



Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

## DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

### Trabajo de Tesis

**Inducción *in vitro* a estrés hídrico en líneas de malanga Lila (*Colocasia esculenta* (L.) schott) mediante el uso de Polietilenglicol 6000**

#### Autores

**Br. Sherllyss Jalisseth Rojas Lanzas**  
**Br. Niexell Yair Cruz Pichardo**

#### Asesores

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

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

**Managua, Nicaragua**  
**Octubre, 2024**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la Dirección de <Ciencias Agrícolas> como requisito final para optar al título profesional de:

## **Ingeniero Agrónomo**

---

### Miembros del Comité Evaluador

---

MSc. Hellen Ruth Ramírez  
Presidente

---

MSc. Isaías Sánchez Gómez  
Secretario

---

Ing. Harlem Tania Ríos Peralta  
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 02 de octubre 2024

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de tesis está dedicado a Dios padre celestial por brindarme la vida ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera universitaria, gracias por darme la salud, sabiduría, entendimiento y fuerza para poder hacer realidad este gran sueño.

A mis padres Yadira del Socorro Chavarría y Adonis Antonio Rojas Matamoros por todo su apoyo a pesar de las dificultades, quienes con su esfuerzo y dedicación me han ayudado en todo momento de manera incondicional, por darme la confianza y amor haciendo posible este gran logro.

A mi adorado hermano Adonis Antonio Rojas Lanzas por brindarme tanto apoyo a lo largo de este camino.

A mi novio Niexell Yair Cruz Pichardo por todo su apoyo incondicional a lo largo de este gran camino, gracias por siempre estar ahí a mi lado en las buenas y las malas. Este trabajo no fue fácil, pero con tu ayuda y compañía hoy podemos decir que lo logramos.

**Br. Sherlyss Jalisseth Rojas Lanzas**

## **DEDICATORIA**

A Dios padre celestial, que sin la ayuda de él no es posible nada, por darme la fuerza, sabiduría y enseñanza para seguir adelante cumpliendo mis metas y sueños.

A mis padres María Clementina Pichardo Aguilera y Julio Cesar Cruz Acuña por ser el apoyo incondicional, la base fundamental de mi formación personal y académica, siendo ellos mi inspiración para seguir adelante a pesar de las adversidades, por regalarme la vida, darme sus sacrificios y apoyo económico para llegar a este punto de culminación de mi carrera.

A mi hermana Xitlali Betsaida Cruz Pichardo por brindarme su tiempo, ser mi apoyo y ayuda.

A mi novia Sherllyss Jalisseth Rojas Lanzas por estar siempre conmigo en esta etapa de mi vida, por brindarme su apoyo y ayuda para hoy estar donde estamos.

**Br. Niexell Yair Cruz Pichardo**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios nuestro, por la salud y fuerza para poder culminar este gran sueño que hoy es una realidad.

A mis padres Yadira Del Socorro Chavarría y Adonis Antonio Rojas Matamoros por ser unos padres admirables, ejemplares, trabajadores, luchadores por guiarme siempre por el buen camino y por todo su amor, apoyo incondicional y sacrificio.

A mi hermano Adonis Antonio Rojas Lanzas por siempre haber estado para mi ante cualquier circunstancia y su apoyo.

A mi novio Niexell Yair Cruz Pichardo por toda la ayuda que me ha brindado en este largo camino ha sido sumamente importante, gracias por estar a mi lado siempre apoyándome en todo, para poder hoy estar culminando este gran sueño, que es de ambos.

A mis asesores MSc. Rosario García Loaisiga, MSc. Heeidy Corea Narváez, PhD. Guillermo del Carmen Reyes Castro agradecida infinitamente por el tiempo, dedicación y esfuerzo que nos brindaron en todo este proceso para poder culminar y poder graduarnos como Ing. Agrónomo mis respeto y admiración para con ustedes.

A mis compañeros de carrera Br. Carlos Morales, Br. Yorleni Murillo, Br. Mildre Castillo, Br. Luis Miguel Delgado. Gracias por brindarme una hermosa y sincera amistad por todos esos momentos malos y buenos que vivimos en esta etapa universitaria.

**Br. Sherlyss Jalisseth Rojas Lanzas**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por darme la fuerza, sabiduría e inteligencia para hoy estar donde estoy, por ayudarme a cruzar las adversidades que en esta etapa encontré.

A mis padres María Clementina Pichardo Aguilera y Julio Cesar Cruz Acuña por ser un ejemplo a seguir, por ser la luz en mis amaneceres alentándome todos los días para seguir adelante, por su apoyo, dedicación y paciencia a mis estudios.

A mi novia Sherllyss Jalisseth Rojas Lanzas por brindarme su apoyo y confianza en todo momento, por estar conmigo en las buenas y las malas.

A mi compañero de cuarto Luis Miguel Delgado Santos por brindarme su apoyo, amistad y tiempo, por haber compartido momentos de calidad.

A mis amigos Br. Carlos Enrique Lagos Morales, Br. Yorleni Madelei Murillo Gaitán, Br. Mildre Castillo Torrez por brindarme su amistad, respeto y cariño, por estar conmigo siempre que los necesitaba.

A mis asesores MSc. Rosario García, MSc. Heeidy Corea y PhD. Guillermo del Carmen Reyes Castro por su paciencia, amistad y calidad de enseñanza brindada en toda esta etapa universitaria.

**Br. Niexell Yair Cruz Pichardo**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVO</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
<b>III. MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>4</b>
3.1 Generalidades del cultivo de malanga	4
3.1.1 Origen e historia	4
3.1.2 Clasificación taxonómica	4
3.1.3 Morfología de la malanga	4
3.1.4 Reproducción asexual	4
3.1.5 Importancia económica de la malanga en Nicaragua	5
3.2. Afectación del cambio climático en el cultivo	5
3.3 Estrés hídrico	5
3.4 Efecto del estrés hídrico en las plantas	5
3.5 Rayos gamma	6
3.6 Agentes inductores de estrés <i>in vitro</i>	6
3.7 Polietilenglicol	6
3.7.1 Efecto del polietilenglicol 6000	6
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>7</b>
4.1 Ubicación del estudio	7

4.2	Diseño metodológico	7
4.3	Material vegetal	7
4.4	Medio de cultivo	8
4.5	Variables evaluadas <i>in vitro</i>	8
4.5.1	Altura de planta (cm)	8
4.5.2	Número de hojas	9
4.5.3	Número de raíces	9
4.5.4	Largo de raíces (cm)	9
4.5.5	Peso fresco de planta (g)	9
4.5.6	Porcentaje de plantas con hojas	9
4.5.7	Porcentaje de plantas con hojas abiertas y cerradas	9
4.5.8	Porcentaje de plantas con raíces	9
4.5.9	Porcentaje de plantas con brotes	9
4.6	Análisis de datos	10
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>11</b>
5.1	Efecto de las dosis de PEG 6000 sobre la morfología de plantas <i>in vitro</i> de malanga Lila.	11
5.2	Efecto de PEG 6000 sobre las líneas de malanga Lila.	12
5.3	Variables porcentuales (plantas con hojas y sin hojas; hojas cerradas y abiertas; con raíces y sin raíces; con brotes y sin brotes) del factor dosis de PEG 6000	15
5.4	variables morfológicas del factor líneas de malanga Lila.	16
5.5	Variables porcentuales (plantas con hojas y sin hojas; hojas cerradas y abiertas; con raíces y sin raíces; con brotes y sin brotes) del factor líneas de malanga Lila	18
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>20</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>21</b>
<b>VIII.</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>22</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>26</b>

---

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Factores Líneas de malanga Lila y dosis de Polietilenglicol 6000 y sus niveles en el estudio inducción al estrés hídrico	7
2	Análisis de varianza y separación de medias por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de planta (g) de las plantas según el factor dosis de PEG 6000	11
3	Análisis de varianza y separación de medias por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de planta (g) de la línea de malanga Lila MLT, según dosis de PEG 6000	12
4	Análisis de varianza y separación de medias por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de planta (g) de la línea de malanga Lila ML15-7, según las dosis de PEG 6000	13
5	Análisis de varianza y separación de medias por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de planta (g) de la línea de malanga Lila ML15-16, según dosis de PEG 6000	13
6	Análisis de varianza y separación de medias por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de planta (g) de la línea de malanga Lila ML15-44, según dosis de PEG 6000	14
7	Análisis de varianza y separación de medias por Tukey de las variables morfológicas altura de plantas (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de planta (g) de la línea de malanga Lila ML15-66, según dosis de PEG 6000	14
8	Análisis de varianza y separación de medias por Tukey de las variables morfológicas altura de plantas (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de planta (g) de las líneas de malanga Lila MLT, ML15-7, ML15-16, ML15-44 y ML15-66	16

