



Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Trabajo de tesis**

**Cambios morfológicos de cultivares de  
malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) en  
etapa de multiplicación *in vitro* e invernadero  
irradiados con rayos gamma**

**Autor**

**Br. Ronald Jesús González Padilla**

**Asesores**

**MSc. Rosario del Socorro García Loáisiga**  
**MSc. Heeidy Guadalupe Corea Narváez**  
**PhD. Guillermo del Carmen Reyes Castro**

Presentando a la consideración del honorable comité  
Evaluador como requisito final para optar al grado de  
Ingeniero Agrónomo

**Managua, Nicaragua**  
**Noviembre, 2023**

## 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:

***Ingeniero Agrónomo***

---

Miembros del Tribunal Examinador

---

Presidente  
MSc. Roxana Yadira Cruz  
Cardona

Secretario  
MSc. Isaías Ezequiel Sánchez  
Gómez

---

Vocal  
Ing. Harlem Tania Ríos Peralta

Lugar y Fecha: \_\_\_\_\_

## **DEDICATORIA**

A mi padre Ronald José González Bendaña (Q.E.P.D) por su apoyo en mi formación académica en primaria y secundaria, en mi formación como persona y por ser una inspiración para seguir adelante.

A mi madre Sandra del Rosario Padilla Zamora por su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, por regalarme la vida, por sus sacrificios, fortaleza y apoyo económico para llegar a este punto de culminación de mi carrera.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida con salud, por las bendiciones recibidas y todas las adversidades que he logrado pasar en el transcurso de la carrera, por la protección y voluntad que me ha brindado para seguir adelante.

A mis padres Ronald José González Bendaña (q.e.p.d) y Sandra del Rosario Padilla Zamora, por su apoyo económico y emocional, por guiarme por un correcto camino.

A mis asesoras MSc. Rosario García Loáisiga y MSc. Heeidy Corea Narváez, por brindar su tiempo, esfuerzo, dedicación y paciencia en el proceso de aprendizaje, siempre con mucho respeto y admiración, por la oportunidad de aceptarme a formar parte del proyecto que tienen a cargo, por guiarme en la culminación de la tesis para graduarme como ing. Agrónomo.

A mi ex compañero de tesis Enil Javier Martínez Martínez por su apoyo como compañero y amigo en el proceso de inicio de este trabajo, por su perseverancia y esfuerzo.

A mis compañeros de carrera por brindarme su amistad, por aprender cada día algo nuevo gracias a ellos, por todos los recuerdos y experiencias adquiridas a lo largo de los cinco años.

A la Universidad Nacional Agraria como alma mater que siempre me brindó todas las herramientas necesarias en la formación académica, sus profesores, trabajadores administrativos y demás que siempre estuvieron en disposición de ayudar.

Ronald Jesús González Padilla

## ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
<b>DEDICATORIA</b>	i
<b>AGRADECIMIENTO</b>	ii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	iii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	vi
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	viii
<b>RESUMEN</b>	ix
<b>ABSTRACT</b>	x
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II OBJETIVOS</b>	3
2.1    Objetivo general	3
2.2    Objetivos específicos	3
<b>III MARCO DE REFERENCIA</b>	4
3.1    Colocasia esculenta	4
3.2    Importancia del cultivo	4
3.3    Cultivares de malanga a estudiar	4
3.3.1    Malanga Lila	4
3.3.2    Malanga Blanca	5
3.4    Reproducción asexual	5
3.5    Propagación <i>in vitro</i>	5
3.6    Mejoramiento genético inducido	6
3.7    Rayos gamma	7
3.8    Quimeras	7
3.9    Irradiador gamma con cámara de irradiación	8
3.10    Dosis de irradiación	8
3.11    Mutación	8
<b>IV MATERIALES Y MÉTODOS</b>	9
4.1    Ubicación del estudio	9
4.2    Material vegetal	9
4.3    Diseño experimental	9
4.4    Irradiador de rayos gamma	9
4.5    Dosis de irradiación	10
4.6    Medios de cultivo <i>in vitro</i>	10
4.7    Etapa de multiplicación <i>in vitro</i>	10
4.8    Etapa de invernadero	10
4.8    Variables evaluadas <i>in vitro</i>	11
4.8.1    Variables morfológicas evaluadas en etapa de invernadero después de trasplante	11
4.9    Análisis de datos	12
<b>V RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	13
5.1    Número de líneas por dosis en etapa <i>in vitro</i>	13
5.2    Promedio de plantas por líneas en etapa <i>in vitro</i>	14
5.3    Tasa de Multiplicación de MB15	15
5.4    Tasa de Multiplicación de MB20	16

5.5	Tasa de Multiplicación de ML10	17
5.6	Tasa de Multiplicación de ML15	18
5.7	Forma de la hoja de plantas irradiadas con rayos gamma de malanga Lila aclimatadas en invernadero	20
5.8	Forma de la hoja de plantas irradiadas con rayos gamma de malanga Blanca aclimatadas en invernadero	21
5.9	Altura de la planta y número de hojas evaluadas en invernadero	23
<b>VI</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	27
<b>VII</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	28
<b>VIII</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	29
<b>IX</b>	<b>ANEXOS</b>	33

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Variables evaluadas en la etapa <i>in vitro</i> en plantas de malanga Lila y malanga Blanca irradiadas con rayos gamma, establecidas en el laboratorio de cultivos de tejidos de la UNA	11
2.	Forma de la hoja, lóbulos, ápices y otras características de las hojas de malanga Lila y malanga Blanca de plantas irradiadas con rayos gamma evaluadas en la etapa de invernadero a los dos meses después de aclimatadas	11
3.	Variables morfológicas evaluadas en la etapa de invernadero a los 12 meses después de aclimatadas en plantas de malanga Lila y malanga Blanca irradiadas con rayos gamma y establecidas en 2021	12
4.	Análisis de varianza no paramétrica según Krustal Wallis, medias y categorías estadísticas de altura de plantas (cm) y número de hojas de malanga Lila con las dosis de irradiación 10 y 15 Gy y evaluados a los 12 meses después de la aclimatación	23
5.	Análisis de varianza no paramétrica según Krustal Wallis, medias y categorías estadísticas de altura de plantas (cm) y número de hojas de malanga Blanca con las dosis de irradiación 15 y 20 Gy y evaluados a los 12 meses después de la aclimatación	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Planta y cormelo de malanga lila	4
2. Planta y cormelo de malanga blanca	5
3. Irradiador isogamma LL-Co con fuente de Cobalto 60 (Co <sup>60</sup> ) utilizado para la irradiación en masa de vitroplantas de malanga Lila y Blanca en el centro Nacional de Estudios Aplicados a la Energía Nuclear	9
4. Hojas de plantas de malanga testigos utilizadas como referencia para comparar con plantas irradiadas con rayos gamma. a. malanga Lila y b. malanga Blanca	12
5. Número de líneas en las etapas de multiplicación M <sub>1</sub> V <sub>1</sub> - M <sub>1</sub> V <sub>5</sub> de: a Malanga Blanca irradiada con 15 y 20 Gy de rayos gamma y b de Malanga Lila irradiada con 10 y 15 Gy de rayos gamma	13
6. Promedios de plantas por línea en las etapas de multiplicación M <sub>1</sub> V <sub>1</sub> - M <sub>1</sub> V <sub>5</sub> en malanga Blanca irradiada con 15 y 20 Gy de rayos gamma y en malanga Lila irradiada con 10 y 15 Gy de rayos gamma	14
7. Número de brotes por línea de malanga Blanca irradiada con 15 Gy de rayos gamma en las etapas de multiplicación a: M <sub>1</sub> V <sub>2</sub> , b: M <sub>1</sub> V <sub>3</sub> , c: M <sub>1</sub> V <sub>4</sub> , d: M <sub>1</sub> V <sub>5</sub>	16
8. Número de brotes por línea de malanga Blanca irradiada con 20 Gy de rayos gamma en las etapas de multiplicación a: M <sub>1</sub> V <sub>2</sub> , b: M <sub>1</sub> V <sub>3</sub> , c: M <sub>1</sub> V <sub>4</sub> , d: M <sub>1</sub> V <sub>5</sub>	17
9. Número de brotes por línea de malanga Lila irradiada con 10 Gy de rayos gamma en las etapas de multiplicación a: M <sub>1</sub> V <sub>2</sub> , b: M <sub>1</sub> V <sub>3</sub> , c: M <sub>1</sub> V <sub>4</sub> , d: M <sub>1</sub> V <sub>5</sub>	18
10. Número de brotes por línea de malanga Lila irradiada con 15 Gy de rayos gamma en las etapas de multiplicación a: M <sub>1</sub> V <sub>2</sub> , b: M <sub>1</sub> V <sub>3</sub> , c: M <sub>1</sub> V <sub>4</sub> , d: M <sub>1</sub> V <sub>5</sub>	19
11. Formas de la hoja de plantas <i>in vitro</i> irradiadas con rayos gamma de malanga Lila evaluadas en invernadero: a: hoja de la línea ML15-7; con lóbulos resaltados; b: hoja de la línea ML15-7 de forma pandurada; c: hoja de la línea ML15-8	20
12. Formas de la hoja de plantas <i>in vitro</i> irradiadas con rayos gamma de malanga Lila evaluadas en invernadero: a. hojas involuta de la línea ML15-14; b. hojas involutas de la línea ML15-16; c. hojas con nervaduras hacia un lado de la lámina de la línea ML15-43; d. hojas de la línea ML15-43 con lóbulos poco pronunciados	20

13.	Formas de la hoja de plantas <i>in vitro</i> irradiadas con rayos gamma de malanga Blanca evaluadas en invernadero: a. hoja de la línea MB15-16; c. hoja de la línea MB15-23; d. hoja de la línea MB15-54	21
14.	Formas de la hoja de plantas <i>in vitro</i> irradiadas con rayos gamma de malanga Blanca evaluadas en invernadero: a. hoja de la línea MB20-10; b. hoja de la línea MB20-12; c. hoja de la línea MB20-18	21
15.	Formas de la hoja de plantas <i>in vitro</i> irradiadas con rayos gamma de malanga Blanca evaluadas en invernadero: a. hoja de la línea MB20-34; b. hoja de la línea MB20-44	22
16.	Formas de la hoja de plantas <i>in vitro</i> irradiadas con rayos gamma de Malanga Blanca evaluadas en invernadero: a. hoja de la línea MB20-44; b. hoja de la línea MB20-50	22

---

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Líneas y tasa de multiplicación del número de brotes producidos en cada etapa $M_1V_2$ - $M1V5$ de plantas <i>in vitro</i> de malanga Lila ML10 irradiadas con rayos gamma	33
2.	Líneas y tasa de multiplicación del número de brotes producidos en cada etapa $M_1V_2$ - $M1V5$ de plantas <i>in vitro</i> de malanga Lila ML15 irradiadas con rayos gamma	34
3.	Líneas y tasa de multiplicación del número de brotes producidos en cada etapa $M_1V_2$ - $M1V5$ de plantas <i>in vitro</i> de malanga Blanca MB15 irradiadas con rayos gamma	35
4.	Líneas y tasa de multiplicación del número de brotes producidos en cada etapa $M_1V_2$ - $M1V5$ de plantas <i>in vitro</i> de malanga Blanca MB20 irradiadas con rayos gamma	36

## RESUMEN

La malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) es miembro de la familia Araceae y originaria del sureste de Asia entre la India e Indonesia, del cual se consumen los cormos, se desconoce el período en que fue introducida la malanga en Nicaragua. El cambio climático global y la falta de lluvias en la región podría provocar que las áreas que se están utilizando para el cultivo de malanga; en unos años no sean aptas para el mismo, no existen cultivares resistentes a condiciones de sequía. En el presente estudio se evaluó los cambios morfológicos de cultivares de malanga Lila y Blanca irradiadas con rayos gamma en etapa de multiplicación *in vitro* e invernadero. A las plantas *in vitro* irradiadas con dosis 10 y 15 Gy en malanga Lila y en malanga Blanca con dosis de 15 y 20 Gy, se evaluó número de líneas, promedio de plantas por línea y tasa de multiplicación. A las plantas establecidas en invernadero se les evaluó a los dos meses después de la siembra (mds) altura de planta, variables morfológicas (base, ápice, lóbulos, bordes, nervadura, tamaño, coloración) y número de hojas. En cada multiplicación *in vitro*, el número de líneas de malanga Lila y Blanco se redujeron y el promedio de plantas por líneas aumentó, en ML10 Gy de 2.59-12.03, ML15 Gy de 2.47-14.68, MB15 Gy de 1.47-20.38 y MB20 Gy de 1.84-44 plantas. La tasa de multiplicación de las líneas fue variable, predominando uno a dos brotes producidos por planta en cada línea. Las líneas evaluadas en invernadero ML15-7, ML-8, ML15-14, ML15-16, ML15-43, MB15-16, MB15-23, MB15-54, MB20-1, MB20-10, MB20-12, MB20-18, MB20-34, MB20-44 y MB20-50 registraron variaciones en las formas de las hojas. En malanga Lila la línea ML10-99 registró la mayor altura (7.16 cm) y la línea ML10-14 registró el mayor número de hojas (4.6 hojas). En malanga Blanca la línea que registró mayor altura fue la MB15-47 (8.13 cm) y la línea MB20-49 registró mayor número de hojas (5.1 hojas), no hubo diferencias en el número de hojas.

