga respectivamente, por valor de 0.23 y 0.15 millones de dólares.

Según ADDAC (2009) y Enríquez y Mairena (2011) en Nicaragua se siembran dos cultivares de malanga, Lila y Blanca. El cultivar de mayor producción es la Malanga Lila, conocido también como Malanga Coco, debido a que se exporta, alto potencial de rendimiento, y consumo nacional. Ninguno de los cultivares es tolerante a factores bióticos y abióticos.

La malanga es un cultivo con ciclo fenológico de siete a nueve meses en los cuales demanda agua abundante (entre 1,800 y 2,500 mm al año) López *et al.* (1984). En Nicaragua se siembra en los meses de época lluviosa que dura de 5-6 meses, en ciertas ocasiones no son suficientes para abastecer las necesidades hídricas de esta planta. Según Ordaz *et al.* (2010) Nicaragua es un país altamente vulnerable ante sequías afectando casi el 45% de la población a nivel nacional. Se debe generar cultivares tolerantes a la sequía, con alto rendimiento y precocidad, permitiendo seguridad en la producción agrícola, en condiciones adversas del país.

La malanga posee flores unisexuales, con un proceso de polinización irregular, por lo que la producción de semilla es poco frecuente (Lozada, 2005). Hernández y Bustamante (2017) mencionan que entre los genotipos que estudiaron se dio una floración de 25%. Según Reyes y Aguilar (2005) la malanga pertenece a un grupo de plantas que aunque producen semillas botánicas, estas poseen poca viabilidad, longitud de su ulterior crecimiento y la dificultad de

obtención. Es por esto que la variabilidad genética en el cultivo se ve limitada y por lo tanto el mejoramiento convencional debe ser complementado con herramientas biotecnológicas, permitiendo conseguir variación genética.

Según Babaei (2010) para la obtención de variación genética se emplean, los rayos gamma que son mutágenos físicos que han demostrado ser útiles para la modificación de nuevas variantes de rasgos que pueden dar lugar a la mejora de los cultivos y se puede utilizar como una herramienta complementaria en el fitomejoramiento. Chopra (2005) indica que las mutaciones, pueden generar nueva diversidad genética, indispensable para el mejoramiento de los cultivos.

Para Martirena *et al.* (2018) la aplicación de radiaciones gamma combinada con el cultivo de tejidos en malanga constituye una herramienta para acelerar los programas de mejoramiento genético. Según Antúnez *et al.* (2017) la inducción de mutaciones es una alternativa para generar variabilidad genética no presente en la naturaleza o para obtener variedades que pueden emplearse como progenitores en programas de fitomejoramiento, al producir nuevas combinaciones genéticas o al incrementar la variabilidad en una población. Según Iyas y Naz (2014) entre los agentes mutagénicos físicos, los rayos gamma han sido los más exitosos en la obtención de mutaciones viables de alta frecuencia en un gran número de cultivares de diferentes especies.

En el presente estudio se evaluó el efecto de irradiación con rayos gamma, como fuente de inducción de mutaciones en dos cultivares de importancia económica de malanga como un paso preliminar de mejoramiento en el cultivo, una vez obtenida la dosis de irradiación se pretende irradiar en masa las plantas con las dosis determinadas para cada cultivar como parte del proyecto "Ampliación de la variabilidad genética de cultivos de propagación vegetativa empleando técnicas nucleares" que se ejecuta en la UNA.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de irradiación con rayos gamma, como fuente de inducción de mutaciones en dos cultivares de malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott).

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las variables morfológicas de dos cultivares de malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott) irradiadas con diferentes dosis de rayos gamma.
- Determinar la dosis de irradiación que reduce el 50% de crecimiento y dosis mortalidad 50 (DM 50) en dos cultivares de malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott).
- Definir las dosis de irradiación óptimas para inducir mutaciones en los cultivares Malanga Blanca y Malanga Lila.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Generalidades del cultivo de malanga

3.1.1 Origen y distribución

El género *Colocasia* es originario del sureste de Asia, entre la India e Indonesia, se afirma que está entre los primeros cultivos explotados por el hombre y su historia es posible trazarla hasta las culturas neolíticas más primitivas (Montaldo, 1972; Quintero y Rodríguez 2005). Según MINAG (2011) el cultivo se extendió por África tropical y Egipto, llegó a Islas Canaria y desde este archipiélago se introdujo en el continente americano

3.1.2 Clasificación taxonómica de la malanga

La malanga es una planta perteneciente a la familia Araceae, y su clasificación taxonómica se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de malanga

Reino	Vegetal
Clase:	Angiospermae
Subclase:	Monocotyledoneae
Orden:	Spathiflorae
Familia:	Araceae
Género:	Colocasia
Especie:	esculenta (L.) Schott

Fuente: (Arróliga y Blandón, 2015)

3.1.3 Morfología de la malanga

Las plantas de malanga son herbáceas suculentas que alcanzan alturas de 1-3 m, sin tallo aéreo, el tallo central es elipsoidal, subterráneo conocido como cormo, rico en carbohidratos (18-30% en base fresca y 65 a 80% en base seca) (Arróliga y Blandón, 2015). De acuerdo con Mayo, Bogner y Boyce (1997) las raíces son múltiples distribuidas uniformemente alrededor del tallo subterráneo, suaves, suculentas con unos 0.80 a 1.20 m de largo y un grosor de 3 a 5 mm de diámetro, las hojas por lo general de forma peltada, venas laterales primarias, venas paralelas secundarias, ápice mucronado (Mayo *et al.*, 1997), aparecen enrolladas por la base formando un pseudotallo corto, con tejido foliar esponjoso.

Cuadro 2. Características morfológicas de Malanga Lila

Características morfológicas de Malanga Lila

Estolones	No
Altura de la planta	Mediana
Inflorescencia	No
Hijos	8.6
Color del Pecíolo	Verde oscuro
Color de raíces	Rosadas
Color de pseudotallo	Verde

Lámina

Forma	De copa
Orientación	Semi Horizontal
Margen	Completo
Color	Verde oscuro
Variegación	Ausente

Cormo

Forma	Cilíndrico
Peso	Pequeños
Color pulpa	Blanco con puntos púrpura
Longitud	Intermedio

Fuente: (Hernández y Bustamante, 2017)

Cuadro 3. Características morfológicas de Malanga Blanca

Características morfológicas de Malanga Blanca

Estolones	No
Altura de la planta	Mediana
Inflorescencia	No
Hijos	8.8
Color de pecíolo	Verde claro
Color de raíces	Blancas
Color de pseudotallo	Verde claro

Lámina

Forma	De copa
Orientación	Semi- horizontal

Margen	Ondas pequeñas
Color	Amarillo
Variegación	Ausente
Cormo	
Forma	Redondo
Peso	Mediano
Color pulpa	Blanca
Longitud	Intermedia

Fuente: (Hernández y Bustamante, 2017)

3.1.4 Reproducción asexual

La malanga se propaga de forma asexual, la semilla o propágulo, se refiere al material vegetal que se utiliza para sembrar la malanga; en este caso se pueden utilizar dos parte de la planta, los cormos o las plántulas nuevas (hijuelos), dependiendo de la disponibilidad de los materiales (González, 2011). Rivers (2007) sostiene que el método de multiplicación empleado por los productores es por material vegetativo, utilizando trozos del cormo o cormelos principal o central. Reyes y Aguilar (2005) desarrollaron un método eficiente en la extracción de yemas axilares conocido como la técnica de reproducción acelerada de semillas (TRAS) incrementando la cantidad de semilla obtenida por plantas y reduce el tiempo de permanencia del cultivo en el campo.

3.1.5 Inflorescencia

Según León (2000) dos o más inflorescencia emergen del meristemo apical del cormo, entre los peciolos de las hojas que se forma a partir de una hoja envolvente denominada espata que rodea el espádice (Son estructuras características de las aráceas), del eje de este último se inserta las flores sésiles. Para González (2011) en la parte inferior lleva flores pistiladas las cuales no se desarrollan, se secan y desprenden.

3.2 Mejoramiento genético

Para Rodríguez, Pérez, y Fuchs (1981) el mejoramiento de plantas procura la obtención de variedades de plantas de cultivo, que garanticen bajo determinadas condiciones ambientales y de producción, rendimientos y estables, de los productos cosechados con la calidad requerida. Según Pérez (1998) se procura desarrollar aquellos caracteres y cualidades

internas de las plantas determinadas genéticamente y menciona que muchos de los objetivos de la mejora, fundamentalmente es la resistencia a plagas y enfermedades, factores abióticos adversos y hábitos de crecimiento.