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Material vegetal de vitropantas de malanga Lila de más de cinco cm de altura y explantes de 1 cm para establecimiento en el medio de cultivo con Polietilenglicol 6000	8
2	Vitroplantas de malanga Lila inducidas a estrés hídrico con diferentes dosis de polietilenglicol 6000 (sin aplicación, 100, 120, 140 g l <sup>-1</sup> ) a los 28 días después de establecidas.	11
3	Porcentaje de: a. plantas con hojas y sin hojas; b. plantas con hojas cerradas y abiertas; c. plantas con raíces y sin raíces; d. plantas con brotes y sin brotes, evaluadas a los 28 días después de la inducción a estrés hídrico del factor dosis de polietilenglicol 6000	15
4	Porcentaje por línea de: a. plantas con hojas y sin hojas; b. plantas con hojas cerradas y abiertas; c. plantas con raíces y sin raíces; d. plantas con brotes y sin brotes, evaluadas a los 28 días después de la inducción a estrés hídrico con PEG 6000 del factor líneas de malanga Lila	18

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1 Vitroplantas de la línea de malanga lila MLT en las dosis de polietilenglicol 6000	26
2 Vitroplantas de la línea de malanga Lila ML15-7 en las dosis de polietilenglicol 6000	26
3 Vitroplantas de la línea de malanga Lila ML15-16 en las dosis de polietilenglicol 6000	26
4 Vitroplantas de la línea de malanga Lila ML15-44 en las dosis de polietilenglicol 6000	27
5 Vitroplantas de la línea de malanga Lila ML15-66 en las dosis de polietilenglicol 6000	27

## RESUMEN

La malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott.), es originaria del sureste y pacífico asiático, entre India e Indonesia. En Nicaragua los agricultores establecen los cultivares de malanga Lila y Blanca. El cultivo requiere de altas precipitaciones entre 1,800 a 2,500 mm al año. Debido al cambio climático la malanga Lila está expuesta a un mayor riesgo a causa de las altas temperaturas y disminución en los regímenes de lluvia. A nivel de laboratorio, con el empleo de agentes estresantes, es posible simular condiciones de estrés hídrico. En la presente investigación se evaluó la inducción al estrés hídrico en cuatro líneas de malanga mediante el uso de PEG 6000 *in vitro*, se sometieron las líneas ML T (testigo), ML15-7, ML15-16, ML15-44, ML15-66 de malanga Lila previamente irradiadas con 15 Grays de rayos gamma a estrés hídrico mediante la aplicación de las dosis de 0 (sin aplicación), 100, 120 y 140 g l<sup>-1</sup> de PEG 6000 *in vitro*. Se evaluaron las variables morfológicas. En el factor dosis de PEG 6000 hubo diferencias significativas en todas las variables evaluadas. Las vitroplantas sin aplicación de PEG 6000 presentaron mayor altura de vitroplanta, número de hojas, número de raíces, largo de raíces y peso fresco. En todas las líneas en estudio las vitroplantas sin aplicación de PEG 6000 presentaron valores más altos en las variables evaluadas. En el factor línea de malanga Lila, la línea ML15-66, presentó mayor porcentaje de vitroplantas con brotes y fue una de las líneas con mayor porcentaje de vitroplantas con hojas abiertas y raíces, mostrando indicios de tolerancia al estrés hídrico sobre las demás líneas incluyendo la ML T (testigo).

**Palabras clave:** Rayos gamma, irradiación, agentes osmoestresantes, tolerancia.

## ABSTRACT

Taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott.) is native to Southeast Asia and the Pacific, between India and Indonesia. In Nicaragua farmers establish the Lila and Blanca taro cultivars. The crop requires high rainfall between 1,800 and 2,500 mm per year. Due to climate change, the Lila taro is exposed to a greater risk due to high temperatures and decreased rainfall patterns. At the laboratory level, with the use of stress agents, it is possible to simulate water stress conditions. In this investigation, the induction to water stress in four taro lines was evaluated through the use of *in vitro* PEG 6000. The lines ML T (control), ML15-7, ML15-16, ML15-44, ML15-66 of taro Lila previously irradiated with 15 Grays of gamma rays were subjected to water stress through with no application and application of 100, 120 and 140 g l<sup>-1</sup> of *in vitro* PEG 6000. Morphological variables were evaluated. In the factor dose of PEG 6000 there were significant differences in all the variables evaluated. The vitroplants without PEG 6000 application presented greater vitroplant height, leaves number, roots number, root length and fresh weight. In all the lines under study, the vitroplants without PEG 6000 application presented higher values in the variables evaluated. In the factor Lila taro line, the ML15-66 line presented a higher percentage of vitroplants with shoots and was one of the lines with the highest percentage of vitroplants with open leaves and roots, showing signs of tolerance to water stress over the other lines including the ML T (control).

**Key words:** Gamma rays, irradiation, omoestress agent, tolerance.

## I. INTRODUCCIÓN

La malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott.), es originaria del sureste y pacífico asiático, entre India e Indonesia (García, *et al.*, 2006). Fue domesticada en el centro sur de Asia, probablemente en India o Malasia, durante la prehistoria se extendió a las islas del pacífico (López *et al.*, 1984). La malanga llegó a las Islas Canarias y desde este archipiélago se introdujo a América, donde fueron introducidos Cultivares desde Egipto y África tropical (Villalta, 2011).

En Nicaragua los agricultores establecen los cultivares de malanga Lila y malanga Blanca, cultivadas de manera artesanal en pequeñas áreas (Enríquez y Mairena, 2011). Existen varias regiones en Nicaragua que cuentan con las condiciones adecuadas para la explotación de malanga, lo que lo hace un cultivo con alto potencial para su implementación en el país (Arróliga y Blandón 2015).

El cultivar malanga Lila es el de mayor producción con 25.4 t ha<sup>-1</sup>, siendo también de mayor consumo nacional y el único que se exporta (Mancero y Cifuentes, 2009). De acuerdo al Centro de Trámites de las Exportaciones [CETREX] (2022), se exportaron 6,636.77 toneladas de malanga y quequisque en Nicaragua en el año 2022.

La malanga es un cultivo que se puede establecer en lugares donde otros cultivos no se desarrollan, como en lugares bajos, orillas de ríos y lugares propensos a inundaciones, puesto que la malanga es una planta que demanda abundante agua durante toda la etapa de desarrollo (Zapata y Velásquez, 2013), requiere precipitaciones de 1,800 a 2,500 mm al año, estas deben de estar distribuidos durante el ciclo biológico de la planta para lograr una producción adecuada (López *et al.*, 1984).

En el futuro debido al cambio climático todos los cultivos se verán expuestos a un mayor riesgo a causa de las altas temperaturas, la agricultura es extremadamente vulnerable a estos factores, los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo (Gerald *et al.*, 2009).

A raíz de esta problemática surge la necesidad de producir nuevas variedades, complementándolo con nuevas técnicas de producción, con el objetivo de disminuir los posibles problemas que surgirán en la producción a causa del cambio climático (Gutiérrez *et al.*, 2002).

La inducción de mutaciones es una alternativa para generar variabilidad genética y obtener variedades (Rangaiah, 2006). Para el mejoramiento genético se han empleado agentes mutagénicos como son los rayos gamma que combinado con las técnicas biotecnológicas y nucleares ayudan a acelerar el proceso de mejora empleando selección *in vitro* que permiten con facilidad tratar gran número de individuos, lo que brinda la posibilidad de ahorro de tiempo y trabajo desde los inicios (González Cepero *et al.*, 2020; Gómez Kosky, R. 1998).

A nivel de laboratorio, con el empleo de agentes estresantes, es posible simular condiciones de estrés hídrico. Para este fin el soluto más utilizado es el Polietilenglicol 6000 (PEG) puesto que permite mantener el medio experimental a valores predeterminados de potencial hídrico y es capaz de competir con la célula por el agua, debido a su alto peso molecular (Rai *et al.*, 2011).

En Nicaragua la Universidad Nacional Agraria inició el proyecto “ampliación de la variabilidad genética de cultivos de propagación vegetativa empleando técnicas nucleares”, donde se irradió vitroplantas de malanga Lila y Blanca con rayos gamma en el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN) La Habana Cuba, posteriormente fueron multiplicadas y conservadas *in vitro* en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua.