**Palabras clave:** Tasa de multiplicación, mejora genética, inducción, caracterización.

## ABSTRACT

Malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) is a member of the Araceae family and originates from Southeast Asia between India and Indonesia, of which the corms are consumed; the period in which it was introduced and the origin of malanga in Nicaragua is unknown. Global climate change and the lack of rainfall in the region could mean that the areas that are being used for malanga cultivation will not be suitable for it in a few years, as there are no cultivars resistant to drought conditions. In the present study, the morphological changes of two cultivars of malanga Lila and Blanca irradiated with gamma rays in the *in vitro* and greenhouse stages of multiplication were evaluated. *In vitro* plants irradiated with 10 and 15 Gy in Malanga Lila and with 15 and 20 Gy in Malanga Blanca were evaluated for number of lines, average number of plants per line and multiplication rate. The plants established in greenhouses were evaluated two months after sowing (mgs) for plant height, morphological variables (base, apex, lobes, edges, veins, size and coloration) and number of leaves. In each *in vitro* multiplication, the number of Malanga Lila and Blanco lines were reduced and the average number of plants per line increased, in ML10 Gy from 2.59-12.03, ML15 Gy from 2.47-14.68, MB15 Gy from 1.47-20.38 and MB20 Gy from 1.84-44 plants. The multiplication rate of the lines was variable, predominantly one to two shoots produced per plant in each line. The lines evaluated in the greenhouse ML15-7, ML-8, ML15-14, ML15-16, ML15-43, MB15-16, MB15-23, MB15-54, MB20-1, MB20-10, MB20-12, MB20-18, MB20-34, MB20-44 and MB20-50 recorded variations in leaf shapes. In Malanga Lila line ML10-99 recorded the greatest height (7.16 cm) and line ML10-14 recorded the greatest number of leaves (4.6 leaves). In White malanga the line that recorded the greatest height was MB15-47 (8.13 cm) and the line MB20-49 recorded the greatest number of leaves (5.1 leaves), there were no differences in the number of leaves.

**Key words:** Multiplication rate, genetic improvement, induction, characterization.

## I. INTRODUCCIÓN

La malanga (*Colocasia esculenta* (L) Schott) según Ulloa (2013) se encuentra entre los alimentos humanos más antiguos del mundo. La malanga es miembro de la familia Araceae y originaria del sureste de Asia entre la India e Indonesia, del cual se consumen los cormos (López, Vázquez y López, 1984). Según Rivers (2007) se desconoce el período en que fue introducida y procedencia de la malanga en Nicaragua.

En Nicaragua los productores identifican los cultivares de malanga por el color de la pulpa del cormo en Malanga Blanca o Morada (con presencia de puntos lilas) (Rivers 2007). Según Góngora (2016) la malanga Lila presenta puntos lilas en la masa del cormo, predominantemente blanca, una vez cocida la masa es de textura porosa y de color rosado-violeta, de allí el nombre del cultivar. En cambio, la malanga Blanca posee una corteza de color marrón, pulpa de color blanco y de forma ovalada (INATEC, 2018).

El aumento de la temperatura, acompañado de la intensificación de los periodos secos y de menos lluvias, provocará un déficit de agua y consecuentemente, un cambio en las zonas donde se producen los cultivos (Bouroncle *et al*, 2014). Estos fenómenos provenientes del cambio climático podrían llegar a causar una reducción de las producciones del sector agrícola en Nicaragua.

Milán (2009) menciona que Nicaragua es parte de los territorios más susceptibles del mundo a sufrir los efectos adversos del cambio climático global y de la variabilidad climática. Esto podría provocar que las áreas que se están utilizando para el cultivo de malanga; en unos años no sean aptas para el mismo, encontrar medidas de adaptación ante este problema es de vital importancia para los productores de malanga, quienes en su mayoría dependen de los rendimientos productivos que se obtienen del mismo, por esta razón surge la necesidad de mejorar genéticamente el cultivo para atenuar los efectos del cambio climático.

En las raíces y tubérculos que se reproducen de forma asexual se pueden implementar según Novak & Brunner (1992) nuevos métodos de mejora como las mutaciones radioinducidas y otros agentes mutagénicos. Micke (1981) describe a la mutación como un medio para alterar genes y crear variabilidad genética que se puede utilizar para seleccionar los caracteres genéticos más deseados.

El estudio es la continuidad a la prueba de radio sensibilidad del proyecto ampliación de la variabilidad genética de cultivos propagados vegetativamente usando técnicas nucleares, donde se evaluaron los cambios morfológicos de dos cultivares de malanga *in vitro* irradiadas con rayos gamma para generar variabilidad que puede ser utilizada para buscar individuos tolerantes a condiciones adversas producto del cambio climático en el país.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Evaluar cambios morfológicos de cultivares de malanga (*Colocasia esculenta* (L). Schott) en etapa de multiplicación *in vitro* e invernadero irradiados con rayos gamma.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar la tasa de multiplicación de dos dosis de irradiación en los cultivares de malanga Lila y Blanca en etapa *in vitro*.
- Describir el efecto de la irradiación de rayos gamma en la morfología de las hojas de malanga Lila y Blanca establecidas en invernadero.

### III. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 *Colocasia esculenta*

La malanga (*Colocasia esculenta*) es una planta tropical y subtropical, herbácea, sin tallos aéreos con hojas grandes provenientes de un cormo subterráneo primario siendo este el producto comercial. Su ciclo de cultivo es anual que dura de 8 a 10 meses y puede llegar a ser de comportamiento perenne si no se le cosecha (INATEC, 2018).

#### 3.2 Importancia del cultivo

En Nicaragua la malanga es un cultivo cuyo cormo y cormelos son consumidos de diversas maneras por ser ricos en carbohidratos, proteínas, grasas y aminoácidos (Reyes y Aguilar, 2005). Además del valor nutricional, el cultivo de la malanga (*Colocasia esculenta*) tiene gran importancia para los productores, ya que contribuye a la seguridad alimentaria y nutricional de la población, además de ser una alternativa para diversificación de la finca y obtener mayores oportunidades de mejorar los ingresos económicos de las familias con la exportación del producto (Reyes *et al.*, 2005).

#### 3.3 Cultivares de malanga a estudiar

##### 3.3.1 Malanga Lila

La malanga lila según Martínez y Téllez (2017), se cultivó por primera vez en América tropical, y se extendió a África a mediados de 1800, y también se cultiva en Filipinas. Son especialmente populares en Cuba (malanga) y Puerto Rico (yautia). La malanga lila tiene más sabor que la mayoría de los otros tubérculos tropicales almidonados y su sabor es terroso (Figura 1).



Figura 1. Planta y cormelo de malanga lila (Hernández y Bustamante, 2017)

### 3.3.2 Malanga Blanca

La malanga blanca a diferencia de la lila es similar a un ñame en apariencia y una patata en sabor, es una raíz comúnmente usada en países tropicales, al igual que la papa se usa en climas templados. La malanga es también similar en textura y apariencia a la yuca. Especialmente común en Cuba y Puerto Rico, es típicamente fritos como buñuelos. También se puede preparar puré, horneado, hervido o salteado (Martínez y Téllez, 2017) (Figura 2).



Figura 2. Planta y cormelo de malanga blanca (Hernández y Bustamante, 2017).

### 3.4 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 *et al.*, 2011).

### 3.5 Propagación *in vitro*

La expresión cultivo *in vitro* de plantas, significa cultivar plantas dentro de un frasco de vidrio en un ambiente artificial. Esta forma de cultivar las plantas tiene dos características fundamentales: la asepsia (ausencia de gérmenes, etc), y el control de los factores que afectan el crecimiento. El avance alcanzado por las ciencias biológicas ha permitido en los últimos años el estudio detallado de las plantas tanto a nivel celular como molecular, y en condiciones de laboratorio es posible actualmente reproducir todos los factores que puedan incidir en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Castillo, 2004).

La tasa de multiplicación según Gupta y Durzan (1985), se refiere a la velocidad a la cual las células o tejidos vegetales se dividen y generan nuevas células o estructuras, mencionan que la importancia de la tasa de multiplicación en cultivos *in vitro* radica en su capacidad para producir rápidamente grandes cantidades de material vegetal en un corto período de tiempo.

Esto es particularmente valioso en la propagación de plantas, ya que permite obtener un gran número de plantas idénticas a partir de una única planta madre. Esta técnica es ampliamente utilizada en la producción comercial de plantas para la agricultura, la horticultura y la silvicultura.

Además, la tasa de multiplicación en cultivos *in vitro* también es esencial en la conservación y preservación de especies vegetales en peligro de extinción o con limitada disponibilidad. Mediante la multiplicación rápida de células o tejidos vegetales, se puede obtener una reserva genética valiosa que puede ser almacenada en bancos de germoplasma para su conservación a largo plazo.

### **3.6 Mejoramiento genético inducido**

Tullmann (1997) menciona que:

La determinación de la radio sensibilidad de los tejidos irradiados se logran exponiendo el material a un rango de intensidades de radiaciones y seleccionando aquellas dosis que permitan observar efectos visibles de la radiación, pero manteniendo una supervivencia de los tejidos.

“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” (Lemus *et al.*, 2002).

La inducción de mutaciones ha resultado ser un método eficaz para lograr variaciones dentro de los cultivos, se produce como consecuencia de la exposición a agentes mutagénicos químicos o físicos a las plantas, por lo tanto ofrece la posibilidad de inducir el desarrollo de características deseadas que no se pueden hallar en la naturaleza o se han perdido durante el proceso evolutivo (Novak & Brunner, 1992).

### **3.7 Rayos gamma**

Según Gil (2017) los rayos gamma se refiere a un tipo de radiación electromagnética que se mide en Gray (Gy), la cual está formada por fotones, originada por elementos radiactivos o métodos subatómicos tal como la aniquilación de un par positrón-electrón. Esta radiación por su magnitud también es producida en fenómenos astrofísicos de gran violencia.

Debido a su alta energía pueden producir grave daño al núcleo de las células, por lo que son utilizados para esterilizar alimentos y equipos médicos. No obstante, como forma de radiación ionizante, tienen también la capacidad de producir cambios moleculares por lo que se utiliza para el desarrollo de mutaciones en las plantas (Gil, 2017).

Sánchez (2016) explica que las células gamma son los emisores más utilizados para la inducción de mutaciones de plantas, ya que en 2004 había alrededor de 200 células gamma en uso en todo el mundo. Sin embargo, la fuente de radiación gamma tiene una clara ventaja para los tratamientos prolongados, ya que puede colocarse en una cámara de ambiente controlado, en un invernadero o en un campo para que las plantas puedan estar expuestas en varios momentos y en diversas etapas de desarrollo.