Jiménez y De Feria (1998) mencionan que las técnicas biotecnológicas son empleadas como una herramienta auxiliar para la multiplicación de material libre de enfermedades las mismas han servido para generalizar nuevas variedades de plantas obtenidas mediante selección, mutación, programas de mejora y manipulación genética. En el estudio realizado por Gálvez *et al.* (2013) indica que una de las alternativas para lograr incrementar los rendimientos en el cultivo de malanga, puede ser la aplicación de los métodos biotecnológicos, tanto para la obtención de nuevos genotipos, como para el saneamiento a hongos patógenos y producción de semillas.

3.2.1 Inducción de mutaciones genéticas en la mejora vegetal

Prado (2018) menciona que la inducción de mutaciones ha resultado ser un método eficaz para lograr variaciones dentro de un tipo de cultivo, ya que ofrece la posibilidad de inducir características deseadas que no se pueden hallar en la naturaleza o se han perdido durante el proceso evolutivo.

Según Lemus *et al.* (2002) el método de mejoramiento genético mediante mutaciones inducidas se basa en el principio de que se puede aumentar la proporción de mutaciones exponiendo plantas o semillas a las radiaciones. Para Novak y Brunner (1992) si bajo condiciones naturales ocurren mutaciones útiles, puede suponerse que también se pueden producir mutaciones favorables en forma experimental.

Calva (2005) menciona que las técnicas isotópicas y de fitotecnia por mutaciones radioinducidas combinadas con el cultivo de tejidos han hecho importantes aportes a la fitotecnia e introducido nuevas técnicas para inducir la variación genética al mejorar la tecnología de selección y acelerar el proceso de reproducción.

Para IAEA (2019) la variación genética de las plantas puede ser incrementada mediante la aplicación de mutágenos físicos y químicos. Saborío *et al.* (2004) y Reyes (2006) afirman que plantas con diferentes niveles de tolerancia a las pudriciones de los cormos, han sido obtenidas mediante el empleo de irradiaciones de ápices meristemáticos con rayos gamma.

3.3 Rayos gamma

Según Rangel (s.f), la radiación gamma es de naturaleza similar a la luz visible o a las ondas de radio, la única diferencia es que tiene una longitud de onda muy corta y por tanto, un nivel de energía más alto que la luz. Mussi, Nakayama y Oviedo (2016) mencionan que debido a las altas energías que poseen los rayos gamma constituye un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa y la beta. Para Nurilmala *et al.* (2017) indica que las irradiaciones de rayos gamma se pueden usar para inducir mutación resultante de la diversidad genética que luego puede seleccionarse para obtener el mutante deseado.

Las fuentes de radiación más utilizadas según Spencer, Forster y Jankuloski (2018) son los radioisótopos ^{60}Co y ^{137}Cs . Solís (2015) indica que el irradiador gamma con cámara de irradiación utiliza fuente de irradiación basada en cobalto-60 encapsulado en pequeños cilindros de acero inoxidable, que a su vez se introducen en una vaina o lápiz también de acero inoxidable en esta forma se asegura una fuente herméticamente sellada.

3.4 Dosis de irradiación

No todos los genotipos poseen la misma radiosensibilidad a las radiaciones ionizantes y a los agentes mutagénicos en general e incluso se ha demostrado que diferentes tipos de explantes (semillas o porciones vegetativas como yemas o ápices) tienen diferentes respuestas a un mismo tratamiento mutagénico (Afza *et al.*, 1992).

Se ha demostrado que para una dosis donde aproximadamente el 50% de los explantes mueren, es donde deben aparecer el mayor número de mutaciones beneficiosa (Novak *et al.*, 1990). Según investigaciones las dosis menores pueden resultar solamente estimulantes y dosis mayores pueden ser letales o causar un número muy grande de daños, mencionado por Medero *et al.*, (s.f). De lo anterior se infiere la necesidad y el valor que tiene encontrar las curvas dosis-efecto para el tratamiento mutagénico que se decida emplear en el mejoramiento genético.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del área del estudio

Las plantas *in vitro* de Malanga Lila y Blanca se establecieron en el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales (LCTV) de la Universidad Nacional Agraria (UNA) en Nicaragua, ubicado en las coordenadas 12°08'58.3" latitud norte y 86°09'37.0" longitud oeste, se trasladaron a Cuba para ser irradiadas con rayos gamma.

La preparación de los explantes para determinar la dosis de irradiación se realizó en el laboratorio de cultivos de tejidos del Instituto de Investigación en Viandas Tropicales (INIVIT) en Santo Domingo, Cuba ubicado en las coordenadas 22°35'08.2" latitud norte y 80°13'35.2" longitud oeste.

La irradiación de los explantes con rayos gamma se realizó en el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), La Habana, Cuba, ubicado en las coordenadas 23°07'08.9" latitud norte y 82°25'28.5" longitud oeste.

Los explantes irradiados se trasladaron al LCTV de la UNA para su evaluación.

4.2. Diseño metodológico

Se estableció un diseño completamente al azar (DCA), y contó con dos factores: dosis de irradiación y cultivares, estuvo constituido por siete tratamientos y treinta observaciones por tratamiento. Los tratamientos estudiados fueron las dosis de irradiación gamma: 0 (testigo), 5, 10, 15, 20, 25 y 30 Gy (Gray).

4.3. Material vegetativo

Se utilizaron plantas *in vitro* de los cultivares Malanga Blanca y Lila, se colectaron en la comunidad La Florida, departamento de Boaco.

4.3.1. Preparación del material vegetal para la irradiación

En laboratorio de cultivo de tejidos del INIVIT se diseccionaron las plantas *in vitro* para la obtención de ápices meristemáticos y se sembraron 5 ápices meristemáticos en tubos eppendorf de 5 ml con medio de cultivo líquido MS con 4 repeticiones por dosis.

4.4. Irradiador gamma

Se utilizó el irradiador Isogamma LLCo con una fuente de Cobalto 60 y una dosis rango: 0.006xGy/h perteneciente al CEADEN donde se irradiaron los explantes. Se utilizaron las dosis 0, 5, 10, 15, 20, 25, y 30 Gy para ambos cultivares.

4.5. Traslado a medio de cultivo MS

Una vez irradiados los explantes se trasladaron al laboratorio del INIVIT se sembraron en frascos plásticos con medio de multiplicación (MS 80% y suplementado con 100 mg l⁻¹ de Inositol, 0.1 mg l⁻¹ de BAP, 10 mg l⁻¹ de vitaminas MS y 0.05 mg l⁻¹ de AIA) se colocaron en el cuarto de incubación con intensidad luminosa de 3000-5000 lux durante 6 días.

A los 30 días después de la irradiación (ddi) los explantes fueron transferidos sin cortes a un medio de multiplicación en el LCTV de la UNA.

4.6. Variables evaluadas

Las variables morfológicas se evaluaron a los 69 ddi en el LCTV en la UNA. Las variables evaluadas fueron:

- **Altura de la planta (cm):** Se utilizó papel milimetrado estéril se midió la altura de la planta a partir de la base del pseudotallo hasta la parte de la inserción del peciolo, tomando como referencia la hoja de mayor altura de la planta.
- **Número de hojas (Unidad):** Se contó el número de hojas totales por planta.
- **Número de brotes (Unidad):** Se contó el número de brotes totales por planta.
- **Número de raíces (Unidad):** Se contó el número de raíces totales por planta.
- **Porcentaje de sobrevivencia (%):** Se observaron y contabilizaron el número de explantes que sobrevivieron a cada dosis de irradiación y se calculó el porcentaje.
- **Dosis de reducción de crecimiento en 50 % (DR 50):** Se utilizaron las variables altura de planta y número brotes por poseer los coeficientes de determinación (R²) más altos. En cada variable se calculó el porcentaje de crecimiento comparando cada dosis con el testigo (dosis 0) y calculando la dosis que reducía el 50 % de crecimiento.
- **Dosis de mortalidad del 50% (DM 50):** se contabilizó las plantas sobrevivientes y se calculó la dosis que redujo la población en un 50%.

4.7 Análisis de datos

A las variables altura de la planta, número de hojas, número de brotes y número de raíces se les realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y separación de media de Fisher al 5% utilizando el programa INFOSTAT versión 2018e.