En la presente investigación se sometieron cuatro líneas de malanga Lila irradiadas con rayos gamma y una sin irradiar a estrés hídrico mediante la aplicación de diferentes dosis de PEG 6000 *in vitro* simulando de esta manera un suelo compacto e induciendo a estrés hídrico las vitroplantas, con el propósito de conocer la tolerancia que tienen las líneas irradiadas y realizar una preselección *in vitro* de líneas que muestren indicios de tolerancia al estrés hídrico durante la etapa de laboratorio.

## **II. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar la inducción al estrés hídrico en líneas de malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) mediante el uso de PEG 6000 *in vitro*.

### **2.2 Objetivos específicos**

Evaluar el efecto en la morfología de las plantas de malanga Lila *in vitro* en tres dosis de polietilenglicol 6000.

Evaluar el efecto de tres dosis de polietilenglicol 6000 sobre la morfología de vitroplantas de cinco líneas de malanga Lila en condiciones *in vitro*.

Estimar la respuesta morfológica de cinco líneas de malanga Lila inducidas a estrés hídrico mediante la aplicación de polietilenglicol 6000.

### III. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 Generalidades del cultivo de malanga

##### 3.1.1 Origen e historia

El cultivo de la malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) es un tubérculo comestible que pertenece a la familia de las *Araceae*, se encuentra entre los primeros cultivos domesticados por el hombre. Su historia puede seguirse hasta las culturas neolíticas más primitivas. El sitio en el que se inició este cultivo con más frecuencia es el sudeste de Asia (Montaldo, 1991).

##### 3.1.2 Clasificación taxonómica

La malanga es una planta perteneciente al reino vegetal de la clase Angiospermae, con una subclase Monocotyledoneae, del orden Spathiflorae, familia de las Araceae, género *Colocasia* de la especie *esculenta* (L.) Schott (López *et al.*, 1984).

##### 3.1.3 Morfología de la malanga

Según el Instituto Nacional Técnico y Tecnológico INATEC (2018) afirma que:

Las plantas de malanga son herbáceas suculentas que alcanzan alturas de 1–3 metros, 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), las raíces son múltiples distribuidas uniformemente alrededor del tallo subterráneo, suaves, suculentas con unos 0.80 a 1.20 metros de largo y un grosor de 3 a 5 mm de diámetro, el tallo es céntrico elipsoidal subterráneo conocido como cormo, el cual es el producto de interés comercial, las hojas son por lo general de forma peltada aparecen enrolladas por la base formando un tallo corto.

##### 3.1.4 Reproducción asexual

La malanga se propaga de forma asexual la semilla o propágulo, origina referencia al material vegetal que se ocupa para sembrar malanga, se pueden utilizar dos partes de la planta de malanga, los cormos o las plántulas nuevas (hijuelos), dependiendo de la disponibilidad de materiales (INATEC, 2018).

### **3.1.5 Importancia económica de la malanga en Nicaragua**

Según Villalta (2011) afirma que:

Un cultivo que ha venido tomando un auge significativo a nivel nacional es el cultivo de malanga, el que representa un enorme potencial para mejorar la economía local, a nivel nacional dicho cultivo ha tenido un crecimiento en su agro exportación que en general representa el 5.7% de incremento anual de la oferta a nivel mundial.

### **3.2. Afectación del cambio climático en el cultivo**

Según Gerald *et al.* (2009), argumentan que:

En el futuro debido al cambio climático los cultivos se verán expuestos a un mayor riesgo a causa de las altas temperaturas. La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y plagas. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo, a raíz de esta problemática surge la necesidad de producir nuevas variedades, complementándolo con nuevas técnicas de producción esto con el objetivo de disminuir los posibles problemas que surgirán en la seguridad alimentaria a causa del cambio climático.

### **3.3 Estrés hídrico**

El estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso de agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua, el déficit hídrico no solo ocurre cuando hay poca agua, también cuando hay temperaturas bajas y alta salinidad en el suelo, estas condiciones son capaces de inducir una disminución del agua disponible en la planta (Bacallo y Fundora, 2014).

### **3.4 Efecto del estrés hídrico en las plantas**

Según Bacallo y Fundora (2014)

En general, el déficit hídrico afecta cada aspecto del crecimiento de la planta que involucra la anatomía, morfología, fisiología y bioquímica. Entre los efectos generales

más obvios de estrés hídrico son los fallos en la germinación, la reducción en la altura de la planta, área foliar y rendimiento del cultivo.

### **3.5 Rayos gamma**

Los rayos gamma es un tipo de radiación electromagnética producida generalmente por elementos radioactivos o procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón. los rayos gamma constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa o beta. (Gil, 2017)

El uso de radiación gamma permite generar variabilidad intraespecífica y determinar el rango de radiosensibilidad (RRS) para el mejoramiento de plantas a través de mutagénesis. Dada su alta energía pueden causar grave daño al núcleo de las células, por lo que son usados para esterilizar equipos médicos y alimentos. (Nurilmalda *et al.*, 2017)

### **3.6 Agentes inductores de estrés *in vitro***

(Rai *et al.*, 2011) menciona que “Algunas de las sustancias inductoras de estrés o bien llamadas “osmoestresantes” más utilizadas son el manitol, sorbitol, sacarosa y polietilenglicol (PEG). De todas ellas, la última es una de las más empleadas”.

### **3.7 Polietilenglicol**

Es un polímero de cadena larga, inerte y no iónico. También conocido como óxido de polietileno (PEO) o polioxietileno (POE), es un poliéter sintético, hidrófilo y biocompatible. Normalmente se conocen como PEG los materiales con un peso molecular inferior a 20 000 g/mol, mientras que los materiales con un peso molecular superior a 20 000 g/mol se conocen como PEO. Estos polímeros son solubles en agua, así como en muchos disolventes orgánicos (Cell Chemical Compans, 2000)

#### **3.7.1 Efecto del polietilenglicol 6000**

Para seleccionar *in vitro* plantas tolerantes a déficit hídrico, a nivel de laboratorio se usan sustancias denominadas osmoestresante, el polietilenglicol (PEG) es una de ellas que al incorporarse a los medios de cultivo disminuyen su potencial osmótico, retienen las moléculas de agua y dificultan su absorción por parte de los tejidos vegetales, de tal forma se puede inducir en las plantas una sequía fisiológica. Y de esta manera se pueden seleccionar solo aquellas plantas que resistan las condiciones de estrés (Rai *et al.*, 2011).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, perteneciente a la Universidad Nacional Agraria (UNA), ubicada en el kilómetro 12.5 carretera Norte Managua, con coordenadas 12°08'58.3" latitud Norte y 86°09'37" longitud oeste.

### 4.2 Diseño metodológico

La investigación fue de carácter experimental y se utilizó el Diseño Completo al Azar (DCA) con dos factores en estudios: líneas de malanga Lila (MLT, ML15-7, ML15-16, ML15-44, ML15-66) y dosis de PEG 6000 (sin aplicación, 100,120,140) (Cuadro 1). Todas las líneas de malanga fueron establecidas en todas las dosis de PEG 6000. Se utilizaron 10 vitroplantas por dosis (40 por línea), para un total de 200 vitroplantas evaluadas.

Cuadro 1. Factores Líneas de malanga Lila y dosis de Polietilenglicol 6000 y sus niveles en el estudio inducción al estrés hídrico

<b>Factor A</b>	<b>Factor B</b>
<b>Líneas de malanga Lila</b>	<b>Dosis de Polietilenglicol 6000 (g l<sup>-1</sup>)</b>
ML T (sin irradiación)	Sin aplicación
ML15 <sup>*</sup> -7 <sup>**</sup>	100
ML15-16	120
ML15-44	140
ML15-66	

\*ML15 (malanga Lila con 15 Gray de irradiación gamma); \*\* número de línea

### 4.3 Material vegetal

Las líneas de malanga Lila ML15-7, ML15-16, ML15-44, ML15-66 utilizadas en esta investigación fueron previamente sometidas al proceso de irradiación de rayos gamma con 15 Gray (Gy), con un irradiador modelo ISOGAMMA LL-Co, con una fuente de cobalto 60, ubicado en el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN) La Habana Cuba (González Padilla, 2023). La línea MLT no fue sometida a ningún proceso de irradiación.

Las vitroplantas seleccionadas para la investigación fueron, plantas vigorosas con una altura aproximada de 5 cm, con dos o tres hojas y de 0.5 cm de diámetro. Se redujo el tamaño a 1 cm de altura (figura 1) para establecerla en el medio de cultivo.