### **3.8 Quimeras**

FAO (1984) menciona que después de una irradiación o un tratamiento con mutágenos químicos de un tejido de la planta, por lo general sólo las células afectadas por el agente mutágeno exhibirá una mutación, es decir, los cambios en la estructura del ADN, en consecuencia sólo las células derivadas de estas células mutadas heredarán las modificaciones del ADN. Por lo tanto, se producen quimeras, que están pobladas por células de diferentes orígenes.

FAO (1984) también menciona que el proceso de separación y seleccionado de líneas de células mutadas se conoce como: disgregación de quimeras.

En los cultivos propagados por semillas la disociación se producirá de forma natural durante los procesos normales de la reproducción sexual. Cultivos de propagación *in vitro* implica la reproducción a partir de brotes o callos de las quimeras en sub cultivos siendo estos los que se evalúan a nivel agronómico.

### **3.9 Irradiador gamma con cámara de irradiación**

Walter (2013) describe el irradiador gamma como la fuente de irradiación está 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». La radiación (fotones) atraviesa el encapsulado para incidir en el material que se va a irradiar en la cámara, pudiendo penetrar más de 60 cm en productos alimenticios si se irradian por ambos lados.

### **3.10 Dosis de irradiación**

No todos los cultivares 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 beneficiosas (Novak *et al.*, 1990).

### **3.11 Mutación**

De acuerdo a Oliva *et al* (2004):

La mutación es cualquier cambio en la secuencia de nucleótidos del ADN, puede ser causadas por acción de agentes mutágenos y por las radiaciones ionizantes como la radiación ultravioleta, la cual es un componente intrínseco de la luz solar, provoca la aparición de dímeros de timina, los cuales a su vez originan cambios en la estructura tridimensional del ADN y paralizan el proceso de replicación. Las radiaciones ionizantes como los rayos X y rayos gamma pueden ejercer un efecto directamente sobre las bases (rotura y fragmentación del ADN) también pueden generar a través del agua radicales libres responsables del daño celular.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Ubicación del estudio

La irradiación en masa de las plantas *in vitro* de malanga se llevó a cabo en el Centro Nacional de Estudios Aplicados a la Energía Nuclear (CEADEN) en La Habana Cuba en las coordenadas: 23°07'08.6" Latitud norte, y a las 82°25'28.2" Longitud oeste.

Las plantas *in vitro* de Malanga Lila y Blanca irradiadas se trasladaron al 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, donde se realizó el estudio de caracterización morfológica de cada cultivar *in vitro* e invernadero.

### 4.2 Material vegetal

Se colectaron cormos de malanga Blanca y Lila en los departamentos de Matagalpa y Boaco, Nicaragua, el material vegetal fue multiplicado *in vitro* en el laboratorio de cultivo de tejidos de la UNA y luego se traslado a la Habana, Cuba en el año 2018 donde se realizó la irradiación de ápices meristemáticos de malanga Blanca y Lila con rayos gamma, en el año 2019 las plantulas irradiadas retornaron al laboratorio de cultivo de tejidos de la UNA.

### 4.3 Diseño experimental

El experimento se evaluó por medio de un diseño completo al azar (DCA). Se evaluaron individualmente cada línea por dosis en etapa *in vitro* e invernadero.

### 4.4 Irradiador de rayos gamma

Las vitroplantas de malanga Lila y Blanca fueron sometidas al proceso de irradiación con un irradiador modelo ISOGAMMA LL-Co, con fuentes de Cobalto 60 ( $\text{Co}^{60}$ ), ubicado en el CEADEN (Figura 3).



Figura 3. Irradiador isogamma LL-Co con fuente de Cobalto 60 ( $\text{Co}^{60}$ ) utilizado para la irradiación en masa de vitroplantas de malanga Lila y Blanca en el centro Nacional de Estudios Aplicados a la Energía Nuclear

#### **4.5 Dosis de irradiación**

Las dosis de irradiación utilizada por cultivar fueron definidas en el estudio de Martínez y Briones (2020), donde se seleccionaron las siguientes dosis:

Malanga Lila: 10 y 15 Gy (ML10 y ML15)

Malanga Blanca: 15 y 20 Gy (MB15 y MB20)

#### **4.6 Medios de cultivo *in vitro***

Los medios de cultivo utilizados para el crecimiento y desarrollo de las plantas fueron:

- En la etapa de multiplicación *in vitro*: Murashige y Skoog (MS) 80% + 100 mg l<sup>-1</sup> de Inositol, 0.1 mg l<sup>-1</sup> de 6BAP (bencilaminopurina), 10 mg l<sup>-1</sup> de vitaminas MS y 0.05 mg l<sup>-1</sup> de AIA
- Etapa de enraizamiento: MS + 1 mg<sup>-1</sup> AIA (ácido indol acético)

#### **4.7 Etapa de multiplicación *in vitro***

Se realizaron cinco multiplicaciones para disgregar las quimeras y se etiquetaron las plantas según el número de línea a la que correspondía.

La nomenclatura utilizada para las multiplicaciones corresponde a M<sub>x</sub>V<sub>x</sub> donde M<sub>x</sub> indica la ronda de mutagénesis a la que pertenece y V<sub>x</sub> las generaciones vegetativas del material (multiplicación) (Jankowicz-Cieslak *et al.*, 2017).

Las multiplicaciones en malanga Lila se realizaron M<sub>1</sub>V<sub>2</sub> a los 3.5 meses; M<sub>1</sub>V<sub>3</sub>: siete meses; M<sub>1</sub>V<sub>4</sub>: diez meses y M<sub>1</sub>V<sub>5</sub>: 23 meses. En malanga Blanca se realizó la multiplicación M<sub>1</sub>V<sub>2</sub>: tres meses; M<sub>1</sub>V<sub>3</sub>; cinco meses; M<sub>1</sub>V<sub>4</sub>: ocho meses y M<sub>1</sub>V<sub>5</sub>: 21 meses.

#### **4.8 Etapa de enraizamiento *in vitro***

En esta etapa se seleccionaron 10 plantas por línea y 20 plantas testigo de malanga Blanca y Lila, las plantas permanecieron 30 días en el medio de cultivo descrito anteriormente, después de ese tiempo se trasladaron al invernadero.

#### **4.9 Etapa de invernadero**

Las vitroplantas después de enraizadas fueron establecidas en el invernadero de 10 x 20 m cubierto con malla antiáfidos de 50 mesh y con techo de plástico ultravioleta. Como sustrato se utilizó dos porciones de sustrato kekkila y una porción de piedra pomes en bolsas de polietileno.

El riego por microaspersión fue aplicado una vez por la mañana y los nebulizadores tres veces al día.

Se sembraron en el invernadero 22 líneas de ML10, 17 líneas de ML15, 24 líneas de MB15 y 19 líneas de MB20. De cada línea se sembraron diez plantas, para dar un resultado de 820 plantas más 20 plantas testigo, en total se sembraron 840 plantas.

#### 4.10 Variables evaluadas *in vitro*

En la etapa de multiplicación *in vitro* se evaluaron las variables descritas y fueron evaluadas en cada multiplicación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables evaluadas en la etapa *in vitro* en plantas de malanga Lila y malanga Blanca irradiadas con rayos gamma, establecidas en el laboratorio de cultivos de tejidos de la UNA

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Número de líneas	Se contabilizó el número de líneas existentes en cada cultivar por dosis de irradiación
Promedio de plantas por línea	Se contabilizó y se promedió el número de plantas existentes en cada línea por cultivar por dosis de irradiación
Tasa de multiplicación	Se evaluaron cuantas plantas se desarrollaron de una planta después de un subcultivo y se calculó la tasa de multiplicación

##### 4.10.1 Variables morfológicas evaluadas en etapa de invernadero después de trasplante

Se evaluó la forma de las hojas a los dos meses después del trasplante comparándose con las hojas de 20 plantas testigos de malanga Lila y Blanca según el caso (Figura 4). Las características de las hojas evaluadas están descritas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Forma de la hoja, lóbulos, ápices y otras características de las hojas de malanga Lila y malanga Blanca de plantas irradiadas con rayos gamma evaluadas en la etapa de invernadero a los dos meses después de aclimatadas

<b>Formas de la hoja</b>	<b>Lóbulos</b>	<b>Ápice</b>	<b>Otras características</b>
Reniforme	Redondeados	Redondeado	Hipoplasia e hiperplasia foliar
Pandurada	Asimétricos	Agudo	Concolora y discolora, superficie opaca
	Separados	Apiculado	Ceno foliar cubierto o descubierto
			Nervadura resaltada y sin nervadura
			Bordes asimétricos, ondulados, irregulares e involutos
			Crasa

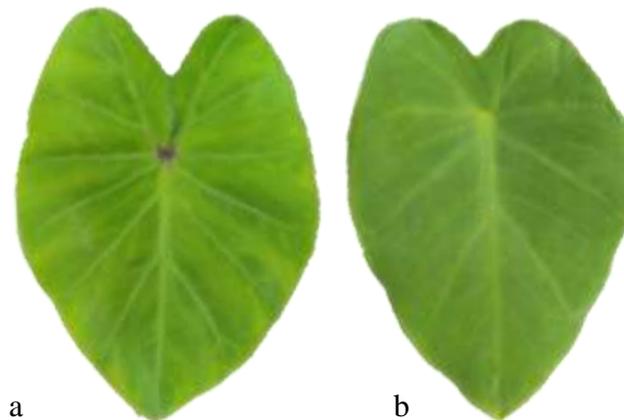


Figura 4. Hojas de plantas de malanga testigos utilizadas como referencia para comparar con plantas irradiadas con rayos gamma. a. malanga Lila y b. malanga Blanca.

A las plantas de las líneas de malanga Lila y Blanca establecidas en el invernadero se les evaluó la altura de planta y número de hojas según descripción del cuadro 3.

Cuadro 3. Altura de planta y número de hojas evaluadas en la etapa de invernadero a los dos meses después del trasplante en plantas de las líneas de malanga Lila y malanga Blanca irradiadas con rayos gamma

N°	Variable	Descripción
1.	Altura de planta (cm)	Se midió a partir de la base del pseudotallo hasta la inserción del pecíolo en la lámina de la hoja de mayor altura
2.	Número de hojas	Se realizó el conteo de hojas totales presentes en la planta principal

#### 4.11 Análisis de datos

A las variables altura de planta y número de hojas se les realizó un análisis de varianza no paramétrico (Kruskal Wallis) debido a que los datos no cumplieron con la normalidad según la prueba de Shapiro Wilks, ni a la homogeneidad de la varianza según la prueba de Levene. Se utilizó el programa de InfoStat versión 2018.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Número de líneas por dosis en etapa *in vitro*

El número de líneas en la malanga Blanca y Lila se redujo al pasar las etapas de multiplicación. En MB15 y MB20 el número de líneas en la  $M_1V_1$  fue de 121, 67 y 54 líneas respectivamente y en la  $M_1V_5$  fueron 31 líneas, 18 y 13 líneas respectivamente. En ML10 y ML15 la  $M_1V_1$  se registraron 184 líneas, 122 y 62 respectivamente y en la  $M_1V_5$  el número de líneas se redujo a 51, (29 y 22) (Figura 5).