Para calcular la DR50 y DM50 se realizó un análisis de regresión lineal y se graficó el porcentaje de sobrevivencia utilizando Excel.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis de varianza de las variables morfológicas

En Malanga Lila las variables altura de planta y número de brotes presentaron diferencias significativa siendo el testigo el que presentó mayor altura (4.92 cm) y mayor brotación (3.73 unidades). En las variables número de hojas y número de raíces no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de las variables morfológicas altura de planta, número de hojas, número de brotes, número de raíces de Malanga Lila evaluadas a los 69 ddi

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Número de brotes	Número de raíces
Testigo	4.92 a	2.71 a	3.73 a	1.33 a
5Gy	3.52 b	3.30 a	2.88 ab	0.91 a
10Gy	3.19 bc	2.67 a	1.53 ab	0.62 a
15Gy	2.80 bc	2.56 a	1.14 ab	1.21 a
20Gy	2.11 c	1.44 a	1.11 ab	0.67 a
25Gy	2.40 bc	2.00 a	0.33 b	0.33 a
30Gy	2.33 bc	2.33 a	0.33 b	0.00 a
R ²	0.83	0.43	0.68	0.42
CV	16.46	31.56	63.60	85.91
P-Valor	0.0001	0.1781	0.0069	0.19

En Malanga Blanca la variable altura de planta presentó diferencia significativa donde el testigo y los tratamiento 5 y 10 Gy mostraron categorías superiores con un rango entre 5.27 a 6.17 cm de altura. En la variable número de hojas hubo diferencia significativa donde 10 Gy obtuvieron categorías superiores de 2.65 y 2.7 unidades. La variable número de brotes presentó diferencias significativas siendo el testigo el que presentó mayor cantidad de brotes con 4.38 unidades. En número de raíces hubo diferencia significativa siendo el tratamiento 5 Gy el que presentó mayor cantidad con 6.45 unidades (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza de las variables morfológicas altura de planta, número de hojas, número de brotes, número de raíces de Malanga Blanca evaluadas a los 69 ddi

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Número de brotes	Número de raíces
Testigo	5.72 a	2.70 a	4.38 a	5.00 ab
5Gy	6.17 a	2.51 ab	2.52 b	6.45 a
10Gy	5.27 a	2.65 a	2.53 b	3.57 bc
15Gy	3.64 b	1.87 bc	2.40 b	2.61 cd
20Gy	3.37 b	2.24 abc	1.88 b	2.20 cd
25Gy	3.42 b	1.77 c	1.87 b	1.80 d
30Gy	3.15 b	1.80 c	1.47 b	1.80 d
R ²	0.69	0.39	0.36	0.66
CV	20.38	23.82	53.19	39.76
P-Valor	<0.0001	0.0223	0.0356	<0.0001

Hubo efecto del factor cultivar en las variables altura de planta, número de brotes y raíces, siendo superior Malanga Blanca. Hubo efecto del factor dosis en todas las variables. La interacción cultivar*dosis no tuvo ningún efecto en altura de planta, número de hojas, número de brotes, únicamente hubo efecto en número de raíces (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza de las variables morfológicas altura de planta, número de hojas, número de brotes, número de raíces en Malanga Blanca y Lila evaluadas a los 69 ddi

Factores	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Número de brotes	Número de raíces
Cultivar	<0.0001	0.2217	0.0138	<0.0001
Dosis	<0.0001	0.0057	0.0001	0.0001
Cultivar*Dosis	0.1687	0.2247	0.8173	0.0075
R ²	0.78	0.42	0.52	0.78
CV	20.23	26.91	57.05	48.42

En este estudio Malanga Blanca con las dosis más baja 5 y 10 Gy no fueron significativamente diferentes al testigo (Cuadro 4 y 5), lo que concuerda con el estudio realizado por Blay, Offei y Danquah (2004), en *Xanthosoma sagittifolium* la dosis de 5 Gy no hubo diferencia con el testigo. Bermúdez *et al* (2016) señala que en banano cv. *Grande naine* (Musa AAA), las plantas con los tratamientos inferiores a 30 Gy no observaron diferencias significativas con el testigo, lo que refiere a que bajas dosis de radiación puede llegar a estimular el crecimiento de los tejidos, como se refleja en este estudio con la dosis 5

y 10 Gy comportándose de manera similar con el testigo en las variables de altura de planta y número de brotes.

De acuerdo con Otahola, Aray, y Antoima (2001) en el cultivar *Dendranthema grandiflora* (Ram.) las dosis 0,5 y 1,5 Krad (5 y 15 Gy) tuvieron un mayor número de hojas y crecimiento de explantes con respecto a las demás dosis, no defirieron significativamente con el testigo.

5.2 Análisis de regresión lineal de las variables morfológicas de Malanga Lila

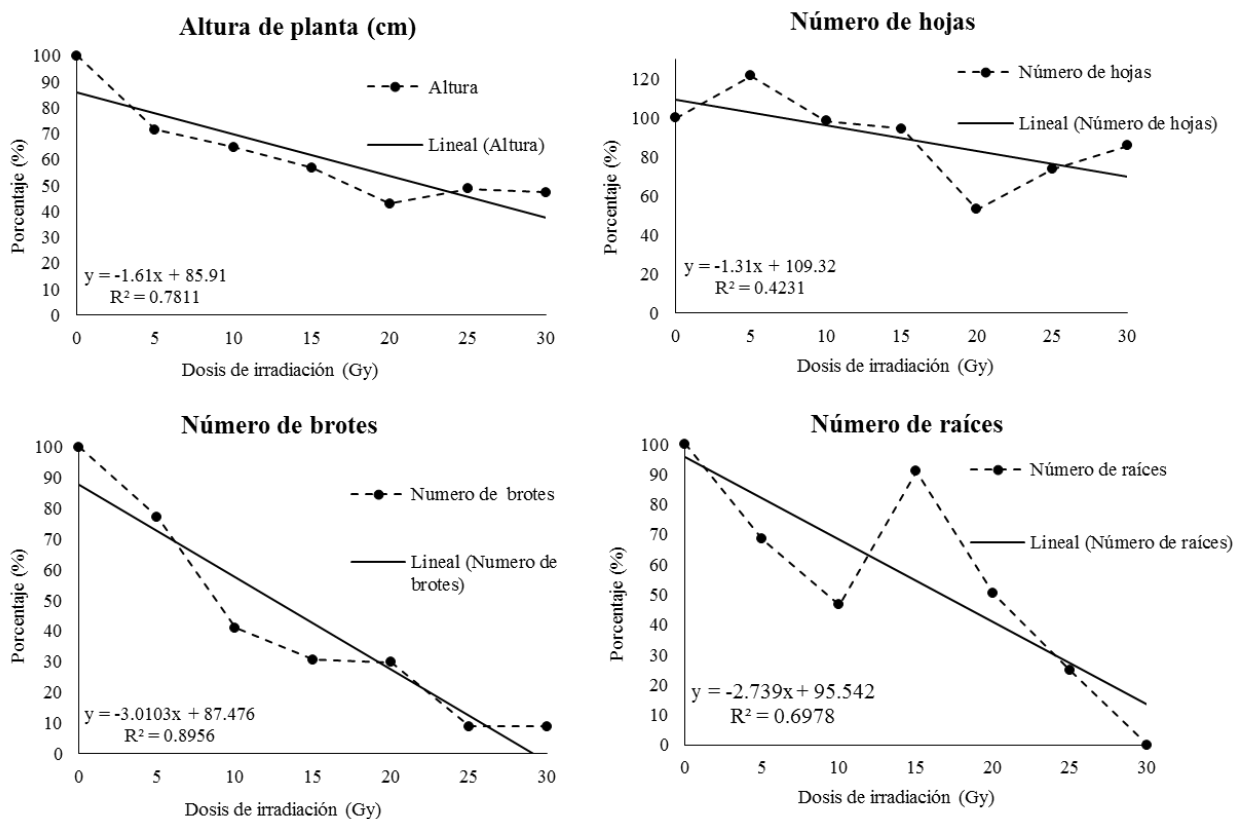


Figura 1. Análisis de regresión lineal del porcentaje con respecto al testigo y de dosis de irradiación con rayos gamma de las variables altura de planta, número de hojas, brotes y raíces de plantas de Malanga Lila.

En la figura 1 se presentan las gráficas de tendencia, ecuación de regresión lineal y Coeficiente de determinación (R^2) para cada variable morfológica evaluada del cultivar Malanga Lila. En las variables evaluadas la curva de ajuste con base a la ecuación lineal mostró una correlación negativa entre cada variable y las dosis de irradiación.

Tomando en cuenta el R^2 de cada variable altura de planta (0.7811), número de hojas (0.4231), número de brotes (0.8956), número de raíces (0.6978), se seleccionaron las variables altura de plantas y número de brotes para calcular la DR 50 por presentar el coeficiente de determinación superior al resto de variables indicando un mejor ajuste (Figura 1).