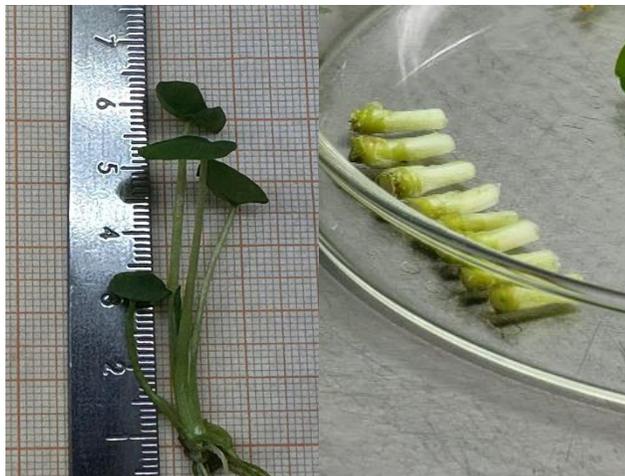


Figura 1. Material vegetal de vitroplantas de malanga Lila de más de cinco cm de altura y explantes de 1 cm para establecimiento en el medio de cultivo con PEG 6000.

#### **4.4 Medio de cultivo**

El medio de cultivo utilizado para el desarrollo y crecimiento de las vitroplantas evaluadas fue Murashige y Skoog (MS) + 1mg l<sup>-1</sup> de Ácido Indol Acético (AIA) más las dosis respectivas de PEG 6000.

#### **4.5 Variables evaluadas**

Se evaluaron variables morfológicas en las vitroplantas a los 28 días después de establecidas (dde) en los medios de cultivos, con las diferentes dosis de PEG 6000. Se utilizaron diez vitroplantas por dosis y por cada línea.

Las variables morfológicas evaluadas fueron las siguientes:

##### **4.5.1 Altura de planta (cm)**

Se utilizó una hoja de papel milimetrado estéril para medir las vitroplantas a partir de la base del tallo hasta la parte de la inserción del peciolo tomando como referencia la hoja de mayor altura.

#### **4.5.2 Número de hojas**

Se contabilizó de manera visual y con ayuda de una pinza el número de hojas totales por cada vitroplanta por cada línea.

#### **4.5.3 Número de raíces**

Se contabilizó de manera visual y con ayuda de una pinza el número de raíces totales por vitroplanta de cada línea.

#### **4.5.4 Largo de raíces (cm)**

Se colocó las vitroplantas sobre una hoja de papel milimetrado esterilizado y se midió la raíz de mayor longitud.

#### **4.5.5 Peso fresco de planta (g)**

Se pesó colocando cada vitroplantas sobre una hoja de papel estéril en una balanza analítica.

#### **4.5.6 Porcentaje de plantas con hojas**

Se contabilizó la cantidad de vitroplantas con hojas y se realizó el porcentaje según el número total.

#### **4.5.7 Porcentaje de plantas con hojas abiertas y cerradas**

Se contabilizó la cantidad de vitroplantas que presentaron hojas cerradas y abiertas y se realizó el porcentaje según el número total.

#### **4.5.8 Porcentaje de plantas con raíces**

Se contabilizó el número de vitroplantas con raíces y se realizó el porcentaje según el número total.

#### **4.5.9 Porcentaje de plantas con brotes**

Se contabilizó el número de vitroplantas que presentaron brotes y se realizó el porcentaje según el número total.

#### **4.6 Análisis de datos**

A las variables altura de la vitroplanta, número de hojas, número de raíces, largo de raíces y peso fresco se les realizó un análisis de varianza ANDEVA y separación de media de Tukey utilizando el programa estadístico INFOSTAT versión 2020e.

Las variables de porcentaje de vitroplantas con hojas, hojas cerradas y abiertas, raíces y brotes se les realizó un gráfico de barras para representar los datos utilizando en el software Microsoft Excel.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Efecto de las dosis de PEG 6000 sobre la morfología de plantas *in vitro* de malanga Lila.

En el factor dosis de PEG 6000 hubo diferencias significativas en todas las variables evaluadas. Las vitroplantas sin aplicación presentaron mayor altura de plantas, número de hojas, número de raíces, largo de raíces y peso fresco (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza y separación de media por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco (g) de planta según el factor dosis de PEG 6000

Dosis de PEG 6000 (g l <sup>-1</sup> )	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Número de raíces	Largo de raíces (cm)	Peso fresco de planta (g)
Sin aplicación	2.76 a	4.80 a	6.26 a	5.37 a	0.32 a
100	1.36 b	2.18 b	1.04 b	2.71 b	0.17 b
120	1.26 b	2.26 b	0.90 b	1.75 b	0.15 b
140	1.30 b	2.06 b	0.84 b	1.15 b	0.14 b
R <sup>2</sup>	0.83	0.79	0.90	0.86	0.79
P-valor ( $\alpha < 0.05$ )	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; medias con letras iguales no hay significancia estadística

Entre las dosis de PEG 6000 que fueron utilizadas para la inducción a estrés hídrico a líneas de malanga Lila, las vitroplantas sin aplicación de PEG 6000 presentaron mejores valores en todas las variables y se observó una disminución de valores en las variables morfológicas a medida que las dosis de PEG 6000 aumentaban (Figura 2).



Figura 2. Vitroplantas de malanga Lila inducidas a estrés hídrico con diferentes dosis de polietilenglicol 6000 (sin aplicación, 100, 120, 140 g l<sup>-1</sup>) a los 28 días después de establecidas.

García (2015) menciona que el “PEG 6000, se utiliza como agente osmoestresante, para la simulación de condiciones de estrés hídrico *in vitro*”. Arango (1999) indica que provoca la saturación de la membrana semipermeable, inhibiendo de esta manera la entrada de agua a la planta, debido a la diferencia de presión entre el potencial químico del agua en la planta y la alta concentración de la solución osmoestresante (medio de cultivo PEG 6000). Generando así una ósmosis directa, creando una presión para detener el solvente a través de la membrana semipermeable (Moreno, 2009).

## 5.2 Efecto de PEG 6000 sobre las líneas de malanga Lila.

En la línea MLT hubo significancia estadística entre las dosis en las variables altura de las plantas, número de hojas, número de raíces y peso fresco de las vitroplantas. No hubo diferencias estadísticas en la variable largo de raíces. Las vitroplantas sin aplicación de PEG 6000 presentaron mayor altura de planta, número de hojas, raíces y peso fresco (Cuadro 3) (Anexo 1).

Cuadro 3. Análisis de varianza y separación de media por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco (g) de la línea de malanga Lila MLT, según las dosis de PEG 6000

Dosis de PEG 6000 (g l <sup>-1</sup> )	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Número de raíces	Largo de raíces (cm)	Peso fresco de planta (g)
Sin aplicación	2.87 a	2.80 a	6.80 a	4.23 a	0.32 a
100	1.56 b	1.30 ab	0.70 b	6.16 a	0.25 a
120	1.23 b	1.00 ab	0.50 b	2.30 a	0.25 b
140	1.30 b	0.70 b	0.30 b	0.48 a	0.12 b
R <sup>2</sup>	0.84	0.67	0.94	0.79	0.88
P-valor ( $\alpha < 0.05$ )	0.0002	0.026	<0.0001	0.5367	<0.0001

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; medias con letras iguales no hay significancia estadística

En la línea ML15-7 hubo significancia estadística entre las dosis en las variables altura de plantas, número de hojas, número de raíces y largo de raíces. En la variable peso fresco no hubo significancia entre las dosis. Las vitroplantas sin aplicación de PEG 6000 presentaron mayor altura de vitroplanta, número de hojas y raíces y largo de raíces (Cuadro 4) (Anexo 2).

Cuadro 4. Análisis de varianza y separación de media por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de las plantas (g) de la línea de malanga Lila M15-7, según las dosis de PEG 6000

<b>Dosis de PEG 6000 (g l<sup>-1</sup>)</b>	<b>Altura de planta (cm)</b>	<b>Número de hojas</b>	<b>Número de raíces</b>	<b>Largo de raíces (cm)</b>	<b>Peso fresco de planta (g)</b>
Sin aplicación	2.20 a	5.10 a	5.60 a	2.98 a	0.23 a
100	1.07 b	2.60 b	1.00 b	1.15 ab	0.10 a
120	1.36 b	2.70 b	1.50 b	0.92 b	0.16 a
140	1.07 b	2.00 b	0.80 b	0.64 b	0.10 a
R <sup>2</sup>	0.60	0.90	0.84	0.65	0.51
P-valor ( $\alpha < 0.05$ )	0.0286	<0.0001	0.0001	0.0332	0.0669

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; medias con letras iguales no hay significancia estadística

En la línea ML15-16 no hubo significancia estadística entre las dosis en las variables altura de planta, número de hojas, largo de raíces y peso fresco. Las plantas sin aplicación de PEG 6000 presentaron mayor altura de planta, número de hojas, raíces, largo de raíces y peso fresco. En la variable número de raíces si hubo diferencia significativa (Cuadro 5) (Anexo 3).