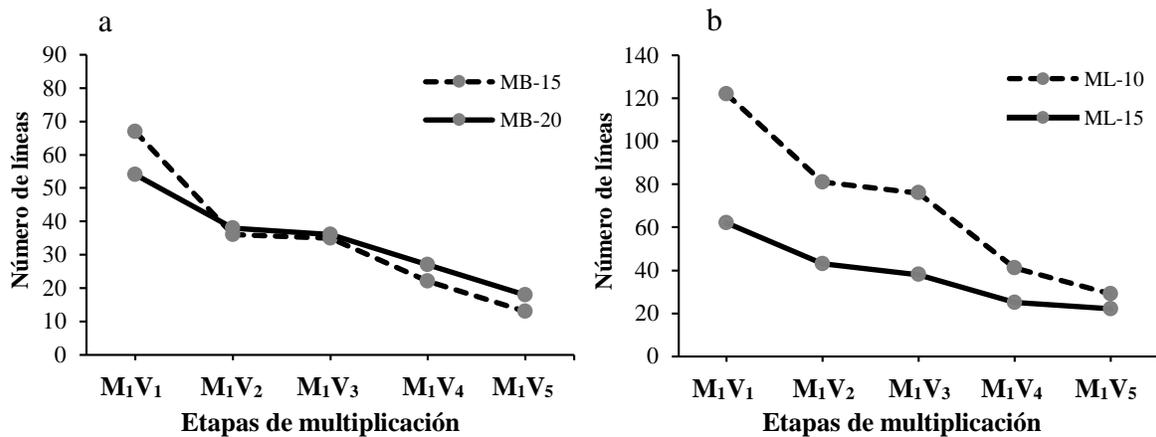


Figura 5. Número de líneas en las etapas de multiplicación  $M_1V_1$  -  $M_1V_5$  de: a Malanga Blanca irradiada con 15 y 20 Gy de rayos gamma y b de Malanga Lila irradiada con 10 y 15 Gy de rayos gamma.

En las etapas de multiplicación la contaminación de plantas fue un factor determinante en la reducción del número de líneas, Hernández y González (2010), explican que la contaminación microbiana es uno de los problemas más graves en la micropropagación de especies vegetales a nivel mundial, produce cuantiosas pérdidas de material. Puede tener dos orígenes: a) microorganismos que colonizan la superficie o el interior del explante (endófitos) b) microorganismos introducidos durante la manipulación en el laboratorio, los contaminantes más frecuentes en condiciones *in vitro* son los hongos, las bacterias y levaduras.

Según Gutiérrez Sánchez *et al.*, (2018), en la fase de multiplicación *in vitro* de malanga predominan los contaminantes bacterianos causando hasta 24.12% de pérdidas las que se incrementan con el número de multiplicaciones y que pueden proceder del explante inicial.

Otro factor en la pérdida de líneas lo explica Rodríguez *et al.* (2022), que investigó los efectos de las reducciones de planta debido a la irradiación de rayos gamma en cultivos *in vitro* de *Arabidopsis thaliana*.

Los resultados revelaron que la irradiación con rayos gamma provocó una disminución significativa en la altura de las plantas, así como una reducción en el número de hojas y el tamaño de las mismas. Además, se observaron alteraciones en la morfología de las raíces y una disminución en la tasa de multiplicación de las plántulas irradiadas en comparación con las no irradiadas.

Según (Hasim *et al.*, 2021), la inducción de mutaciones a altas dosis de radiación impide la producción de nuevos explantes y puede incluso causar la muerte a bajas dosis de radiación. El crecimiento y el desarrollo de las plantas se ven afectados por los efectos físico-químicos, biológico-químicos y genéticos de la radiación (Langoda, 2009).

## 5.2 Promedio de plantas por líneas en etapa *in vitro*

En la malanga Blanca y Lila el número promedio de plantas por líneas aumentó después de cada multiplicación, el promedio de plantas por línea de MB15 en la  $M_1V_1$  fue de 1.47 y de MB20 fue de 1.84, en la etapa  $M_1V_5$  fue de 20.38 y 44 respectivamente. En ML10 y ML15 en la etapa  $M_1V_1$  se registraron en la 2.59 y 2.47 plantas promedio respectivamente y en la etapa  $M_1V_5$  12.03 y 14.68 plantas promedio respectivamente (Figura 6).

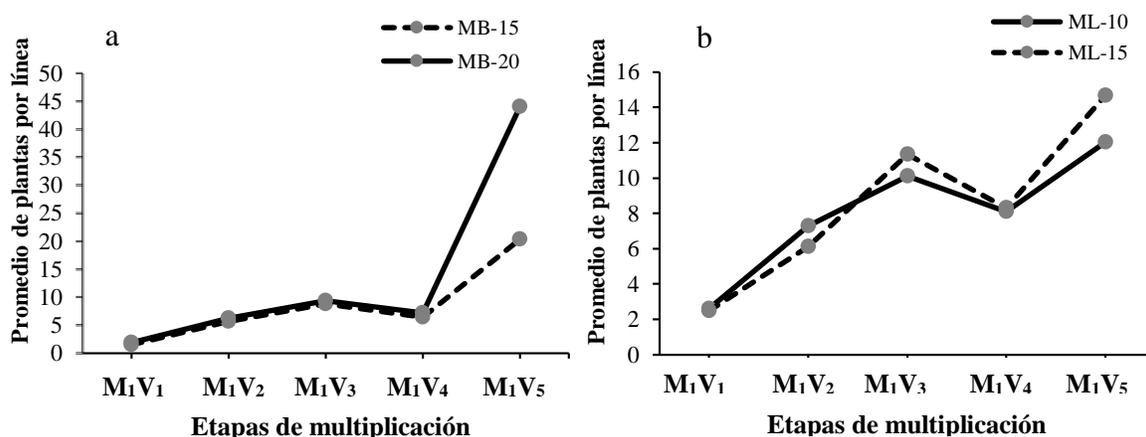


Figura 6. Promedios de plantas por línea en las etapas de multiplicación  $M_1V_1$  -  $M_1V_5$  en malanga Blanca irradiada con 15 y 20 Gy de rayos gamma y en malanga Lila irradiada con 10 y 15 Gy de rayos gamma.

El promedio de plantas por línea en la malanga Blanca se mantuvo constante en las dos dosis, sin embargo en la última multiplicación hubo un aumento significativo en el promedio de plantas, llegando a alcanzar su pico, mismo caso ocurrió con la malanga Lila donde se registró el promedio más alto de plantas por línea en la  $M_1V_5$ .

### **5.3 Tasa de Multiplicación de MB15**

La tasa de multiplicación de la malanga Blanca con dosis de irradiación de 15 Gy en la etapa  $M_1V_2$  el 42% de las líneas obtuvo de 3 a 4 brotes por planta, el 36% produjo de 1 a 2 brotes por planta, se obtuvieron de 5 a 6 brotes por planta representando el 11% y 8 brotes por planta con el 11% restante (Figura 7).

En la etapa  $M_1V_3$  el 60% de las líneas produjo entre 1 a 2 brotes, el 23% de 3 a 4 brotes y el 17% 0 brotes por plantas, en la etapa  $M_1V_4$  la tasa de multiplicación estuvo comprendida únicamente entre dos rangos, 86% de 0 brotes por planta y el 14% con 1-2 brotes por planta (Figura 7).

En la etapa de multiplicación  $M_1V_5$  el 15% de las líneas produjo 0 brotes, el 31% obtuvo de 1 a 2 brotes, el 23% de 3 a 4 brotes por planta, el 8% produjo 5 brotes por planta y el 23% produjo de 8 a 9 brotes por planta (Figura 7).

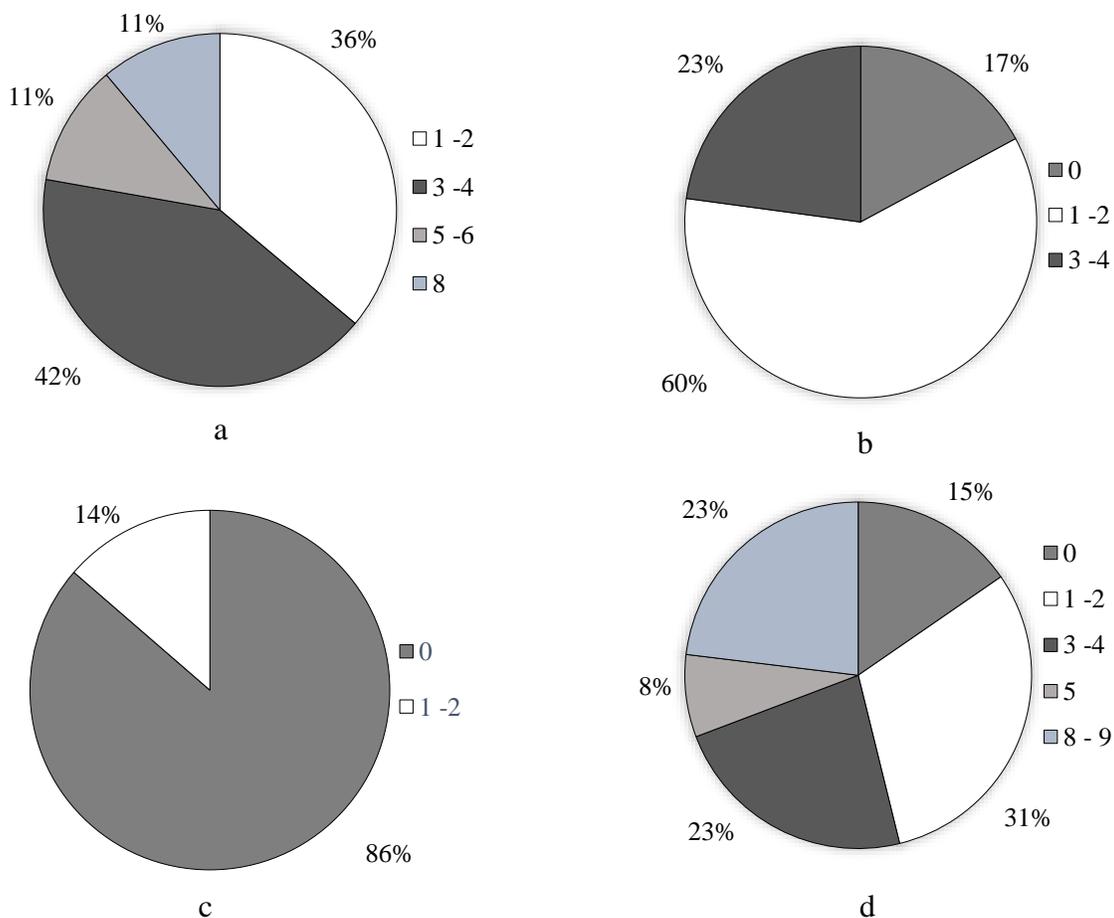


Figura 7. Número de brotes por línea de malanga Blanca irradiada con 15 Gy de rayos gamma en las etapas de multiplicación a:  $M_1V_2$ , b:  $M_1V_3$ , c:  $M_1V_4$ , d:  $M_1V_5$ .

#### 5.4 Tasa de Multiplicación de MB20

La tasa de multiplicación de la malanga Blanca con dosis de irradiación de 20 Gy en la etapa  $M_1V_2$  registró los siguientes resultados: 0 brotes un 3% del total de la multiplicación, 32% comprendido de 1 a 2 brotes, el 43% con brotes de 3 a 4 plantas, el 11% produjo de 6 a 8 brotes por planta, un 8% con brotes de 9 a 11 brotes por planta y el 3% obtuvo 19 brotes por planta (Figura 8).

En la etapa  $M_1V_3$  el 8% de las líneas produjo 0 brotes, el 89% obtuvo de 1 a 2 brotes y el 3% restante produjo 3 brotes por planta (Figura 8).

En la etapa de multiplicación  $M_1V_4$  se registró que el 63% de líneas poseían 0 brotes por planta y el 37% de las líneas entre 1 a 2 brotes, en  $M_1V_5$  se registraron los siguientes datos: el 12% se obtuvieron 0 brotes, el 23% produjo de 1 a 2 brotes por planta, el 12% en el rango de 3 a 4 brotes por planta, un 12% de 5 a 7 brotes por planta, el 18% obtuvo de 9 a 11 brotes por planta y el 23% produjo de 12 a más brotes por planta (Figura 8).