5.3 Análisis de regresión lineal de las variables morfológicas de Malanga Blanca

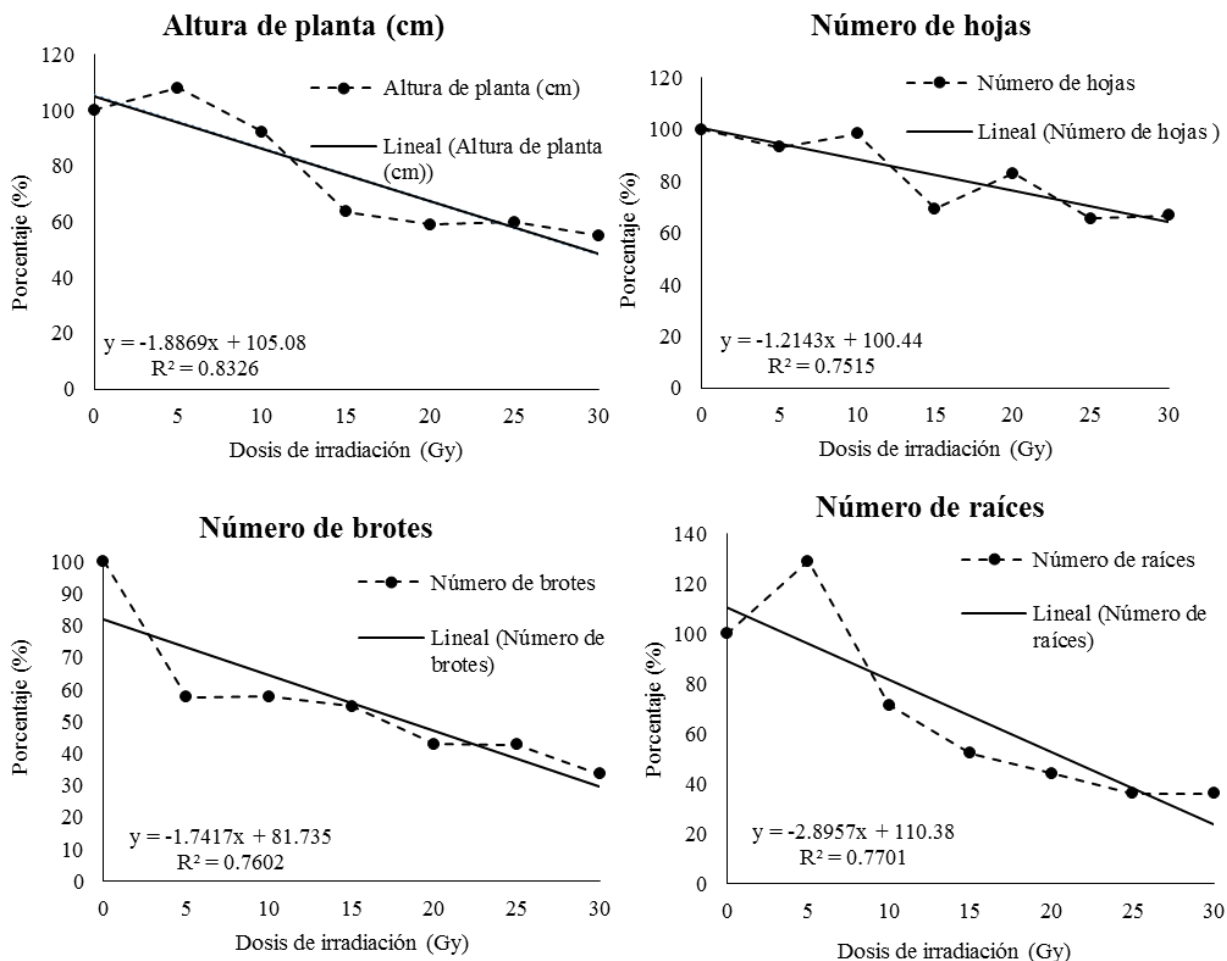


Figura 2. Análisis de regresión lineal del porcentaje con respecto al testigo y de dosis de irradiación con rayos gamma de las variables altura de planta, número de hojas, brotes y raíces de plantas de Malanga Blanca.

En la figura 2 se presentan las gráficas de tendencia, ecuación de regresión lineal y R^2 para cada variable morfológica evaluada del cultivar Malanga Blanca. En las variables evaluadas la curva de ajuste con base a la ecuación lineal mostró una correlación negativa entre cada variable y las dosis de irradiación.

Tomando en cuenta el coeficiente de determinación R^2 de cada variable altura de planta (0.8326), número de hojas (0.7515), número de brotes (0.7602), número de raíces (0.7701), se seleccionaron para calcular la DR50 las variables altura de planta y número de brotes por presentar el coeficiente de determinación superior al resto de variables indicando un mejor ajuste (Figura 2).

Robles (1986) menciona que entre las opciones para las especies de reproducción asexual, la inducción de mutaciones mediante la exposición de tejido somático a radiación ionizante puede provocar cambios en el material genético de las células y así obtener quimeras mutantes. Según Morela *et al.*, (2002) la DM50 corresponde a la cantidad de radiación absorbida con la cual sobrevive 50 % de la población que ha sido expuesta, proporción que se considera como el rango donde se favorece la aparición de mutaciones útiles en los programas de mejoramiento genético. Para González *et al.*, (2007a) en el caso de plántulas, la DM50 o dosis reductiva media (DR50) se determina cuando un carácter manifiesta una disminución de 50 % en su expresión con respecto al tratamiento testigo, pues la radicación absorbida provoca cambios en el ADN y origina mutaciones somáticas, mismas que causan alteraciones en la fisiología de la plántula.

5.4 Dosis de reducción del 50% (DR 50) de las variables altura de planta y número de brotes en Malanga Lila

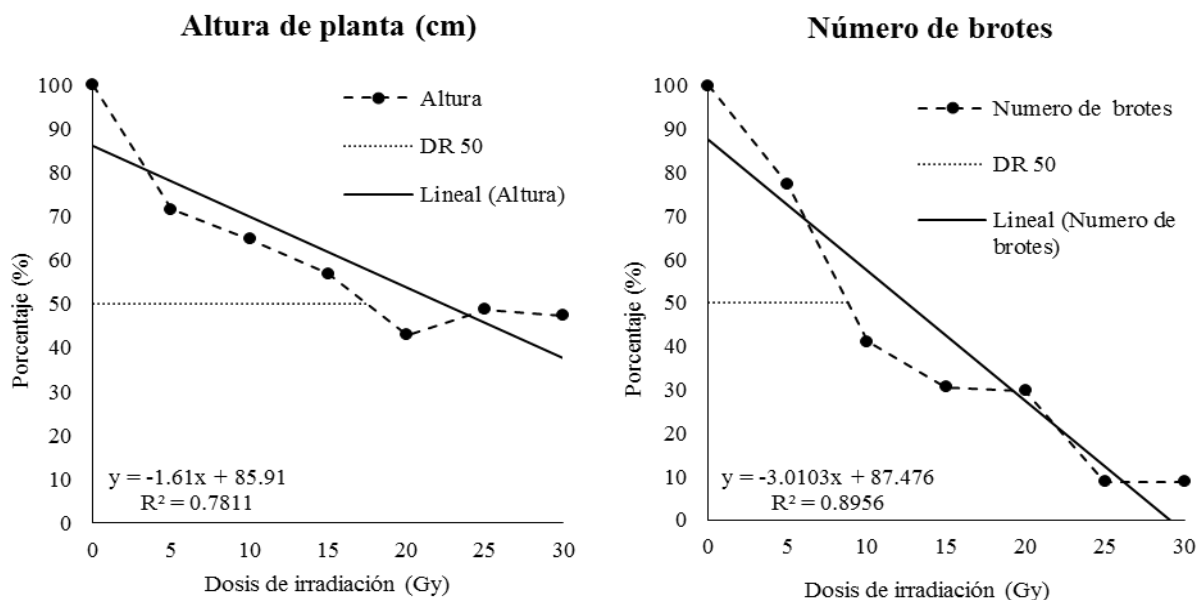


Figura 3. Dosis de reducción 50% (DR 50) con respecto al testigo en las variables altura de planta (cm) y número de brotes irradiados con diferentes dosis de rayos gamma en Malanga Lila.