Cuadro 5. Análisis de varianza y separación de media por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco (g) de la línea de malanga Lila ML15-16, según las dosis de PEG 6000

<b>Dosis de PEG 6000 (g l<sup>-1</sup>)</b>	<b>Altura de planta (cm)</b>	<b>Número de hojas</b>	<b>Número de raíces</b>	<b>Largo de raíces (cm)</b>	<b>Peso fresco de planta (g)</b>
Sin aplicación	1.41 a	3.90 a	2.10 a	4.03 a	0.17 a
100	1.00 a	2.70 a	0.60 b	1.12 a	0.09 b
120	1.05 a	2.50 a	0.50 b	2.55 a	0.09 b
140	1.09 a	2.40 a	0.50 b	1.02 a	0.08 b
R <sup>2</sup>	0.40	0.35	0.66	0.77	0.55
P-valor ( $\alpha < 0.05$ )	0.2136	0.2651	0.0129	0.0691	0.0366

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; medias con letras iguales no hay significancia estadística

En la línea ML15-44 hubo significancia estadística entre las dosis en las variables altura de plantas, número de hojas, raíces, largo de raíces y peso fresco. Las plantas sin aplicación de PEG 6000 presentaron mayor altura de planta, número de hojas, raíces, largo de raíces y peso fresco (Cuadro 6) (Anexo 4).

Cuadro 6. Análisis de varianza y separación de media por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de planta (g) de la línea de malanga Lila ML15-44, según las dosis de PEG 6000

<b>Dosis de PEG 6000 (g l<sup>-1</sup>)</b>	<b>Altura de planta (cm)</b>	<b>Número de hojas</b>	<b>Número de raíces</b>	<b>Largo de raíces (cm)</b>	<b>Peso fresco de planta (g)</b>
Sin aplicación	1.94 a	7.30 a	5.30 a	6.55 a	0.27 a
100	1.20 b	2.40 b	1.00 b	1.24 b	0.15 b
120	1.18 b	2.70 b	0.90 b	2.38 b	0.14 b
140	1.16 b	3.20 b	1.20 b	1.42 b	0.14 b
R <sup>2</sup>	0.63	0.74	0.82	0.86	0.77
P-valor ( $\alpha < 0.05$ )	0.0127	0.0014	0.0001	0.0015	0.0016

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; medias con letras iguales no hay significancia estadística

En la línea ML15-66 hubo significancia estadística entre las dosis en las variables altura de plantas, número de hojas, raíces, largo de raíces y peso fresco. Las plantas sin aplicación de PEG 6000 presentaron mayor altura de planta, número de hojas y raíces, largo de raíces y peso fresco (Cuadro 7) (Anexo 5).

Cuadro 7. Análisis de varianza y separación de media por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco (g) de la línea de malanga Lila ML15-66, según las dosis de PEG 6000

<b>Dosis de PEG 6000 (g l<sup>-1</sup>)</b>	<b>Altura de plantas (cm)</b>	<b>Número de hojas</b>	<b>Número de raíces</b>	<b>Largo de raíces (cm)</b>	<b>Peso fresco de plantas (g)</b>
Sin aplicación	5.37 a	4.90 a	11.50 a	9.18 a	0.62 a
100	1.98 b	1.90 b	1.90 b	3.43 b	0.25 b
120	1.49 b	2.40 b	1.10 b	3.21 b	0.19 b
140	1.86 b	2.00 b	1.40 b	3.45 b	0.28 b
R <sup>2</sup>	0.75	0.67	0.85	0.71	0.63
P-valor ( $\alpha < 0.05$ )	0.0012	0.0059	<0.0001	0.0148	0.0124

Luego de haber sometido a condiciones de estrés hídrico a las líneas de malanga a través de la aplicación de PEG 6000 al medio de cultivo donde se desarrollaban, todas las líneas en estudio presentaron valores más altos en los medios sin aplicación de PEG 6000, en las variables altura de planta, número de hojas y raíces, largo de raíces y peso fresco de planta.

Resultados similares fueron obtenidos por Pino *et al.*, (2022) al utilizar cuatro dosis de PEG 6000 (50, 100, 150, 200 g l<sup>-1</sup>) en el cultivar *colocasia* (Isleña Rosada Escambray) hubo diferencia significativa entre las variables por dosis en comparación al testigo. Taiz y Zeiger

(2006) mencionan que a partir de la dosis de 100 g l<sup>-1</sup> de PEG comienza un déficit hídrico reduciendo el crecimiento de las plantas debido a la inhibición de la expansión celular.

Gopal e ywaman *et al.* (2007); Lebot *et al.* (2006); Sahoo *et al.* (2006) y Moreno-Bermúdez *et al.* (2017) reportan la misma tendencia, en los cultivares de *Musa spp*, *Solanum tuberosum* y *colocasia* afirmando que a medida que van aumentando las dosis de PEG 6000 dentro del medio de cultivo, disminuyen los valores morfológicos de las plantas al compararse con el testigo (sin aplicación de PEG 6000).

### 5.3 Variables porcentuales (plantas con hojas y sin hojas; hojas abiertas y cerradas; con raíces y sin raíces; con brotes y sin brotes) del factor dosis de PEG 6000

Las plantas sin aplicación de PEG 6000 presentaron el mayor porcentaje de plantas con hojas con un 98%, hojas abiertas (100%) y con raíces (93 %) respectivamente (Figura 4).

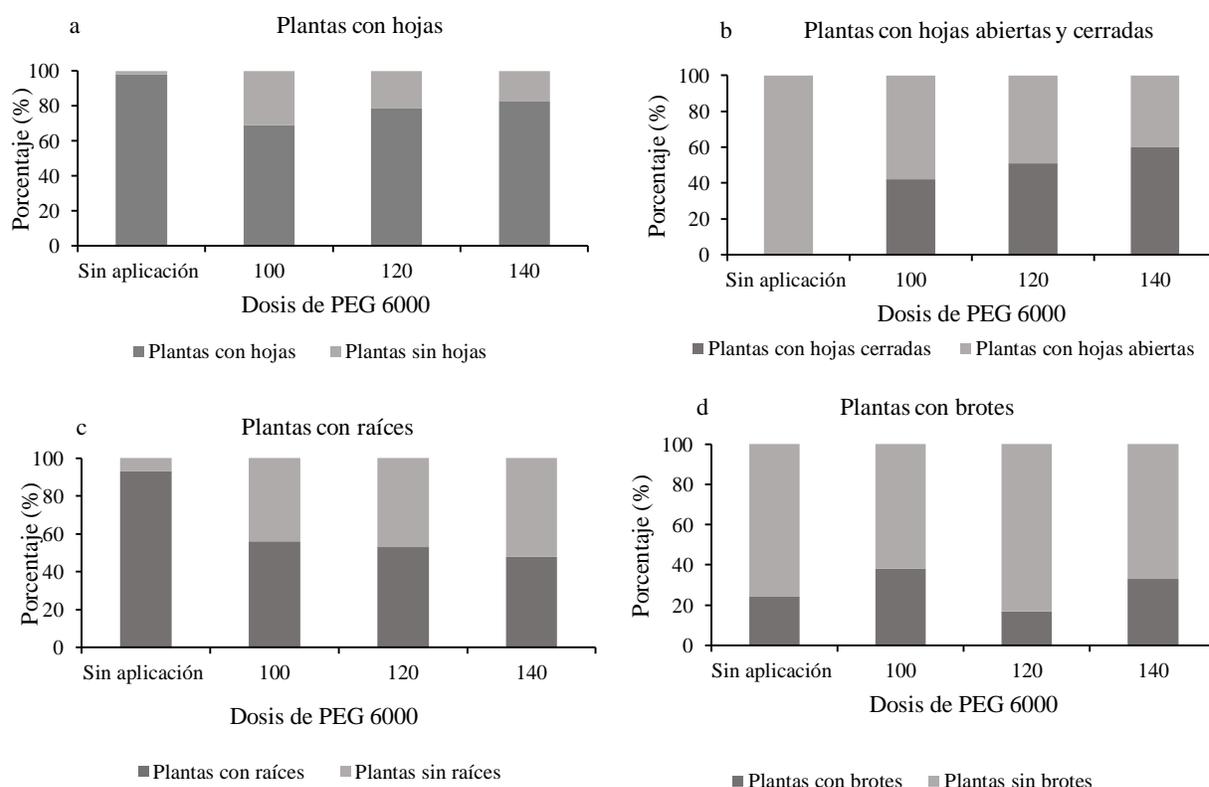


Figura 3. Porcentaje de: a. plantas con hojas y sin hojas; b. plantas con hojas cerradas y abiertas; c. plantas con raíces y sin raíces; d. plantas con brotes y sin brotes, evaluadas a los 28 días después de la inducción a estrés hídrico del factor dosis de polietilenglicol 6000.