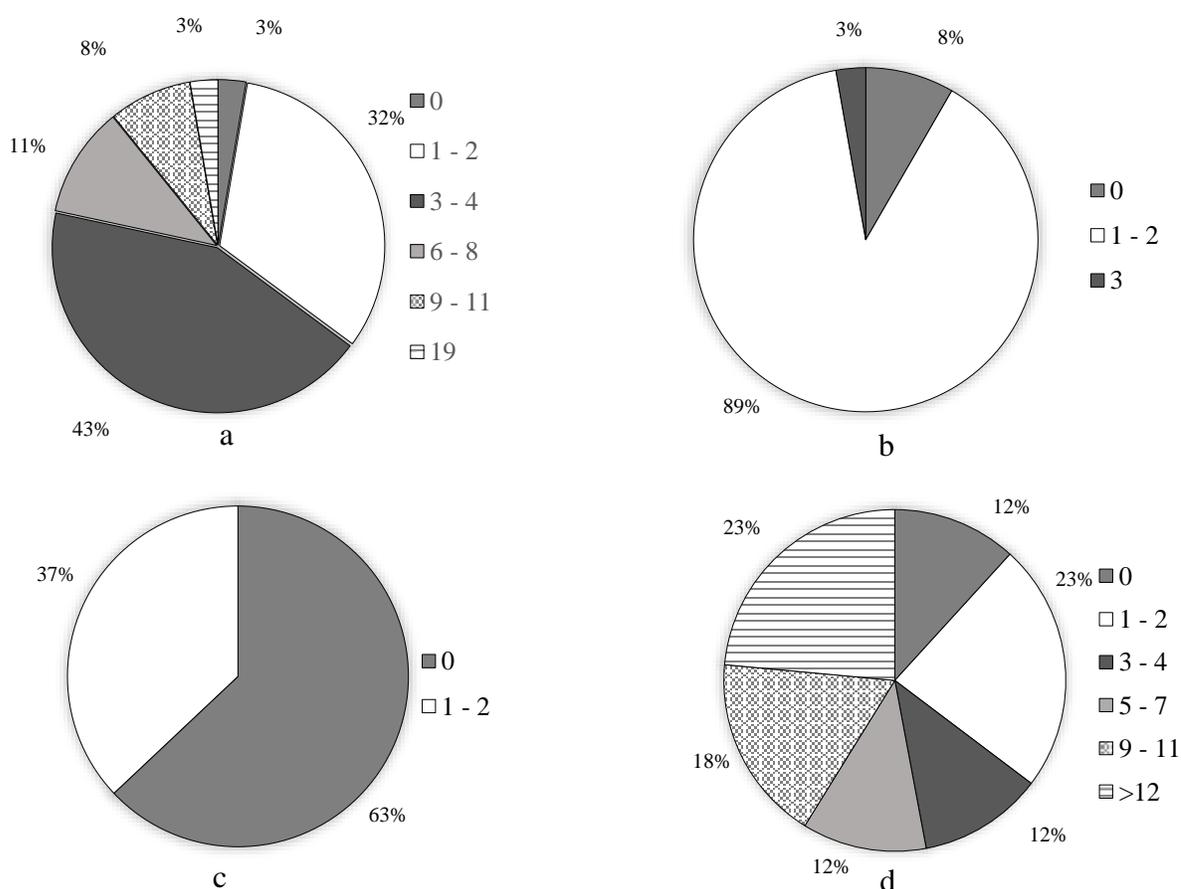


Figura 8. Número de brotes por línea de malanga Blanca irradiada con 20 Gy de rayos gamma en las etapas de multiplicación a:  $M_1V_2$ , b:  $M_1V_3$ , c:  $M_1V_4$ , d:  $M_1V_5$ .

### 5.5 Tasa de Multiplicación de ML10

En la malanga Lila con dosis de irradiación de 10 Gy, la tasa de multiplicación en la etapa  $M_1V_2$  fue de 0 brotes por planta el 2% de las líneas, el 43% de las líneas obtuvieron entre 1 a 2 brotes por planta, el 33% tiene rangos de 3 a 4 brotes, el 11% produjo entre 5 a 6 brotes por planta, el 5% se obtuvieron de 7 a 8 brotes por planta, el 5% se obtuvieron líneas con más de 9 brotes por planta, en la etapa  $M_1V_3$  el 21% de las líneas registraron 0 brotes por planta, el 72% obtuvo de 1 a 2 brotes por planta y el 7% produjo de 3 a 4 brotes (Figura 9).

En la etapa  $M_1V_4$  el 87% se obtuvieron 0 brotes por planta y el 13% produjo de 1 a 2 brotes, en etapa de multiplicación  $M_1V_5$ , el 40% obtuvo 0 brotes por planta, 30% entre 1 a 2 brotes, el 15% produjo entre 3 a 4 brotes por planta, el 10% de 5 a 6 brotes y la línea 38 produjo 8 brotes por planta, representando el 5% de la multiplicación (Figura 9).

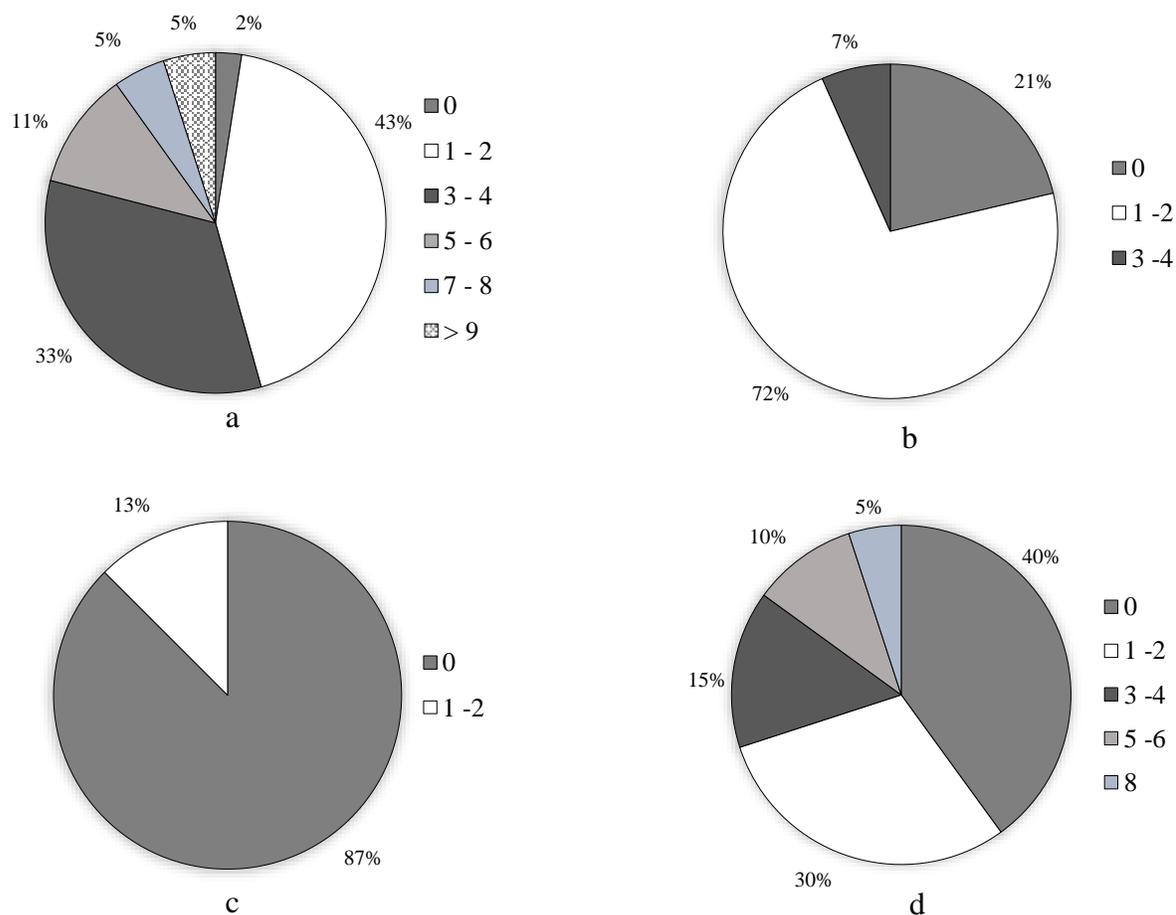


Figura 9. Número de brotes por línea de malanga Lila irradiada con 10 Gy de rayos gamma en las etapas de multiplicación a:  $M_1V_2$ , b:  $M_1V_3$ , c:  $M_1V_4$ , d:  $M_1V_5$ .

### 5.6 Tasa de Multiplicación de ML15

La tasa de multiplicación en la etapa  $M_1V_2$  el 3% de las líneas obtuvo 0 plantas, el 43% entre 1 a 2 brotes por planta, el 43% produjo de 3 a 4 brotes, el 7% entre los rangos de 5 a 6 brotes por planta, el 2% produjo 7 brotes por planta y el otro 2% se obtuvieron 11 brotes por planta (Figura 10).

En la etapa  $M_1V_4$  se registró que el 80% de las líneas poseían valores de 0 brotes por planta y el 20% de las líneas entre 1 a 2 brotes, en  $M_1V_5$  el 40% de las líneas produjo 0 brotes por planta, el 25% obtuvo de 1 a 2 brotes por planta, un 15% registró entre 3 a 4 brotes por planta, otro 15% obtuvo de 5 a 5 brotes y el 5% restante produjo 12 brotes por planta que pertenecen a la línea 47 (Figura 10).

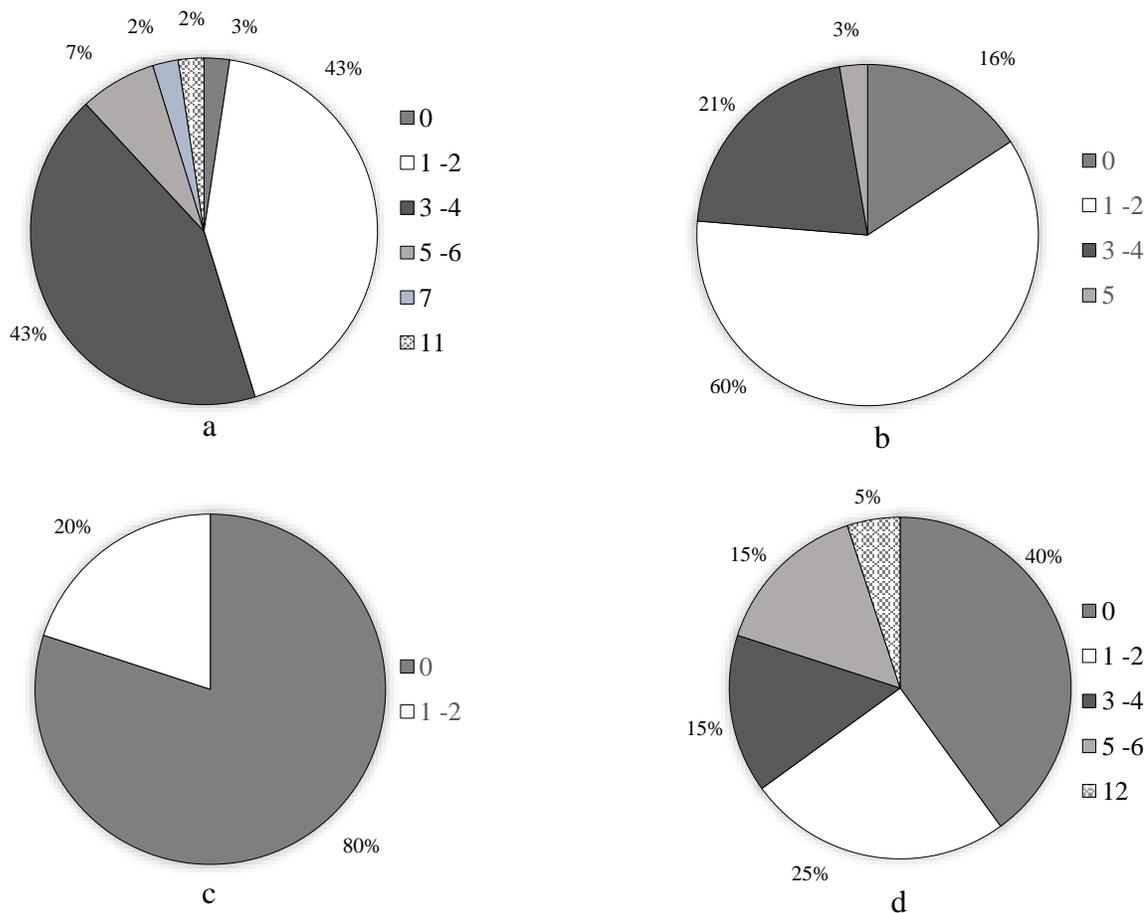


Figura 10. Número de brotes por línea de malanga Lila irradiada con 15 Gy de rayos gamma en las etapas de multiplicación a:  $M_1V_2$ , b:  $M_1V_3$ , c:  $M_1V_4$ , d:  $M_1V_5$ .