Las dosis de irradiación para Malanga Lila se calcularon promediando las DR50 de las variables altura de planta (17.5 Gy) y número de brotes (8.8 Gy) y se obtuvo las dosis óptima de 13.15 Gy según Mukhtar Ali Ghanim, Spencer & Thomas (2018) es aconsejable utilizar tres dosis de irradiación las cuales deben ser $\pm 20\%$ de la dosis óptima, para Malanga Lila las dosis de irradiación obtenidas son: 10.50 (10 Gy), 13.15 (13Gy), y 15.78 (16 Gy) (Figura 3).

5.5 Dosis de reducción del 50% (DR 50) de las variables altura de planta y número de brotes en Malanga Blanca

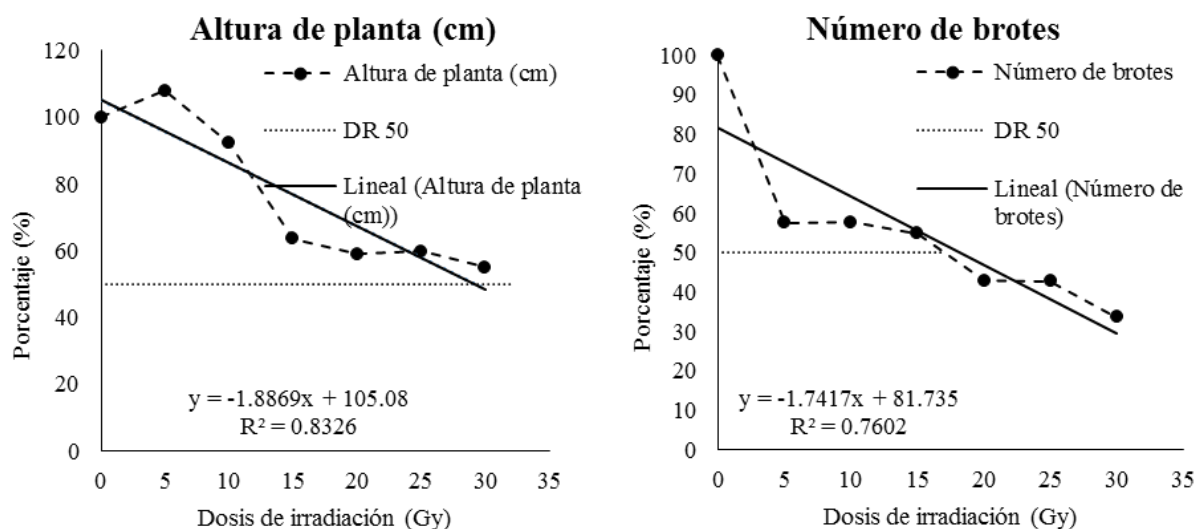


Figura 4. Dosis de reducción 50% con respecto al testigo en las variables altura de planta (cm) y número de brotes irradiados con diferentes dosis de rayos gamma en Malanga Blanca.

Las dosis de irradiación para Malanga Blanca se calcularon promediando las DR50 de las variables altura de planta (32 Gy) y número de brotes (17 Gy) obteniendo las dosis óptima de 24.5 Gy. Las dosis óptimas de irradiación calculadas a partir del $\pm 20\%$ son 19.6 (20 Gy), 24.5 (25 Gy), y 29.4 (30 Gy) (Figura 4).

González, Alemán, Garriga, Ortiz y De la Fe (2007); y Espino *et al* (2013) determinaron que en *Agave furcroides* y *Agave tequilana* la dosis reductiva media es de 20 y 25 Gy para el peso de materia fresca de callo, altura, y la inducción de brotes adventicios coincidiendo con los resultados de la investigación en Malanga Blanca.

Los resultados obtenidos en Malanga Lila y Blanca fueron similares a los estudios reportados por Latado (1993); Hernández *et al.* (2017); Otahola *et al.* (2013); y Valdez, Orellana, Veitía y Torres (2004) en los cultivos de *Crisantemo*, *Laelia autumnalis* y caña de azúcar mostrando que al incrementar las dosis de irradiación entre 10 a 30 Gy, se reduce en un 50% el crecimiento de los explantes con diferencias significativas entre el testigo. García, Bermúdez, Orellana, Veitía, García, Clavero *et al* (2000) mencionó que este comportamiento está relacionado con el efecto fisiológico y citológico que producen las irradiaciones en las células.

Berezina y Kaushanskii (1989), indican que las bajas dosis de rayos gamma estimulan cambios físicos y bioquímicos, por el contrario, altas dosis generalmente tienen efecto negativo sobre la multiplicación y regeneración de plantas, así como en la altura y desarrollo de estas ocasionando pérdida de la capacidad regenerativa o la malformación de las plantas (Chakravarty y Sen, 2001). De acuerdo con Salomón, González, Castillo y Varela (2017) al evaluar el número de tallo y la altura de las plantas en *Solanum tuberosum* observaron que los valores de estos caracteres disminuyeron con el aumento de las dosis de radiación.

Pabón (2011) en su investigación en el cultivar de *Passiflora edulis* las dosis 10, 20 y 30 Gy presentaron una tasa de crecimiento homogénea, a partir de 40 Gy se produjo una drástica afectación en el crecimiento de los explantes.

5.6 Porcentaje de sobrevivencia en los cultivares Malanga Blanca y Lila

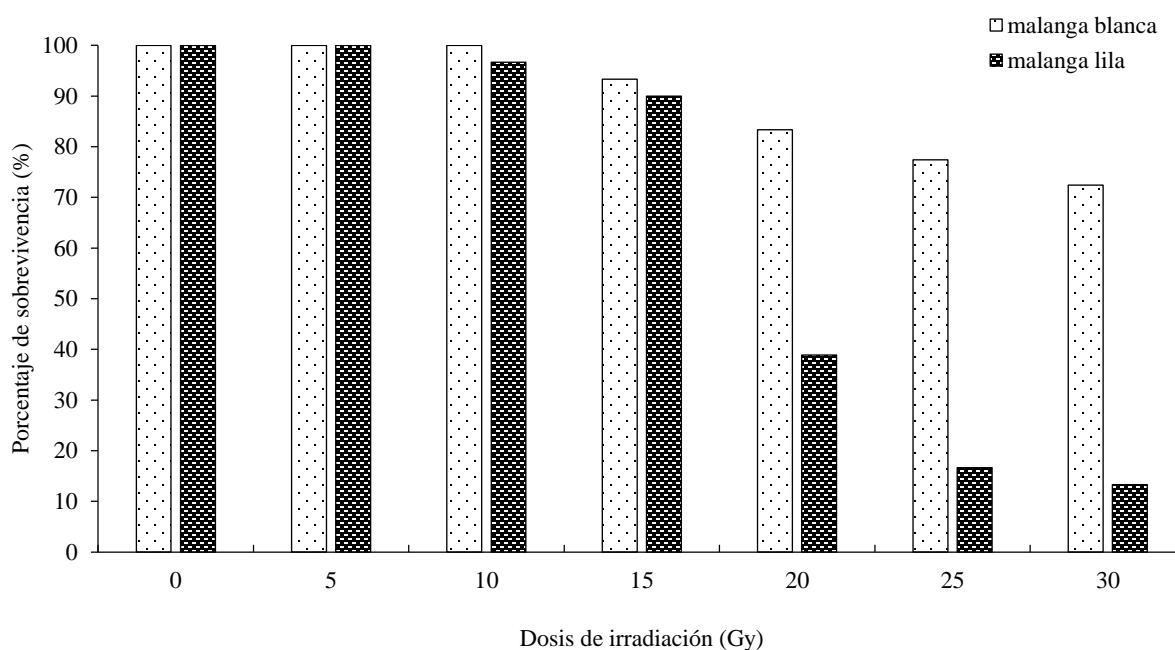


Figura 5. Efecto de la irradiación gamma sobre la sobrevivencia de Malanga Blanca y Lila, evaluada a los 69 ddi.

En Malanga Blanca el mayor porcentaje de sobrevivencia fueron el testigo y los tratamientos 5 y 10 Gy con 100 % y la más baja la dosis 30 Gy con 72.42 %. En Malanga Lila el testigo y 5 Gy registraron el mayor porcentaje de sobrevivencia 100% y la dosis 30 Gy el menor siendo 13.33% (Figura 5).