Díaz *et al.* (2012) mencionan que en las investigaciones de inducción a estrés con PEG 6000, los cultivares de cebolla Sivan y Americana (rojas), Ica y Ram (amarillas) sin PEG 6000

presentan un mayor porcentaje de sobrevivencia y un crecimiento normal según el cultivar. Taiz y Zeiger (2006) mencionan que el incremento de las dosis de PEG 6000 disminuyen los valores morfológicos a partir de una concentración de 100g l<sup>-1</sup> de PEG 6000.

Albiski *et al.* (2012) reportan una disminución en la cantidad de hojas *in vitro* en papa, esto debido al déficit hídrico generado por el agente osmoestresante, similar a los resultados obtenidos en la presente investigación, donde la variable porcentaje de vitroplantas con hojas en las dosis de 100 120 y 140 g l<sup>-1</sup> fue menor en comparación a las vitroplantas establecidas en el medio de cultivo sin aplicación de PEG 6000.

En la figura 3 se observa que al aumentar las dosis de PEG 6000 en el medio de cultivo, disminuye la cantidad de raíces por plantas, estos mismos resultados fueron obtenidos por Gopal e Iwama (2007) quienes reportan que al incorporar PEG 6000 al medio de cultivo, disminuirá el potencial hídrico de las plantas, induciéndola a estrés por sequía que afecta el crecimiento de las raíces.

#### 5.4 variables morfológicas del factor líneas de malanga Lila.

En el factor líneas de malanga Lila hubo diferencias significativas en todas las variables evaluadas. Las vitroplantas de la línea ML15-66 presentaron mayor altura, número de raíces, largo de raíces y peso fresco. Las vitroplantas de la línea ML15-44 presentaron un mayor número de hojas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza y separación de media por Tukey de las variables morfológicas altura de planta (cm), número de hojas, número de raíces, largo de raíces (cm) y peso fresco de planta (g) de las líneas de malanga Lila MLT, ML15-7, ML15-16, ML15-44 y ML15-66

Línea	Altura de plantas (cm)	Número de hojas	Número de raíces	Largo de raíces (cm)	Peso fresco de plantas (g)
ML T	1.74 b	1.45 c	2.08 bc	3.56 ab	0.21 b
ML15-7	1.43 b	3.10 ab	2.23 b	1.11 c	0.15 bc
ML15-16	1.14 b	2.88 ab	0.93 c	1.68 bc	0.11 c
ML15-44	1.37 b	3.90 a	2.10 bc	2.79 abc	0.17 bc
ML15-66	2.68 a	2.80 b	3.98 a	4.57 a	0.33 a
P-valor ( $\alpha < 0.05$ )	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
R <sup>2</sup>	0.83	0.79	0.90	0.86	0.79

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; medias con letras iguales no hay significancia estadística

Dentro de las cinco líneas de malanga Lila irradiadas con 15 Gy de rayos gamma, que fueron sometidas a este estudio, se observó que la línea ML15-66 obtuvo plantas más desarrolladas y con mayores valores en las variables morfológicas altura de la planta, número de raíces, largo de raíces y peso fresco, con respecto a las demás líneas, después de haber sido sometidas a condiciones de estrés hídrico a través de la aplicación de PEG 6000.

Las mutaciones son cambios heredables que ocurren en el material genético de los organismos vivos (Organización de Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO/OEIA, 2021). Esta variación entre las líneas es debido a la variabilidad genética que se refiere a la diversidad en los genotipos y fenotipos dentro de una población en específico, las mutaciones son la causa fundamental de esta variabilidad genética por mecanismos naturales o modificación del hombre (Crow y Dove, 1998). Las plantas de malanga de las líneas ML15-7, ML15-16, ML15-44 y ML15-66 fueron sometidas a irradiaciones por rayos gamma y exhibieron algunos cambios morfológicos (ML15-7 y ML15-16) que ya fueron reportados anteriormente (González Padilla, 2023).

González *et al.* (2020); Moreno-Bermúdez *et al.* (2015) y Rodríguez *et al.* (2020) sometieron a estrés hídrico diferentes variedades de los cultivos de sorgo, plátano y frijol mediante el uso de PEG 6000, donde obtuvieron diferentes niveles de tolerancia al estrés hídricos.

### 5.5 Variables porcentuales (plantas con hojas y sin hojas; hojas abiertas y cerradas; con raíces y sin raíces; con brotes y sin brotes) del factor líneas de malanga Lila

El porcentaje de las plantas que presentaron hojas en la línea ML15-44 fue del 92%. El mayor porcentaje de plantas con hojas abiertas fue 83% en la línea ML15-16. La línea ML15-7 presentó el mayor porcentaje de plantas con raíces (75%) y de plantas con brote (53 %) (Figura 4).

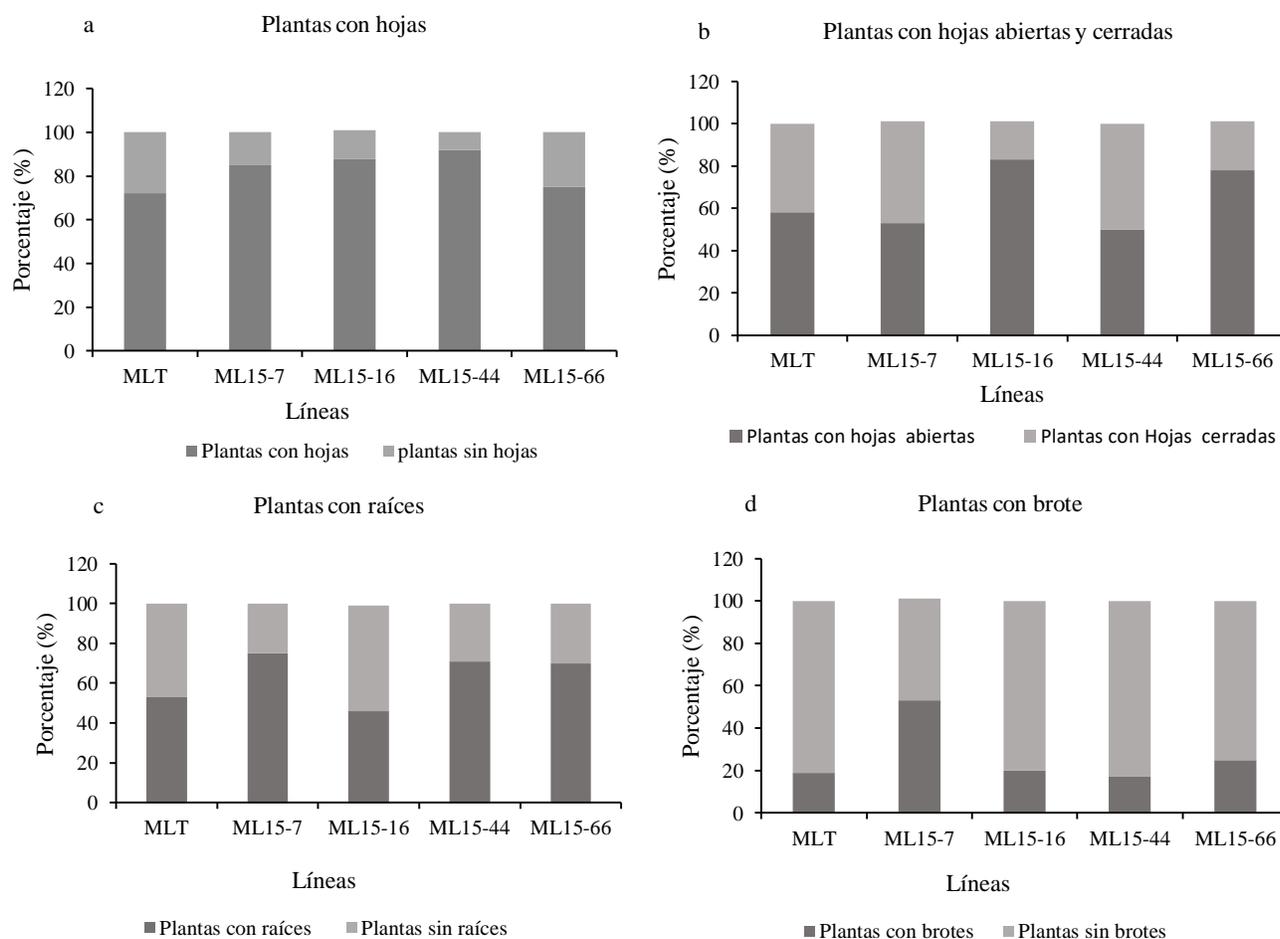


Figura 4. Porcentaje por línea de: a. plantas con hojas y sin hojas; b. plantas con hojas cerradas y abiertas; c. plantas con raíces y sin raíces; d. plantas con brotes y sin brotes, evaluadas a los 28 días después de la inducción a estrés hídrico con PEG 6000 del factor líneas de malanga Lila.