### 5.7 Forma de la hoja de plantas irradiadas con rayos gamma de malanga Lila aclimatadas en invernadero.

Las plantas de la línea ML15-7, mostraron hojas crasa con nervadura resaltada y lóbulos asimétricos, y con forma pandurada. En la línea ML15-8 se presentaron plantas con hojas involutas, crasas y con nervadura resaltada (Figura 11).



Figura 11. Formas de la hoja de plantas *in vitro* irradiadas con rayos gamma de malanga Lila evaluadas en invernadero: a: hoja de la línea ML15-7; con lóbulos resaltados; b: hoja de la línea ML15-7 de forma pandurada; c: hoja de la línea ML15-8.

En la línea ML15-14 se encontraron hojas involuta, crasa, con nervadura resaltada y ápice apiculado sin la mancha característica del cultivar malanga Lila. La línea ML15-16 presentó hojas involuta, crasa, nervadura resaltada con el punto de inserción de la hoja separando los lóbulos. La línea ML15-43 presentó hojas con lóbulos asimétricos y bordes irregulares, nervaduras resaltada ubicadas a un lado de la lámina. En la línea ML15-43 se encontraron hojas con lóbulos poco pronunciados con el ápice agudo (Figura 12).



Figura 12. Formas de la hoja de plantas *in vitro* irradiadas con rayos gamma de malanga Lila evaluadas en invernadero: a. hojas involuta de la línea ML15-14; b. hojas involutas de la línea ML15-16; c. hojas con nervaduras hacia un lado de la lámina de la línea ML15-43; d. hojas de la línea ML15-43 con lóbulos poco pronunciados.

### 5.8 Forma de la hoja de plantas irradiadas con rayos gamma de malanga Blanca aclimatadas en invernadero.

En la línea MB15-16 se presentaron hojas reniforme con el borde foliar ondulado y bordes asimétrico, discolora entre sus nervaduras y ápice redondeado. En la línea MB15-23 las hojas fueron reniforme con el ceno foliar descubierto y lóbulos separados con el ápice redondeado y nervadura resaltada. En la línea MB15-54 se presentaron hojas reniforme con hipoplasia foliar, y el ápice redondeado con la superficie de la lámina verde oscura (Figura 13).

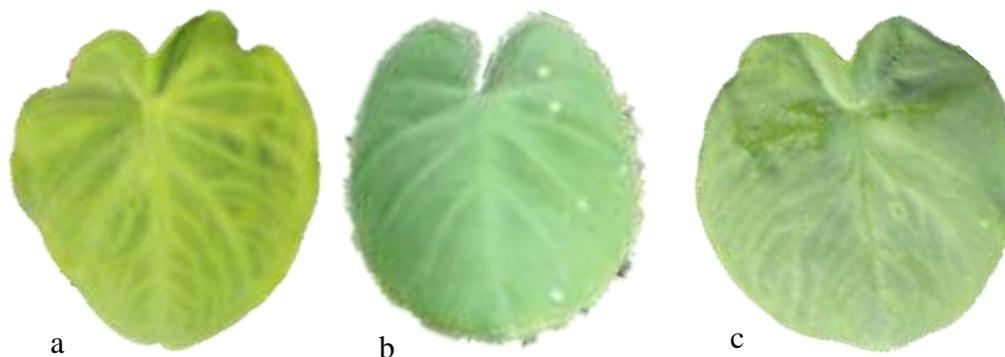


Figura 13. Formas de la hoja de plantas *in vitro* irradiadas con rayos gamma de malanga Blanca evaluadas en invernadero: a. hoja de la línea MB15-16; c. hoja de la línea MB15-23; d. hoja de la línea MB15-54.

La línea MB20-10 presentó hojas crasa reniforme, con hiperplasia foliar, ceno foliar cubierto y color verde oscura. En la línea MB20-12, las hojas fueron reniformes, con el ápice redondeado, crasa, sin presencia de nervaduras, con el ceno foliar cubierto y color verde oscura. En la línea MB20-18 se observaron hojas con nervadura resaltada e hiperplasia foliar (Figura 14).

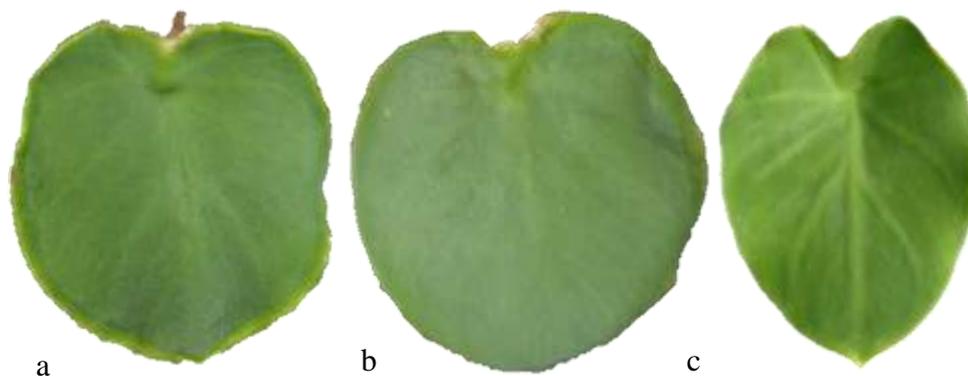


Figura 14. Formas de la hoja de plantas *in vitro* irradiadas con rayos gamma de malanga Blanca evaluadas en invernadero: a. hoja de la línea MB20-10; b. hoja de la línea MB20-12; c. hoja de la línea MB20-18.

La línea MB20-34 presentó hojas con borde ondulado y nervadura central hacia un lado de la lámina. En la línea MB20-44 se observaron hojas crasa, reniforme con nervaduras resaltadas, involuta y con hiperplasia foliar (Figura 15).

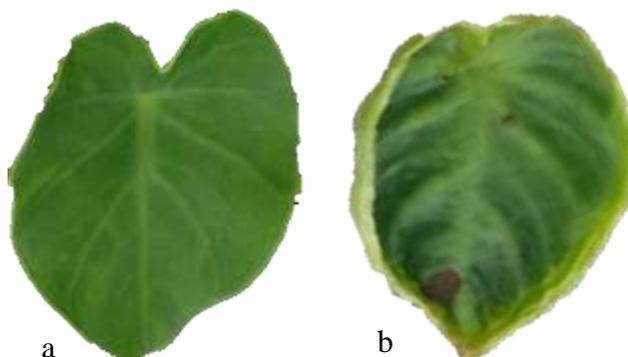


Figura 15. Formas de la hoja de plantas *in vitro* irradiadas con rayos gamma de malanga Blanca evaluadas en invernadero: a. hoja de la línea MB20-34; b. hoja de la línea MB20-44.

En la línea MB20-44 se observaron hojas crasa, reniforme con hiperplasia foliar, sin presencia de nervaduras, concolora. En la línea MB20-50 presentaron hojas crasa, con hiperplasia foliar, involuta y con nervadura resaltada (Figura 16).

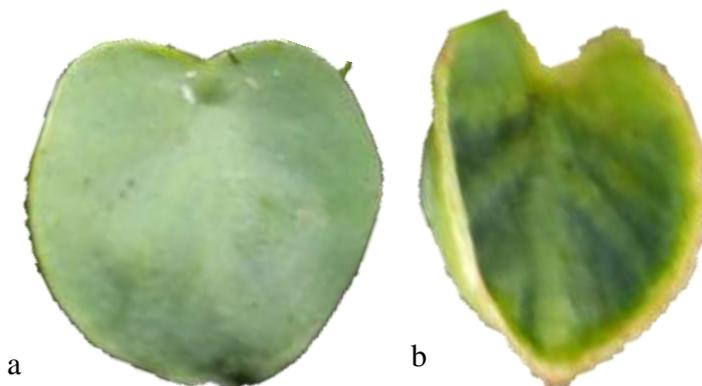


Figura 16. Formas de la hoja de plantas *in vitro* irradiadas con rayos gamma de Malanga Blanca evaluadas en invernadero: a. hoja de la línea MB20-44; b. hoja de la línea MB20-50.

En este estudio, no se observaron cambios morfológicos o alteraciones en las hojas de las líneas de malanga Lila irradiada con 10 Gy, estas se desarrollaron de manera normal, sin presencia de cambios que pudieran ser atribuidos a alguna mutación producto de la irradiación con rayos gamma.

En malanga Lila irradiada con 15 Gy se observaron cambios en las hojas de las líneas evaluadas que pueden ser atribuidas a mutaciones producto de la irradiación con rayos gamma, el 35.3% de las líneas aclimatadas en el invernadero presentaron cambios en su morfología.

De las líneas aclimatada en el invernadero de malanga Blanca irradiada con 15 Gy, se observaron cambios morfológicos en el 12.5% del total de las líneas irradiadas con rayos gamma y en la malanga Blanca con 20 Gy, fue donde se presentó mayor porcentaje, el 36.8% de las líneas tuvieron cambios morfológicos atribuidos a la irradiación de rayos gamma.

Los cambios más notables se observaron en malanga Blanca irradiada con 20 Gy, donde se irradió con una mayor dosis, Ali *et al.*, (2006) menciona que las irradiaciones bajas no afectan a la morfología de las plantas, en contraste con las irradiaciones altas que provocan cambios prominentes, especialmente en las hojas. Kovacs y Keresztes (2002) describieron que los rayos gamma interactúan con los átomos de agua y producen radicales; estos radicales tienen la capacidad de dañar la fisiología, la morfología y la salud de las plantas.

Guzman (2016) caracterizando *Solanum tuberosum* demostró que al irradiar con cobalto 60 las flores de las plantas presentaron un color blanco en lugar de fucsia, siendo un cambio totalmente atípico que es atribuido a la irradiación por rayos gamma.

García (2023) en su estudio de *Xanthosoma* spp. irradiado con rayos X, multiplicadas *in vitro* y aclimatadas en invernadero, mostró variaciones en la morfología de las hojas, las más notables fueron hojas con borde encrespado, base acorazonada, bordes revolutos, hojas crasas y discoloras producto de la irradiación de rayos X. En este estudio las características que más se presentaron fueron hojas reniformes, crasas, involutas y nervaduras resaltadas.

### **5.9 Altura de la planta y número de hojas evaluadas en invernadero**

El cuadro 4 se muestra las medias de las variables altura de planta y número de hojas de malanga Lila irradiada con 10 y 15 Gy en etapa de invernadero. La línea ML10-99 registró mayor altura de planta (7.16 cm) y la línea ML10-14 registró el mayor número de hojas (4.6 hojas).