5.7 Dosis de mortalidad del 50% (DM 50) en el cultivar Malanga Lila

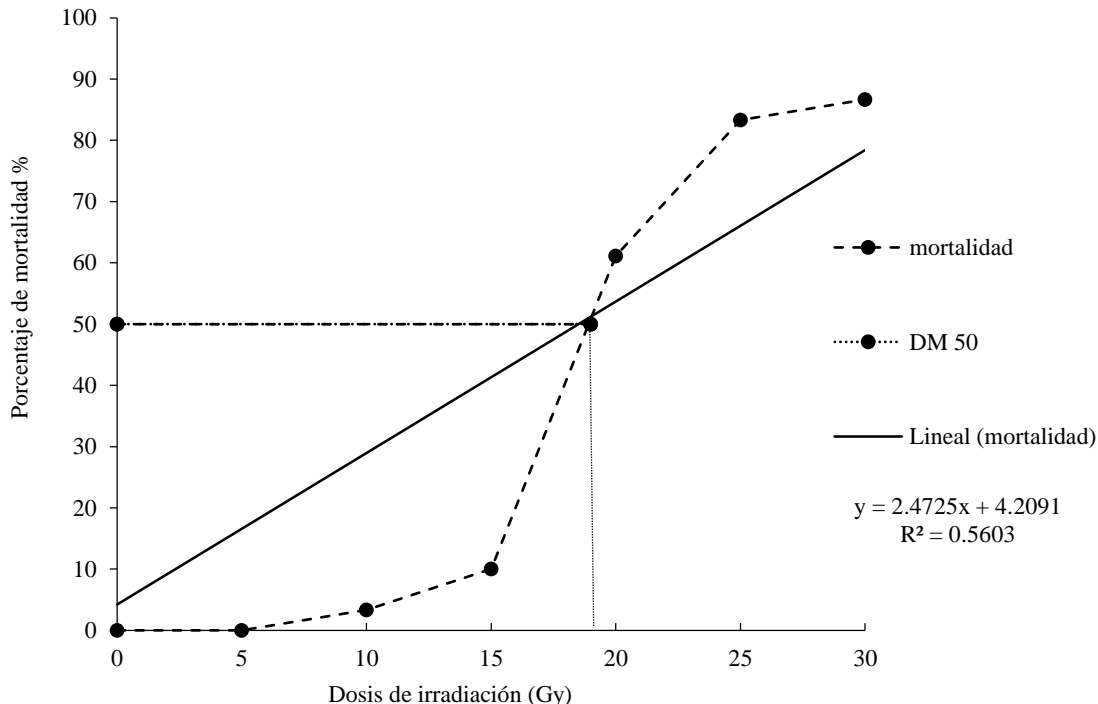


Figura 6. Dosis de mortalidad (DM 50) para el porcentaje de sobrevivencia de explantes del cultivar Malanga Lila irradiada con diferentes dosis de rayos gamma.

La dosis de mortalidad (DM 50) para el cultivar Malanga Lila fue de 19 Gy y dosis superiores a 25 y 30 Gy provocan mortalidad del 83.33 a 86.67 % de los explantes irradiados (Figura 6).

El estudio de Medero *et al* (s.f) es similar a los resultados obtenidos en el cultivar Malanga Lila, donde evaluaron tres clones de *Colocasia esculenta* irradiados con rayos gamma con dosis de 10 a 60 Gy, determinaron que la DL50 fue 20 Gy. Estrada *et al* (2011) irradiaron callos de *Polianthes tuberosa* L. con DL50 de 25.91 Gy, Veitía, García, Bermúdez, Orellana, Padrón y Torres (2007) indican que la DL50 fue de 10 Gy en papa Desirée irradiados con rayos gamma.

5.8 Dosis de mortalidad del 50% (DM 50) en el cultivar Malanga Blanca

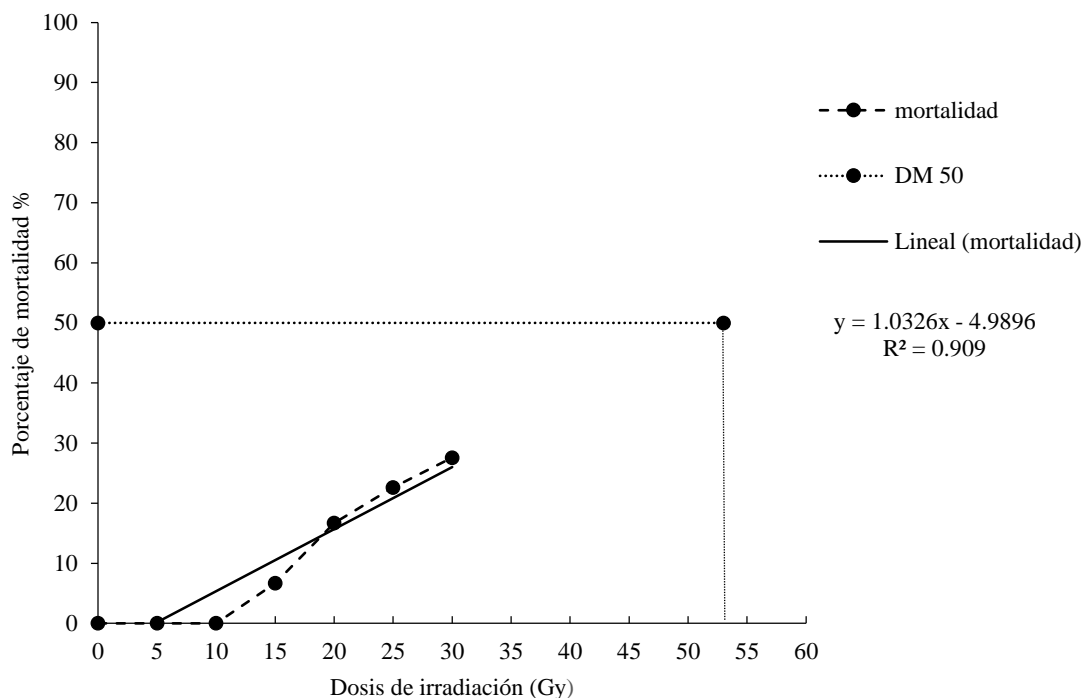


Figura 7. Dosis de mortalidad (DM 50) para el porcentaje de sobrevivencia de explantes del cultivar Malanga Blanca irradiada con diferentes dosis de rayos gamma.

La figura 7 muestra que ninguna de las dosis de irradiación utilizadas en este estudio produce la mortalidad del 50% de los explantes de Malanga Blanca. Se calculó la DM 50 utilizando la ecuación regresión lineal simple y se obtuvo que 53 Gy es la DM 50.

En el estudio de Hernández *et al* (2017) indican que en explantes de *Laelia autumnalis* irradiados con rayos gamma la dosis letal media fue 53 Gy.

Las DM 50 en Malanga Lila y Blanca fueron diferentes, para esto Medero *et al* (s.f) explica que no todos los genotipos poseen la misma radiosensibilidad a las radiaciones ionizantes y a los agentes mutagénicos se ha demostrado que diferentes tipos de explantes (semillas o porciones vegetativas como yemas o ápices) tienen diferentes respuestas a un mismo tratamiento mutagénico. Las dosis de irradiación seleccionadas para irradiar Malanga Lila y Blanca fueron diferentes, la dosis 13 Gy para Malanga Lila y 25 Gy para Malanga Blanca.

VI. CONCLUSIONES

- Hubo diferencia significativa entre dosis en el cultivar de Malanga Lila en las variables altura de planta y número de brotes siendo el testigo el que mostró los valores superiores. En el cultivar Malanga Blanca las variables altura de planta, número de brotes y número de raíces las dosis presentaron diferencias significativas, testigo, 5 y 10 Gy presentaron categorías superiores. Malanga Blanca fue superior a Malanga Lila en todas las variables evaluadas.
- En Malanga Lila el promedio de DR50 fue la dosis 13 Gy y la DM50 fue de 19 Gy. En Malanga Blanca el promedio de DR50 fue 25 Gy y para DM50 fue de 55Gy.
- Las dosis óptimas de irradiación gamma para inducir mutaciones en el cultivar Malanga Lila son 10 Gy, 13Gy, y 16 Gy y para el cultivar Malanga Blanca 20 Gy, 25 Gy y 30 Gy.

VII. RECOMENDACIONES

- Caracterizar morfológicamente las plantas irradiadas bajo las dosis seleccionadas.
- Evaluar el comportamiento de las plantas en condiciones de invernadero y campo para determinar su tolerancia a factores bióticos y abióticos características fisiológicas y productivas.
- Dar seguimiento a los cultivares de Malanga Lila y Blanca tratados con irradiación gamma y determinar los niveles de ploidía de cada tratamiento a través de citometría de flujo y conteo de cromosomas y determinar si se obtuvieron nuevas variantes genéticas.