Las plantas con indicios de tolerancia y respuestas de adaptación crean distintas estrategias y modificaciones en su morfología empleadas para sobrevivir ante desafíos ambientales (bohnert *et al.*, 1995; Shinozaki y Yamaguchi, 2007). Estos cambios pueden manifestarse ajustando estacionalmente el crecimiento, desarrollo del sistema radicular ancho y profundidad. (Chavarria y dos Santos, 2012).

Albiski *et al.* (2012) reportan que las plantas con indicios de tolerancia desarrollan un sistema radicular mayor en condiciones de estrés. Badiane *et al.* (2004), reportan que al someter a estrés hídrico a variedades de frijol *caupí* (*Vigna unguiculata*), mediante la aplicación de PEG 6000 la variedad que tuvo mayor largo de raíz fue la que presentó indicios de tolerancia a déficit hídrico.

Tanto la altura como el número de brotes por plantas son variables que se relacionan con el crecimiento vegetal, a mayor resistencia mayor producción de brotes (Jaleel *et al.*, 2009). Surendar *et al.* (2013), refieren que la altura de las plantas y desarrollo de las hojas son uno de los más importantes indicadores de estrés morfológico, procesos que envuelven al crecimiento y desarrollo celular siendo estos últimos sensibles al déficit hídrico.

La línea de malanga Lila ML15-66 presentó los mayores valores en las variables morfológicas (Cuadro 8), y una de las líneas con mayor porcentaje de vitroplantas con brotes, porcentajes de vitroplantas con hojas cerradas y abiertas, y con raíces (Figura 4), mostrando indicios de tolerancia al estrés hídrico y una capacidad de adaptación a un suministro limitado de agua. Dado su desempeño superior en estas condiciones debería ser considerada para una evaluación más exhaustiva en una segunda fase del estudio.

Las líneas tienen un comportamiento distinto debido a que los individuos que conforman la especie vegetal están bajo constante interacción de adaptación con los factores bióticos en los que se encuentra, Estas funciones genéticas pueden manifestarse de diversas maneras, con cambios a través de características visibles en la planta o a nivel genético, Esta complejidad genética permite a las plantas adaptarse y responder a una amplia gama de condiciones ambientales y desafíos biológicos (Franco e Hidalgo, 2023; Valdovinos *et al.*, 2018).

## VI. CONCLUSIONES

En el factor dosis de Polietilenglicol 6000 las plantas establecidas en el medio de cultivo sin aplicación presentaron los valores más altos en las variables altura de planta, número de hojas, número de raíces, largo de raíces, peso fresco de la planta, plantas con hojas, plantas con hojas abiertas y plantas con raíces.

En todas las líneas de malanga Lila (MLT, ML15-7, ML15-16, ML15-44 y ML15-66) se observó que, en la altura de planta, número de hojas y número de raíces, las plantas establecidas en el medio de cultivo sin aplicación de polietilenglicol 6000 presentaron los valores superiores. Las plantas de las líneas ML15-16, ML15-44 y ML15-66 sin aplicación de polietilenglicol 6000 registraron plantas con raíces más largas y mayor peso fresco de planta.

En el factor líneas las variables altura de planta, número de raíces, largo de raíces, peso fresco de planta y porcentaje de plantas con brotes, la línea ML15-66 registró los valores más alto, mostrando indicios de tolerancia al estrés hídrico.

## VII. RECOMENDACIONES

Continuar estudios sobre estrés hídrico con la línea de malanga Lila ML15-66 ya que presentó mayores valores en las variables morfológicas mostrando indicios de tolerancia a esta condición.

Multiplicar *in vitro* la línea ML15-66 para continuar estudios en campo y laboratorio para evaluar otras variables no comprendidas en este estudio como Área foliar, peso seco de la planta, ácido ascórbico, contenido de Clorofila y prueba de Prolina.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Albiski, F. Najla, S. Sanoubar, R. Alkabani, N. Murshed, R. (2012). In vitro screening of potato lines for drought tolerance. *Phys Mol Biol Plants*, 18(4), 315-321.
- Arango, J. C. (1999). Relación suelo-agua-planta. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*.
- Arróliga Araica. L, S, y Blandón Ruíz, N. D. (2015). *Evaluación del comportamiento agronómico de ocho variedades de Malanga (Colocasia Esculenta (L.) shoot) en las condiciones edafoclimaticas, Finca Buena Vista, comunidad El Tepeyac; departamento de Matagalpa, I Semestre 2015*. [tesis de ingeniería, universidad nacional autónoma de Nicaragua, Managua facultad regional multidisciplinaria Matagalpa unan farem-matagalpa]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Bacallao, F. M, y Fundora, L. B. (2014). *Tolerancia estrés por deficit hídrico en tomate*. INCA. 35.(3). 70-88. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n3/ctr08314.pdf>
- Badiane, F. A., Diouf, D., Sané, D., Diouf, O., Goudiaby, V., y Diallo, N. (2004). Screening cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. varieties by inducing water deficit and RAPD analyses. *African Journal of Biotechnology*, 3(3), 174-178. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/14936gill>
- Bohnert, H. J. Nelson Bohnert, H., Nelson, D.E. y Jensen, R.G. (1995). Adaptaciones a estreses ambientales. *The plant cell*. 7 (7), 1099. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/14936>
- Cell Chemical Company. (2000). Polyethylene Glycol. <https://www.sigmaaldrich.com/Ni/es/technical-documents/technical-article/materials-science-and-engineering/drug-delivery/new-polyethylene-glycol>
- Centro de Trámites de las Exportaciones CETREX (2022). *Comparativo de los Productos Exportados Destacados*. [https://cetrex.gob.ni/website/servicios/CompPDE\\_01-10\\_2022-2021.pdf](https://cetrex.gob.ni/website/servicios/CompPDE_01-10_2022-2021.pdf)
- Chavarria, G. y dos Santos, H. P. (2012). *Plant water relations: absorption, transport and control mechanisms*. <https://www.intechopen.com/chapters/35825>
- Crow, J. F., y Dove, W. F (1998). Perspectives on Genetics: Anecdotal, Historical, and Critical Commentaries, 1987-1998. *Genetics Society of America*, 148, 923-928. <https://books.google.com.ni/books?id=-QMBiN1vorsC&lpg=PR13&ots=lguYEBup5N&dq=Perspectives%20anecdotal%20%20historical%20and%20critical%20commentaries%20on%20genetics%2090%20years%20ago%3A%20the%20beginning%20of%20hybrid%20maiz&lr&hl=es&pg=PR13#v=onepage&q=Perspectives%20anecdotal,%20historical%20and%20critical%20commentaries%20on%20genetics%2090%20years%20ago:%20the%20beginning%20of%20hybrid%20maiz&f=false>