Cuadro 4. Análisis de varianza no paramétrica según Kruskal Wallis, medias y categorías estadísticas de altura de plantas (cm) y número de hojas de malanga Lila con las dosis de irradiación 10 y 15 Gy y evaluados a los 2 meses después de la aclimatación

<b>Cultivar y línea</b>	<b>Altura de la planta (cm)</b>	<b>Número de hojas</b>	<b>Cultivar y línea</b>	<b>Altura de la planta (cm)</b>	<b>Número de hojas</b>
ML10-2	4.00 g-k	3.40 d-h	ML10-101	4.60 a-i	3.60 c-h
ML10-5	5.30 a-i	3.80 a-g	ML10-113	5.04 a-i	3.40 d-h
ML10-9	4.30 d-k	3.00 f-h	ML15-1	4.60 b-i	3.20 e-h
ML10-10	4.30 b-i	3.80 a-g	ML15-3	4.16 f-k	2.80 f-h
ML10-11	4.50 a-i	3.75 d-h	ML15-7	4.30 e-k	3.00 e-h
ML10-12	4.13 e-k	3.75 b-g	ML15-8	3.94 h-k	4.20 ab
ML10-14	3.70 h-k	4.60 a	ML15-9	5.30 a-h	4.00 a-f
ML10-18	3.30 i-k	3.80 a-f	ML15-14	4.50 b-i	3.20 d-h
ML10-21	5.20 a-i	3.80 a-g	ML15-16	3.30 jk	4.00 a-e
ML10-24	6.50 a-c	4.00 a-d	ML15-18	4.60 b-i	4.00 a-e
ML10-32	6.70 a-c	3.60 d-h	ML15-20	5.40 a-g	3.00 e-h
ML10-38	5.08 a-i	3.20 e-h	ML15-27	5.80 a-d	3.80 b-g
ML10-42	5.80 a-e	4.00 a-d	ML15-43	4.50 b-i	4.00 a-d
ML10-58	3.50 g-k	3.20 d-h	ML15-46	4.20 f-k	3.00 e-h
ML10-61	3.50 b-j	2.50 e-h	ML15-47	4.50 c-j	2.60 f-h
ML10-62	6.14 a-c	4.00 a-c	ML15-51	4.40 d-k	4.00 a-f
ML10-73	6.90 ab	3.40 d-h	ML15-56	2.80 jk	2.20 h
ML10-76	5.60 a-g	3.80 c-h	ML15-65	3.30 jk	2.60 f-h
ML10-83	5.70 a-f	4.00 a-f	ML15-73	1.88 k	2.25 gh
ML10-99	7.16 a	4.00 a-c	Testigo	5.47 a-f	3.50 d-h
p-valor ( $\alpha < 0.001$ )	<0.0001	<0.0001	p-valor ( $\alpha < 0.001$ )	<0.0001	<0.0001

Medias con letras iguales, no hay significancia estadística.

El cuadro 5 muestra las medias de las variables morfológicas de la malanga Blanca irradiada con 15 y 20 Gy en etapa de invernadero donde la línea MB15-47 registró mayor altura (8.13 cm), y la línea MB20-49 registró mayor número de hojas (5.1 hojas).

Cuadro 5. Análisis de varianza no paramétrica según Kruskal Wallis, medias y categorías estadísticas de altura de plantas (cm) y número de hojas de malanga Blanca con las dosis de irradiación 15 y 20 Gy y evaluados a los 2 meses después de la aclimatación

Cultivar y línea	Altura de la planta (cm)	Número de hojas	Cultivar y línea	Altura de la planta (cm)	Número de hojas
MB15-2	4.20 j-m	4.40 ab	MB15-62	6.40 a-f	3.8 b-f
MB15-3	4.50 h-m	4.00 b-f	MB15-66	5.50 c-l	3.2 e-g
MB15-6	5.40 f-m	4.40 a-c	MB20-1	4.90 f-m	3.40 d-g
MB15-7	5.40 d-m	4.20 a-e	MB20-3	5.00 g-m	4.00 b-f
MB15-10	5.50 c-m	4.60 ab	MB20-5	5.88 c-k	3.80 b-f
MB15-11	5.40 e-m	3.80 b-f	MB20-6	6.00 b-j	3.60 c-g
MB15-12	5.40 d-m	4.20 a-e	MB20-7	4.80 h-m	3.00 e-g
MB15-13	5.40 d-m	4.40 a-d	MB20-9	4.50 i-m	3.80 b-f
MB15-16	5.60 b-k	4.00 a-e	MB20-10	5.64 b-k	4.40 a-d
MB15-17	5.40 d-m	3.80 c-g	MB20-12	1.90 m	3.40 d-g
MB15-18	4.80 g-m	3.40 d-g	MB20-13	7.38 ab	3.80 b-f
MB15-19	6.30 a-h	3.80 b-f	MB20-18	6.90 a-e	4.40 a-c
MB15-21	4.13 j-m	3.25 e-g	MB20-19	6.02 b-k	4.20 a-d
MB15-22	5.30 f-m	4.20 a-d	MB20-20	6.80 a-f	3.80 b-f
MB15-23	3.60 m	3.40 e-g	MB20-21	4.60 h-m	4.00 b-f
MB15-24	5.00 g-m	3.80 b-f	MB20-22	7.00 a-d	4.20 a-e
MB15-25	6.90 a-h	3.40 d-g	MB20-29	6.00 b-k	4.50 ab
MB15-34	6.10 b-i	3.60 c-g	MB20-34	6.80 a-f	4.40 a-c
MB15-43	6.70 a-e	3.60 d-g	MB20-44	3.03 lm	2.25 g
MB15-46	6.70 a-h	3.20 e-g	MB20-49	6.50 a-g	5.10 a
MB15-47	8.13 a	3.75 c-g	MB20-50	4.20 k-m	2.8 e-g
MB15-54	7.90 a-c	3.2 e-g	Testigo	5.60 c-k	2.9 fg
p-valor( $\alpha < 0.001$ )	<0.0001	<0.0001	p-valor( $\alpha < 0.001$ )	<0.0001	<0.0001

Medias con letras iguales, no hay significancia estadística.

La irradiación de rayos gamma provocó una variación en las alturas y número de hojas de las líneas evaluadas. En malanga Lila se presentaron rangos en altura de planta entre 1.88-7.16 cm y el número de hojas entre 2.20 y 4.6. En malanga Blanca se presentaron alturas de planta entre 1.90-8.13 cm y el número de hojas entre 2.20 y 5.10 hojas. Esto demuestra que hay una variación entre las líneas evaluadas, los testigos de malanga Lila y Blanca presentaron alturas uniformes de 5.47 y 5.6 cm y número de hojas uniformes de 3.5 y 2.9 respectivamente, no se demostró variación en los testigos de malanga Lila y Blanca respecto a las líneas irradiadas.

García (2023) en su estudio de *Xanthosoma* spp. irradiado con rayos X presentó variaciones en la altura de plantas. En quequisque Lila presentó rangos de altura entre 15.85-30.50 cm. En quequisque Blanco se presentaron alturas de planta entre 12-34.80 cm respectivamente. De acuerdo con el estudio no hubo diferencias significativas en el número de hojas.

Avendaño *et al.*, (2021) en su estudio de radiación gamma en *Coffea arabica* L. presentó rangos de alturas de plantas entre 80-90 cm, indicando una altura uniforme de las líneas evaluadas (10 Gy, 50 Gy y Testigo) producto de la irradiación gamma.

Toda la información registrada en la caracterización morfológica *in vitro* e invernadero de estos materiales nos puede dar una idea de la variabilidad resultante y se debe continuar con la selección de líneas que muestren características que puedan ser útil en la mejora genética del cultivo.

La variaciones observadas en malanga Lila y Blanca provocada por las dosis de irradiación de rayos gamma es una reserva genética disponible para el mejoramiento genético del cultivo, las inducciones en los dos cultivares con diferentes dosis de irradiación muestran una variabilidad genética, caracterizar y documentar estos cambios es una acción necesaria para continuar el proceso de selección en invernadero que implica exponer las plantas a estrés hídrico. Dependiendo de la respuesta de la planta a esta exposición, se puede realizar una selección para revelar el nivel de resistencia que pueden exhibir algunas plantas mutantes.

## VI. CONCLUSIONES

La tasa de multiplicación en etapa *in vitro* predominante de malanga Lila y Blanca irradiada con rayos gamma fue de uno a dos brotes en cada etapa de multiplicación evaluada, no hubo variación con relación a las dosis de irradiación o de las etapas.

La irradiación con rayos gamma en las plantas *in vitro* establecidas en invernadero de malanga Lila y Blanca obtuvo efecto en la morfología de las hojas, se registraron cambios en la forma de la base, ápice, lóbulos, bordes, nervaduras, textura y tamaño de la lámina foliar.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Evaluar otras variables como por ejemplo el contenido de clorofila con el fin de ayudar en la selección de líneas mutantes.

Determinar en campo el comportamiento de las plantas irradiadas para evaluar tolerancia a factores bióticos, abióticos y comparar rendimientos con materiales testigo.

Realizar conteo de cromosomas a partir de citometría de flujo para determinar variantes poliploides en ambos cultivares de malanga irradiadas.

## VIII. LITERATURA CITADA

- 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.
- Ali, A. J., Xu, J. L., Ismail, A. M., Fu, B. Y., Vijaykumar, C. H. M., Gao, Y. M., ... Li, Z. K. (2006). Hidden diversity for abiotic and biotic stress tolerances in the primary gene pool of rice revealed by a large backcross breeding program. *Field Crops Research*, 97(1), 66-76.
- Avendaño-Arrazate, C. H., Gómez-Simuta, Y., Martínez-Bolaños, M., Méndez-López, I., Ortíz-Curiel, S., Ariza-Flores, R., ... Reyes-López, D. (2021). *Radiación gamma de  $^{60}\text{Co}$  en características morfológicas y reproductivas de plantas M1 en *Coffea arabica* L. Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(1).
- Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, p., Rodriguez, B., Medellín, C., y Fung, E. (2014). *La agricultura de Nicaragua y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?* Repositorio CGSpace. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/45944/PB%20Nicaragua.pdf>
- Castillo, A. (2004). *Propagación de plantas por cultivo in vitro: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo*. Las Brujas, Uruguay: AR-VITRO, INIA.
- García Salazar, C.A. (2023). *Cambios morfológicos en plantas de quequisque (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott y *Xanthosoma violaceum* L. Schott) establecidas in vitro e invernadero irradiadas con rayos X*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria].
- Gil, L. (2017). *La cultura y la tecnología nuclear confluyen en el Brasil*. Boletín de la OIEA. [https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull/bull581\\_mar2017\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull/bull581_mar2017_es.pdf)
- Góngora García, K. J. (2016). *Morfología, rendimiento y calidad organoléptica de 25 genotipos introducidos de malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) y seis naturalizados en Nicaragua. San Ramón, Matagalpa, 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3424/1/tnf30g638.pdf>
- González, A., Acevedo, E., Acín, N., Bosques, A., Cardona, J., Cruz, C., ... & Goenaga, R. (2011). *Conjunto tecnológico para la producción de Raíces y Tubérculos*. Mayagüez, Puerto Rico: Recinto Universitario de Mayagüez.
- Gupta, P. K., y Durzan, D. J. (1985). *Biotechnology of somatic embryogenesis*. *In vitro Cellular and Developmental Biology Plant*, 21(6), 267-271.
- Gutiérrez Sánchez, Y., Robaina, A., Bauta, R. M., Raya, A., Santos, A. Basail, M., López, J., Mederos, V., Beovides, Y. y Rodríguez, D. (2018). Influencia de la edad fisiológica de la planta donante sobre contaminantes microbianos en la micropropagación de *Colocasia Esculenta* (L) Schott. [https://www.engormix.com/agricultura/microbiologia-agricola/influencia-edad-fisiologica-planta\\_a42112/](https://www.engormix.com/agricultura/microbiologia-agricola/influencia-edad-fisiologica-planta_a42112/).