VIII. LITERATURA CITADA

- ADDAC. (2009). *Análisis de la Cadena de Valor de Malanga Rancho Grande, Matagalpa, Nicaragua*. Recuperado de [http://addac.org.ni/files/attachments/documentos/Analisis_cadena_malanga .pdf](http://addac.org.ni/files/attachments/documentos/Analisis_cadena_malanga.pdf)
- Afza, R., Brunner, H., y Hu, X. (28 de August, 1992). *Mutation induction and related techniques for cassava breeding*. Proceeding CBN First international Scientific Meeting of the Cassava Bio. Network Colombia, p.122.
- Arróliga Araica, L. y Blandón Ruíz, N. (2015). *Evaluación del comportamiento agronómico de ocho variedades de malanga (Colocasia esculenta) en las condiciones edafoclimáticas, Finca Buena Vista, comunidad El Tepeyac; departamento de Matagalpa, I Semestre 2015* (Tesis de pregrado). Recuperada de <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Asociación Pueblos en Acción Comunitaria (APAC). (2004). *Guía Técnica del Cultivo de Malanga*. Nicaragua. 120 pág.
- Atúnez Campo, O., Cruz Izquierdo, S., Santacruz-Varela, A., Mendoza-Onofre, L., De la Cruz-Torres y E., Peña-Lomelí, A. (2017). Variabilidad inducida en caracteres fisiológicos de *Physalis peruviana* L. mediante rayos gamma ⁶⁰Co aplicados a la semilla. *Fitotécnica Mexicana*, 40(2). Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/610/61051413012/html/index.html>
- Babaei, A. (2010). Análisis de diversidad genética del mutante de arroz (*Oryza sativa* L.) a través del marcador RAPD. *American-Eurasia J. Agric. Reinar. Sci*, 8, 452-456.
- Blay, E.T., Offei, E.Y., y Danquah. (2004). Improvement of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) using gamma irradiation and tissue culture. *IAEA*, 127-130.
- Bermúdez Carballoso, I., Rodríguez, M., Reyes, M., Gómez Kosky, R., Chong Pérez, B., y Rivero, L. (2016). Mutagénesis *in vitro* en suspensiones celulares embriogénicas de banano cv. *Grande naine* (*Musa AAA*). *Biotecnología Vegetal*, 16(2), 103-111. Recuperado de <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/515/pdf>
- Calva, G. C. (2005). Cultivo de células y tejidos vegetales: Fuente de alimentos para el futuro. *Revista Digital Universitaria*, 6(11), 2-16.
- Centro de trámite de las exportaciones (CETREX). (2017). *Exportaciones autorizadas periodo: enero- diciembre 2013-2014*. Recuperado de <http://www.cetrex.gob.ni/website/servicios/tproduc14.html>
- Chakravarty, B., Sen, S. (2001). Enhancement of regeneration potential and variability by gamma irradiation in cultured cells of *Scilla indica*. *Biología Plantarum*, 44(2), 189-193. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/226429622_Enhancement_of_Regeneration_Potential_and_Variability_by_g-Irradiation_in_Cultured_Cells_of_Scilla_Indica

- Chopra. (2005). Mutagenesis: Investigating the process and processing the outcome for crop improvement. *Curr. Sci*, 89(2), 353- 359.
- Enríquez Juárez, D. Y., y Mairena Úbeda, E. N. (2011). *Efecto de dos condiciones de humedad del suelo y tiempo de cosecha sobre el rendimiento de malanga (Colocasia esculenta L. Schott) para exportación Boaco-Nicaragua 2011* (Tesis de pregrado). Recuperada de <http://repositorio.una.edu.ni/2140/1/tnp33e59.pdf>
- Espino, A., Valencia, A., Virgen, G., Ramírez, C., Paredes, L., y Hurtado, S. (2013). Determinación de la dosis letal (DL 50) con Co 60 en vitroplántulas de *Agave tequilana* var. Azul. *Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 381-386. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n4/v36n4a3.pdf>
- Estrada Basaldúa, J.A., Pedraza Santos, M.E., De la Cruz Torres, E., Martínez Palacios, A., Sáenz Romero, C., y Morales García, J.L. (2011). Efecto de rayos gamma ^{60}CO en nardo (*Polianthes Tuberosa* L.) *REMEXCA*, 445-458.
- García, L., Bermúdez, I., Orellana, P., Veitía, N., García L., Clavero, J., y Romero, C. (2000). Inducción de mutaciones por radiaciones Gamma en el cultivo *in vitro* de brotes del cultivar Gran Enano (AAA). *Biotecnología Vegetal*, 1, 45-50.
- Gálvez Guerra, D., Cabrera Jova, M., Beovides García, Y., Robaina Jiménez, A., Rodríguez Morales, S., y Rodríguez Pérez, D. (2013). Establecimiento in vitro de yemas axilares del clon de *Colocasia esculenta* Schott 'INIVIT MC-2001'. *Biotecnología Vegetal*, 13(2), 1-7. Recuperado de <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/rt/printerFriendly/103/467>
- González, A. (2011). *Conjunto tecnológico para la producción de Raíces y Tubérculos*. Mayagüez, Puerto Rico: Recinto Universitario de Mayagüez.
- González, H., Del Real, J., y Solís, J. (2007b). *Manejo de Plagas del Agave Tequilero*. Ed. Colegio de Postgraduados y Tequila Sauza, S.A de C.V. 123 p.
- González Oramas, G., Alemán García, S., Garriga, M., Ortíz, R., & De la Fe, C. (2007). Radio Sensivity to gamma rays (^{60}CO) in shoot tips of henequen. *Biotecnología Vegetal*, 7(2), 115-117.
- Hernández Téllez, S.A., y Bustamante López, S.N. (2017). *Morfología y rendimiento de 32 genotipos introducidos y ocho naturalizados de malanga (Colocasia esculenta (L.) Schott.) en Nicaragua, El Plantel-UNA, 2014* (Tesis de pregrado). <http://repositorio.una.edu.ni/3566/1/tnf30h557m.pdf>
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2019). *Inducción de mutaciones*. Recuperado de <https://www.iaea.org/es/temas/induccin-de-mutaciones>

- Hernández Muñoz, S., Pedraza Santos, M.E., López, A., De la Cruz Torres, E., Fernández Pavía, S., Martínez Palacios, A., y Martínez Trujillo, M. (2017). Determinación de la DL 50 y GR50 con rayos gamma (^{60}CO) en protocormos de *Laelia autumnalis in vitro*. *Agrociencia*, 51(5).
- Iyas, S., y Naz, S. (2014). Effect of Gamma irradiation on morphological characteristics and isolation of curcuminoids and oleoresins of cúrcuma longa L. *J Anim Plant Sci*, 24(5), 1396-1404.
- Jiménez, E., y De Feria, M. (1998). Empleo de biorreactores para la propagación masiva. En: *Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología*. En J. Pérez (Ed.), Instituto de Biotecnología de las Plantas (pp. 207-222). Santa Clara, Cuba: Universidad Central de las Villas.
- Kulkarni, V.M., Ganapathi, T.R., Bapat, V.A., Rao, P.S. (2004) Establishment of cell-suspension cultures in banana cv. *Grand Naine* and evaluation of its sensitivity to Gamma-irradiation. *Curr Sci*, 86, 902-904. Recuperado de https://www.academia.edu/2667341/Establishment_of_cellsuspension_cultures_in_banana_cv_Grand_Naine_and_evaluation_of_its_sensitivity_to_gamma-irradiation
- Lata, P. (1980). Effect of ionizing on roses: Induction of somatic mutations. *Environmental and experimental Botany*, 20, 325-333.
- Latado, R. y Tulmann Neto, A. (1993). Inducao e uso de mutacoes “in vitro” no melhoramento do *Chrysanthemum morifolium* Ram. Dissertacao apresentada a Escola Superior na Agricultura “Luis de Queiroz” da Universidade de Sao Paulo para obtecao do título e Mestre en Agronomía, Área de concentracao: Genética e Melhoramento de plantas Piracicaba. Estado de Sao Paulo, Brasil. 102 pp.
- Lemus, Yrasema., Méndez, J.R., Cedeño, J.R., y Otahola, V. (2002). Radiosensibilidad de dos genotipos de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) a radiaciones gamma. *UDO Agrícola*. 2(1), 22-28. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2221413>
- León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales* (3^{ra} ed.). San José, Costa Rica: IICA.
- López Zada, m., Vázquez Becalli, E., y López Fleites, R. (1984). *Raíces y Tubérculo*. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
- Lozada Barrera, A.F. (2005). Producción del cultivo de papa china (*Colocasia esculenta* L. Schott) utilizando dos métodos de propagación asexual bajo cuatro niveles de fertilización orgánica. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5423/4/T-ESPE-IASA%20I-002856.pdf>
- Martirena-Ramírez, A., Veitía, N., García, L. R., Collado, R., Torres, D., Rivero, L., y Ramírez-López, M. (2018). Dosis óptima de radiaciones Gamma para la regeneración de plantas in vitro de *Phaseolus vulgaris* L. cultivar ‘BAT-93’. *Biotecnología Vegetal*, 18(1), 21-29. Recuperado de <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/572>