- Díaz, V. Herbert, O. Lazo, R. Portilla, J. Ponce-Soto, L. Marangoni, S. (2012). Physiologic response to hydric déficit in vitro and preliminary proteomic analysis in calli of four cultivars of *Allium cepa* L. (Onion). *IDESIA (chile)*. 30 (3). 11-21. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v30n3/art02.pdf>
- Enriquez Juarez, D. Y., & Mairena Ubeda, 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 exportacion, Boaco-Nicaragua 2011* [tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria, UNA].
- Franco, L. T e Hidalgo, R (2023) análisis estadístico de datos de caracterización fisiológica de los recursos filogenéticos. *Boletín técnico* .8 .89 <https://cgspace.cgiar.org/items/e54e7117-8d9c-4dd6-ad08-1ad22dd5dd8d>
- García, J. Courtois, B., Ivancic, A. Letourmy, P. Risterucci, A. M. Noyer, J. L. y Lebot, V. (2006). First genetic maps and QTL studies of yield traits of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). *Euphytica*, 151, 187-199. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-006-9139-y>
- García, L. R. Mora, M. Pérez, A. Collado, R. Martínez, I. Veitía, N. Rivero, L. (2015). Effect of water stress induced by PEG 6000 on in vitro germination of *Phaseolus vulgaris* L. cv. 'ICA Pijao'. *Instituto de biotecnología de las plantas*. 15 (4). 243-249.
- Gerald, C. N, Mark, W. Rosegrant, J. K, Robertson, R. Sulser, T. Zhu, T. Ringler, C. Msangi, S. Palazzo, A. Batka, M. Magalhaes, M. Valmonte-Santos, R. Ewing, M. y Lee, D. (2009), Cambio Climático El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. *LA FAO*. [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf)
- Gil, L. (2017). La cultura y la tecnología nuclear confluyen en el Brasil. *Boletín del OIEA*. <https://www.iaea.org/sites/default/files/5811617es.pdf>
- Gómez Kosky, R. (1998). Selección *in vitro* a enfermedades. En J. N. Pérez Ponce. *Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología*. Mabana 1998.
- González Cepero, M.C. Pérez León, N. Valdez, E.C. Ortiz Pérez, R., Guillama Alonso, R. Horta Fernández, H. Veitía Díaz, N. Chávez Ardanza, A. (2020), Impacto de la mejora por mutaciones en cultivos de importancia económica en Cuba. *USFQ*, 27. 1-56 <https://www.usfq.edu.ec/es/eventos/ii-simposio-latinoamericano-de-aplicaciones-nucleares-en-la-agricultura>
- González Padilla, R. J (2023) Cambios morfológicos de cultivares de Malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) en etapa de multiplicación *in vitro* e invernadero irradiados con rayos gamma. [Tesis de ingeniería].
- Gopal, J. y Iwama K (2007) *In vitro* screening of potato against water-stress mediated through sorbitol and polyethylene glycol. *Plan Cell Rep* 26 (5). 693-700.
- Gopal, j., Iwama, k. y Jitsuyama. (2007). Efecto del estrés hídrico mediado por agar en el crecimiento *invitro* de papa, *MICOPROPAGATION*, 221-228.

- Gutierrez, M. Santacruz, R. Cabrera P. Rodriguez G. (2002). Mejoramiento genético vegetal invitro. *e-Gnosis*, 1(4), 0-19. [https://www.researchgate.net/publication/40668692\\_Mejoramiento\\_genetico\\_vegetal\\_in\\_vitro](https://www.researchgate.net/publication/40668692_Mejoramiento_genetico_vegetal_in_vitro)
- Instituto Nacional Técnico y Tecnológico 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)
- Jaleel, C. A., Riadh, K., Gopi, R., Manivannan, P., Ines, J., Al-Juburi, H. J., Chang-Xing, Hong-Bo, Z. S., & Panneerselvam, R. (2009). Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(3), 427-436.
- Lebot, V; Ivancic, A; Quero, J. (2006). *Comparative performance of local and introduced cultivars of taro (Colocasia esculenta (L.) Schott) in Vanuatu*. In: Proceedings of the 14Th symposium of the international society for tropical root crops. Thiruvananthapuram, Kerala, India. 20-26.
- López, M., Vásquez, E. y López, F. (1984). *Raíces y tubérculos*. Pueblo y educación, Universidad Central de las Villas, Cuba, 245, 248. [https://www.tecnacional.edu.ni/media/Raices\\_y\\_Tuberculos.pdf](https://www.tecnacional.edu.ni/media/Raices_y_Tuberculos.pdf)
- Mancero, L., y Cifuentes, W. (2009). *Análisis de la cadena de valor de la Malanga, Rancho Grande, Matagalpa, Nicaragua*. ADDAC-BRUCKE. Le. Pon t. [https://addac.org.ni/files/attachments/documentos/Analisis\\_cadena\\_malanga.pdf](https://addac.org.ni/files/attachments/documentos/Analisis_cadena_malanga.pdf)
- Montaldo, A. (1991). *Cultivos de raíces y tubérculos tropicales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/BVE21058246e.pdf>
- Moreno, P. L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. *Agronomía colombiana*, 27(2), 179-191.
- Moreno-Bermúdez, L.J., Reyes, M. Kosky, R. Rodriguez, M. Perez, B. (2015) Efecto del estrés hídrico inducido con PEG 6000 sobre el contenido de agua de plantas *in vitro* de *musa spp.* ‘grande naine’(AAA) y ‘Pelipita’ (ABB). *Biotechnologia vegetal*. 15 (4). 251-254.
- Moreno-Bermúdez, L.J., Reyes, M. Rodriguez, M. Kosky, R. G. Roque, B. y Pérez, B. (2017) Respuesta de cultivares de *Musa spp.* al estrés hídrico *in vitro* inducido con polietilenglicol 6000. 19 (2), 75-85. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77654661008.pdf>
- Nurilmalda, f. Pemimpin Hutagaol, R. Mank Widhyastint, I. Widyastuti, U. y Suharsono (2017). Somaclonal variation induction of Bogor taro (*Colocasia esculenta*) by gamma irradiation. *BIODIVERSITAS*, 18(1), 28-33. <https://smujo.id/biodiv/article/view/748/769>
- Organización de Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO/OEIA (2021). *Manual de mejoramiento genetico por mutacion-tercera edición*. Espencer-Lopes, M. M. Foster, B. P. y Jankuloski, L. Viena FAO. <https://doi.org.10.4060/i9285es>
- Pino, A. S. Torres, J. L. Cabrerías, A. T. Vegas, V. M. Perez, M. B. Garcia, Y. B. y Alvarez, D. R. (2022) Determinación de la dosis letal media de polietilenglicol 6000 para la

selección temprana de tolerancia a la sequía en plantas *in vitro* de *colocasia*. *Agricultura tropical*, 8 (1), 17-24

- Rai, M.K. Kalia R.K. Singh, R. Gondola, M.P. Dhawan A.K. (2011) Developing stress tolerant plants through *in vitro* selection-An overview of the recent progress. *Environmental and Experimental Botany*, 71(1): 89-98. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847210002194?via%3Dihub>
- Rangaiah S. (2006) Induced genetic variation for days to flowering and maturity following hybridization and mutagenesis in chilli (*Capsicum annum* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 19.382-384 [https://www.redalyc.org/journal/610/61051413012/html/#redalyc\\_61051413012\\_ref36](https://www.redalyc.org/journal/610/61051413012/html/#redalyc_61051413012_ref36)
- Rodríguez, M. F. Veitía, N. Ramírez, A. Rojas, L. E. Torres, D. Hernández, S. y Rivero, L. (2020). Respuesta diferencial de tres cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. al estrés hídrico *in vitro* inducido por PEG-6000. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 351-359. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/684/html#04>
- Sahoo, M. R, DasGuta, M. y Mukeherjee, A. (2006). Effect of *in vitro* and *in vivo* induction of polyethelene glycol-mediated estess on hydrid taro (*Colocasia Esculenta* (L.) schott). *Annals of tropical research*, 28 (2). 1-11
- Shinozaki, K, y Yamaguchi-Shinozaki, K. (2007). Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *Journal of experimental botany*, 58(2), 221-227.
- Surendar, K. K., Devi, D. D., Ravi, I., Jeyakumar, P., & Velayudham, K. (2013a). Water stress affects plant relative water content, soluble protein, total chlorophyll content and yield of Ratoon Banana. *International Journal of Horticulture*, 3 (17), 96-103.
- Taiz, L. Zeiger, E. (2006) Fisiología vegetal. *Universitat Jaume I*. 2 (10). 413-549. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FisiologiaVegetalVolumenII%20esp-anhol.pdf>
- Valdovinos, C. T. Cruz, Y. G. y Nieto, C. C. (2018). *Experiencia educativa: Fisiología vegetal, Universidad Veracruzana*. <https://www.uv.mx/biologia/files/2019/08/4.4.-Fisiologia-Vegetal-Xalapa.pdf>
- 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 ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Facultad Regional Multidisciplinaria de Matagalpa UNAN-FAREM Matagalpa], repositorio unan. <https://repositorio.unan.edu.ni/7021/1/6540.pdf>
- Zapata Martinez, J., y Velásquez Escandón, C. (2013). *Estudio de la producción y comercialización de la malanga: estrategias de incentivos para la producción en el país y consumo en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil, Colombia: Universidad politécnica salecina Ecuador.

## IX. ANEXOS

Anexo 1. Vitroplantas de la línea de malanga lila MLT en las dosis de poli etilenglicol 6000.



Anexo 2. Vitroplantas de la línea de malanga lila ML15-7 en las dosis de polietilenglicol 6000.



Anexo 3. Vitroplantas de la línea de malanga lila ML15-16 en las dosis de polietilenglicol 6000.



Anexo 4. Vitroplantas de la liinea de malanga lila ML15-44 en las dosis de polietilenglicol 6000.



Anexo 5. Vitroplantas de la liinea de malanga lila ML15-66 en las dosis de polietilenglicol 6000.