- Guzmán Vásquez, J. D. (2016). *Caracterización fenotípica de un cultivo de papa criolla (Solanum tuberosum grupo phureja, variedad criolla colombiana) irradiada con cobalto 60 ubicado en el municipio El Rosal, Finca El Pino Km 16 vía Subachoque, Cundinamarca.*
- Hasim, A. A., Shamsiah, A., y Hussein, S. (2021, May). *Induced mutations using gamma ray and multiplication of plantlet through micro cross section culture of banana (Musa acuminata cv. Berangan).* In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 757, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- 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* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).
- Hernández, Yuniet, y González, María E. (2010). *Efectos de la contaminación microbiana y oxidación fenólica en el establecimiento in vitro de frutales perennes.* Cultivos Tropicales, 31(4), 00. Recuperado en 15 de mayo de 2023, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362010000400015&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000400015&lng=es&tlng=es). <http://www.publicacions.ub.es/refs/indices/06238.pdf>
- INATEC. (2018). *Manual de raíces y tubérculos.* [https://www.tecnacional.edu.ni/media/Raices\\_y\\_Tuberculos.pdf](https://www.tecnacional.edu.ni/media/Raices_y_Tuberculos.pdf)
- Jankowicz-Cieslak, J., Mba, C., Till, B. J. (2017). *Mutagenesis for Crop Breeding and Functional Genomics.* En J. Jankowicz-Cieslak, T. H. Tai, J. Kumlehn, & B. J. Till (Eds.), *Biotechnologies for Plant Mutation Breeding* (1ra ed., pp. 3-18). Springer Open.
- Kovacs E, Keresztes A (2002) *Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells.* Micron 33(2):199–210.
- Lagoda, P. J. L. (2009). *Networking and fostering of cooperation in plant mutation genetics and breeding: Role of the Joint FAO/IAEA Division.* Induced Plant Mutation in Genomic Era. QY Shu (ed.) Food and Agriculture Organization of The United Nations. Rome, 27-30.
- Lemus, Y., Méndez Natera, J. R., Cedeño, J. R., Gómez Otahola, V. (2002). Radiosensibilidad de dos genotipos de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) a radiaciones gamma *Revista científica UDO Agrícola*, 2. (1) 22-28. [https://www.researchgate.net/publication/28141026\\_Radiosensibilidad\\_de\\_dos\\_genotipos\\_de\\_frijol\\_Vigna\\_unguiculata\\_L\\_Walp\\_a\\_radiaciones\\_gamma](https://www.researchgate.net/publication/28141026_Radiosensibilidad_de_dos_genotipos_de_frijol_Vigna_unguiculata_L_Walp_a_radiaciones_gamma).
- López Zada, m., Vázquez Becalli, E., y López Fleites, R. (1984). *Raíces y Tubérculo.* La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
- Martínez Astorga, J. F., y Téllez Gutiérrez, I. E. (2017). *Aprovechamiento de la malanga (colocasia antiquorum) mediante la elaboración de harina, galleta y empanizador en la planta piloto "Mauricio Díaz Müller" 2017.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio institucional UNAN-Leon. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/6983>

- Micke, A. (1981). *Mejoramiento de las plantas mediante mutaciones inducidas*. OIEA boletín, 23, (3), 50-52. [https://www.iaea.org/sites/default/files/23305485052\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/23305485052_es.pdf)
- Milán Pérez, J. A. (2009). *Apuntes sobre el cambio climático en Nicaragua*. <http://www.cambioclimatico.ineter.gob.ni/bibliografia/Educacion%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico/Apuntes%20sobre%20Cambio%20Climatico%20en%20Nicaragua1.pdf>
- Novak, F & Brunner, H. (1992). *Fitotecnia: Tecnología de mutación inducida para el mejoramiento de los cultivos*. Boletín de la OIEA 4/1992. [https://www.iaea.org/sites/default/files/34405682533\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/34405682533_es.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.
- Oliva, R., Ballesta, F., Oriola, J., y Clária, J. (2004). *Genética médica* (Edición 2004) (3ª ed.).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, (1984). *Conservación de los recursos genéticos de los peces: problemas y recomendaciones. La importancia de la variación genética*. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/ad013s/AD013S00.htm#TOC>
- Reyes Castro, G., Nyman, M. y Rönnberg-Wästljung, A.C. (2005). *Agronomic performance of three cocoyam (Xanthosoma violaceum Schott) genotypes grown in Nicaragua*. *Euphytica* 142.265–272 <https://doi.org/10.1007/s10681-005-2147-5>
- Reyes, G., y Aguilar, M. (2005). *Reproducción acelerada de semilla de quequisque (Xanthosoma sp.) y malanga (Colocasia sp)* <https://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, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional (RiUNA) <https://repositorio.una.edu.ni/2025/1/tnh20r622.pdf>
- Rodríguez, A., García, B., López, C. (2022). *Efectos de la irradiación de rayos gamma en la reducción de planta en cultivos in vitro de Arabidopsis thaliana*. *Revista de Investigación Agrícola*, 18(2), 123-136.
- Sánchez, M. I. (SEPTIEMBRE de 2016). *La tecnología de irradiación*.
- Tullmann, A. (1997). *Utilización de radiaciones gamma en el mejoramiento genético de plantas autógamas*. Curso Mutaciones Inducidas en el mejoramiento de plantas. AIEA-UDO, Núcleo Monagas.
- Ulloa Ramones, G. V. (2013). *Propuesta de recuperación de la malanga: Origen. Historia, Valor nutricional; con la creación de diez menús que enriquecerán la gastronomía del cantón Sucúa* [Monografía, Universidad de Cuenca] <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4711/1/TESIS.pdf>

Walter, R. (2013). Aplicación de la Irradiación gamma. *Irradiador gamma con cámara de Irradiación*. ININ. <https://www.yumpu.com/es/document/read/13657698/aplicacion-de-la-irradiacion-gamma-inin>.

## IX. ANEXOS

Anexo 1. Líneas y tasa de multiplicación del número de brotes producidos en cada etapa M<sub>1</sub>V<sub>2</sub> - M<sub>1</sub>V<sub>5</sub> de plantas *in vitro* de malanga Lila ML10 irradiadas con rayos gamma.

Rango del número de brotes producidos	M <sub>1</sub> V <sub>2</sub>	M <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	M <sub>1</sub> V <sub>4</sub>	M <sub>1</sub> V <sub>5</sub>
0	30, 77	39, 80, 53, 13, 106, 2, 79, 87, 51, 70, 98, 16, 93, 113, 32, 37	62, 49, 21, 25, 52, 71, 3, 4, 11, 59, 73, 6, 8, 5, 15, 37, 43, 77, 83, 64, 58, 9, 36, 24, 12, 54, 42, 51, 17, 18, 72, 101, 104, 106, 110	9, 12, 8, 7, 4, 6, 3, 5
1 - 2	79, 87, 95, 116, 16, 59, 99, 103, 49, 100, 14, 71, 112, 17, 93, 84, 5, 15, 29, 38, 52, 56, 81, 96, 98, 101, 110, 117, 118, 42, 61, 18, 55, 4, 76	4, 10, 18, 29, 33, 38, 42, 69, 81, 95, 100, 110, 112, 116, 55, 72, 54, 62, 119, 31, 56, 36, 3, 17, 89, 21, 61, 57, 83, 14, 15, 43, 77, 58, 6, 8, 64, 25, 67, 96, 11, 101, 59, 5, 24, 30, 49, 103, 122, 104, 73, 97, 46, 99	29, 30, 69, 13, 2	10, 14, 18, 15, 9, 6
3 - 4	97, 119, 57, 67, 72, 2, 28, 43, 46, 62, 69, 80, 89, 91, 122, 54, 13, 73, 113, 24, 3, 37, 104, 10, 106, 25, 70	52, 76, 9, 12, 71		45, 15, 20
5 - 6	56, 6, 8, 9, 21, 64, 11, 12, 102			20, 28
7 - 8	32, 39, 83, 53			38
9	33			
12	31			
15	36			
19	51			
<b>Tasa de multiplicación promedio</b>	3.3	1.37	0.71	1.68

Anexo 2. Líneas y tasa de multiplicación del número de brotes producidos en cada etapa M<sub>1</sub>V<sub>2</sub> - M<sub>1</sub>V<sub>5</sub> de plantas *in vitro* de malanga Lila ML15 irradiadas con rayos gamma.

<b>Rango del número de brotes producidos</b>	<b>M<sub>1</sub>V<sub>2</sub></b>	<b>M<sub>1</sub>V<sub>3</sub></b>	<b>M<sub>1</sub>V<sub>4</sub></b>	<b>M<sub>1</sub>V<sub>5</sub></b>
0	34	69, 47, 77, 66, 2, 68	13, 55, 1, 57, 51, 8, 43, 44, 46, 9, 21, 73, 17, 71, 20, 36, 56, 16, 72, 33	16, 17, 20, 21, 44, 51, 56, 73
1 - 2	10, 24, 41, 52, 55, 74, 2, 16, 38, 58, 68, 33, 32, 45, 66, 69, 71, 77	20, 52, 58, 8, 73, 36, 29, 39, 71, 37, 74, 13, 65, 7, 3, 9, 33, 43, 56, 57, 51, 1, 17	77, 7, 3, 2, 68	46, 55, 57, 68, 73
3 - 4	7, 36, 37, 44, 46, 57, 72, 13, 73, 1, 3, 21, 39, 47, 65, 8, 43, 17	16, 32, 21, 72, 55, 45, 44, 46		28, 16, 32,
5 - 6	51, 20, 29	24		29, 37, 19
7	9			
11	56			47
<b>Tasa de multiplicación promedio</b>	2.66	1.79	0.67	2.45

Anexo 3. Líneas y tasa de multiplicación del número de brotes producidos en cada etapa M<sub>1</sub>V<sub>2</sub> - M<sub>1</sub>V<sub>5</sub> de plantas *in vitro* de malanga Blanca MB15 irradiadas con rayos gamma.

<b>Rango del número de brotes producidos</b>	<b>M<sub>1</sub>V<sub>2</sub></b>	<b>M<sub>1</sub>V<sub>3</sub></b>	<b>M<sub>1</sub>V<sub>4</sub></b>	<b>M<sub>1</sub>V<sub>5</sub></b>
0		17, 27, 33, 42, 39, 41	24, 52, 3, 19, 40, 66, 2, 16, 7, 5, 22, 43, 13, 6, 45, 62, 34, 31, 23	25, 34
1 - 2	21, 29, 40, 1, 4, 22, 25, 36, 42, 46, 47, 48, 31	1, 47, 2, 23, 62, 54, 65, 5, 16, 4, 25, 45, 34, 3, 66, 6, 24, 36, 40, 48, 7	25, 27, 33	6, 23, 31, 43
3 - 4	62, 13, 24, 27, 39, 54, 65, 34, 66, 2, 19, 33, 43, 45, 5	46, 52, 21, 29, 43, 13, 22, 19		16, 22, 62
5 - 6	3, 7, 17, 6			2
8	16, 18, 23, 52			3, 13, 7
<b>Tasa de multiplicación promedio</b>	3.5	1.72	0.60	3.67

Anexo 4. Líneas y tasa de multiplicación del número de brotes producidos en cada etapa M<sub>1</sub>V<sub>2</sub> - M<sub>1</sub>V<sub>5</sub> de plantas *in vitro* de malanga Blanca MB20 irradiadas con rayos gamma.

Rango del número de brotes producidos	M <sub>1</sub> V <sub>2</sub>	M <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	M <sub>1</sub> V <sub>4</sub>	M <sub>1</sub> V <sub>5</sub>
0	5	51,43, 53	18, 7, 21, 19, 6, 26, 44, 25, 12, 33, 42, 34, 2, 39, 31, 29, 53	22, 29
1 - 2	11, 14, 17, 8, 9, 15, 20, 27, 45, 47, 49, 53	8, 20, 45, 50, 6, 44, 33, 42,39, 30, 7, 19, 3, 11, 14, 22, 26, 54, 2, 9, 17, 34, 31, 21, 27, 25, 1, 5, 18, 29, 47, 49	5, 9 , 11, 14, 20, 8, 17, 22, 1, 3	6, 19, 34, 54
3 - 4	39, 51, 21, 29, 7, 1, 3, 22, 33, 42, 43, 54, 2, 30, 50, 25	12		44, 12
6 - 8	26, 44, 6, 19			20, 18
9 - 11	31, 18, 12			1, 7, 14
11				14
17.25				5
19	34			11
21.5				9
31.33				
<b>Tasa de multiplicación promedio</b>	3.90	1.43	0.80	9.30