- Mayo, S. J., Bogner, J., y Boyce, P.C. (1997). *The Genera of Araceae*. Belgium: Continental Printing.
- Medero Vega, V., López Torres, J., Ventura Martín, J., Basail Pérez, M., Rayas Cabrera, A., Santos Pino, A., Beovides García, Y., Rodríguez Pérez, D., Torres Delgado, M., y Bravo Corrales, Y.(s.f). *Determinación de la dosis letal media in vitro para la inducción de mutaciones en malanga Colocasia*. Villa Clara, Cuba: INIVIT. Recuperado de <http://ediciones.inca.edu.cu/files/congresos/2014/CD/memorias/ponencias/talleres/MCF/ra/MCF-O.19.pdf>
- MINAG. (2011). *Instructivo técnico del cultivo de la malanga*. La Habana, Cuba, pp.1-3.
- Montaldo, A. (1972). *Cultivos de raíces y tubérculos tropicales*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Lima, Perú, 185-189.
- Morela, F. V., González, L., y Castro. (2002). Efecto de la radiación Gamma sobre la diferenciación de plantas de caña de azúcar a partir de callos. *Agron. Trop*, 52, 311-323.
- Mussi, C., Nakayama, H., y Oviedo, R. (2016). Variabilidad fenotípica en poblaciones M₁ de sésamo (*Sesamum indicum* L.) irradiado con rayos gamma. *INCA*, 37(1), 74-80. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v37s1/ctr10s116.pdf>
- Novak, F., Azfa, R., Van Duren, M., y Omar, M. (January, 1990). Mutation induction by Gamma irradiation of *in vitro* cultured shoot-tips of bananas and plantains (Musa cvs.). *Tropical Agriculture*, 67(1), 21-28.
- Nurilmala, F., Pemimpin Hutagaol, R., Manik Widhiyastini, I., Widyastuti., & Suharsono. (2017). Somaclonal variation induction of Bogor taro (*Colocasia esculenta*) by gamma irradiation. *Biodiversitas*, 18(1), 28-33.
- Otahola Gómez, V., Aray, M., y Antoima, Y. (2001). Inducción de mutantes para el color de la flor en crisantemos (*Dendrathera grandiflora* (Ram.)). *UDO Agrícola*, 1(1), 56-63. Recuperado de <http://www.bioline.org.br/pdf?cg01009>
- Pabón Calderón, L.A. (2011). *Inducción de mutaciones mediante radiaciones gamma de Passiflor edulis* Sim var. edulis) (Tesis de posgrado). Recuperada de <http://bdigital.unal.edu.co/5312/1/01190349.2011.pdf>
- Pérez Ponce, J.N. (1998). *Propagación y Mejora Genética de plantas por Biotecnología*. Santa Clara, Cuba: Instituto de Biotecnología de las Plantas.
- Pérez, P.J. (1998). *Mutagénesis in vitro*. En: Pérez JP (Ed) *Propagación y Mejora Genética de las Plantas por Biotecnología*, IBP. Santa Clara. 229-311 pp.
- Plana D. 1996. *Evaluación de la radiosensibilidad de tres variedades de tomate*. (Tesis de diploma). ISAAC, Universidad de La Habana. La Habana, Cuba.
- Prado Ramírez, J. (2018). *Mejoramiento genético mediante inducción de mutaciones*:

- Radiaciones* café. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/371375931/Mejoramiento-Genetico-Mediante-Induccion-de-Mutaciones>
- Quintero, S., y Rodríguez, A. (2005). *La producción de “semilla” (Xanthosoma spp.) como medio de combate del virus del mosaico de la malanga (DsMV)*. X Jornada Científica del INIFAT, La Habana, Cuba.
- Ramírez, D., Ordaz, J.L., Mora, J., y Acosta, A. (2010). *Nicaragua efectos del cambio climático sobre la agricultura*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/269633059_Nicaragua_efectos_del_cambio_climático_sobre_la_agricultura
- Rangel Urrea, W. (s. f). *Aplicación de la irradiación gamma*. ININ. Recuperado de <http://inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Aplicacion%20de%20la%20irradiacion.pdf>
- Reyes Castro, G. (2006). *Studies on cocoyam (Xanthosoma spp.) in Nicaragua, with emphasis on Dasheen mosaic virus*. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae.
- Reyes, G., y Aguilar, M. (2005). *Reproducción acelerada de semillas de quequisque (Xanthosoma sp) y malanga (Colocasia sp)*. Universidad Nacional Agraria. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/2413/1/nf03r456.pdf>
- Rivers Carcache, E.M. (2007). *Incidencia del virus del mosaico del dasheen (DsMV) y producción de plantas libres del virus en malanga (Colocasia spp.)* (Tesis de pregrado) Recuperada de <http://repositorio.una.edu.ni/2025/1/tnh20r622.pdf>
- Robles, S.R. (1986). *Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico*. 1ª ed. Ed. Limusa Wiley. 475 p.
- Rodríguez, C., Pérez Ponce, J., y Fuchs, A. (1995). *Mejora de plantas*. La Habana, Cuba: Félix Varela.
- Rodríguez, C., Pérez Ponce, J., y Fuchs, A. (1981). *Genética y Mejoramiento de las plantas*. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
- Saborío, F., Umaña, G., Solano, W., Amador, P., Muñoz, G., Valerin, A., Torres, A., y Valverde, R. (2004). *Induction of genetic variation in Xanthosoma spp*. In: Genetic improvement of underutilized and neglected crops in low income food deficit countries through irradiation and related techniques. (Eds. International Atomic Energy Agency). Vienna, Austria. pp. 143- 154.
- Salomón, J., González, M., Castillo, J., y Varela, M. (2017). *Comportamiento de “Barna, cultivar de papa (Solanum tuberosum L.) ante diferentes dosis de rayos gamma de fuente*

cobalto 60. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 127-130. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000400001

Solís Alcántara, N. (2015). *Elaboración de un modelo analítico para la determinación de cobalto 60(⁶⁰Co) en muestras acuosas mediante técnicas de absorción atómica y espectrometría gamma* (Tesis de pregrado). Recuperada de <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/47/087/47087234.pdf?r=1&r=1>

Spencer-Lopes, M.M., Forster, B. P., & Jankuloski, L. (2018). *Manual on Mutation Breeding* (3^{er} Ed.), Vienna, Austria: FAO/IAEA.

Spencer-Lopes, M.M., Forster, B. P., & Jankuloski, L. (2018). *Manual on Mutation Breeding* (3^{er} ed.). En A. Mukthar Ali Ghanim (Eds.), *Mutation breeding in seed propagated crops: Parental selection, mutant generation development, mutation detection, mutant evaluation and factors influencing success* (pp.119-155). Vienna, Austria: FAO/IAEA.

Valdez Balero, A., Orellana Pérez, P., Veitía Rodríguez, N., y Torres Rodríguez, D. (2004). Crecimiento, regeneración y radiosensibilidad de callos de caña de azúcar (*Saccharum spp.* híbrido var. “SP 70-1284”) tratados con radiación gamma fuente⁶⁰ CO. *Bioteología Vegetal*, 4(3), 165-169.

Veitía, N., García, L., Bermúdez Carballoso, I., Orellana, P., Padrón, Y., y Torres, D. (2007). Efecto de las radiaciones gamma sobre callos de papa var. “Desirée”. *Bioteología Vegetal*, 7(1), 57-61.

Villalta Cano, F.R. (2011). *Impacto socioeconómico del cultivo de malanga (Colocasia esculenta) en las familias productoras del Municipio El Tuma-La Dalia periodo 2008-2009* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Matagalpa, Nicaragua.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Explantes de Malanga Blanca a los 69 ddi de las dosis a= Testigo b= 5c= 10 d=15 e= 20 f=25 g=30 Gy





Anexo 2. Explantes de Malanga Blanca y Malanga Lila los 69 ddi a= Todas las dosis de irradiación en MB b= Todas las dosis de irradiación ML.



Anexo 3. Explantes de Malanga Lila a los 69 ddi de las dosis a= Testigo b=5 c= 10 d=15 e= 20 f=25 g=30 Gy

