



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS EN SEIS  
VARIEDADES DE MAÍZ (ZEA MAYS L.) MEDIANTE PRUEBA DE  
TETRAZOLIO"

FAJARDO REYES JEFFERSON ALEJANDRO  
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA  
2021



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS EN SEIS  
VARIETADES DE MAÍZ (ZEA MAYS L.) MEDIANTE PRUEBA DE  
TETRAZOLIO”

FAJARDO REYES JEFFERSON ALEJANDRO  
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA  
2021



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN  
TRABAJO EXPERIMENTAL

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS EN SEIS VARIEDADES DE MAÍZ  
(ZEA MAYS L.) MEDIANTE PRUEBA DE TETRAZOLIO"

FAJARDO REYES JEFFERSON ALEJANDRO  
INGENIERO AGRÓNOMO

QUEVEDO GUERRERO JOSE NICASIO

MACHALA, 27 DE SEPTIEMBRE DE 2021

MACHALA  
2021

# Tesis final

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

2%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

2%

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Apagado

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, FAJARDO REYES JEFFERSON ALEJANDRO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS EN SEIS VARIEDADES DE MAÍZ (ZEA MAYS L.) MEDIANTE PRUEBA DE TETRAZOLIO", otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 27 de septiembre de 2021



FAJARDO REYES JEFFERSON ALEJANDRO  
0705708352

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de titulación en primer lugar a Dios, mi padre celestial, por darme salud y permitirme seguir con vida para poder cumplir con este objetivo, que más que un objetivo una promesa, que hice de niño a la mujer más importante de mi vida.*

*A la mujer más importante de mi vida, mi abuelita que desde que nació se convirtió en madre y padre para mí, este trabajo es por ella y para ella, ya que es el fruto de su amor y apoyo incondicional.*

*A mi tía María Fajardo, por darme su amor incondicional, aconsejarme y estar conmigo cuando más la he necesitado.*

*A mi madre Verónica Fajardo, porque desde que llegó a mi vida me ha brindado su apoyo sincero e incondicional.*

*A mis primos Edison, Marcelo y Jamileth Fajardo, a los que considero mis hermanos por confiar en mí, darme su apoyo y cariño sincero.*

*A mi padrino Diego Calderón (+), quien en vida fue un gran hombre y supo darme muy buenos consejos, gracias a ello y mucha lucha y perseverancia, hoy cumpla un objetivo más, de los tantos que me he planteado en la vida.*

*Este logro, es en gran parte gracias a cada uno de ustedes; he concluido un proyecto más de los tantos que tengo en mente. Así que dedico este trabajo de titulación en general a todos ustedes, los seres que más quiero en la vida.*

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, quiero agradecer con toda el alma y el corazón a mi padre celestial, por darme salud y la oportunidad de seguir viviendo, por darme las fuerzas suficientes, para poder vencer cada uno de los obstáculos que la vida me ha puesto, mi amor y gratitud será eterna hacia mi Dios, por escucharme cada noche sin falta, por ser mi confidente, por ser mi guía en este camino que le llaman vida.*

*Agradezco a mi abuelita Flora, por el amor y los valores inculcados como la responsabilidad, la humildad, la empatía, la perseverancia, el coraje para no rendirme, por demostrarme que con trabajo duro puedo lograr lo que sea, por enseñarme a ser leal y que la palabra de una persona es lo que más vale en la vida, en fin, el hombre que hoy en día soy es gracias a ella.*

*Agradezco a mi tía María Fajardo, por el amor y cariño que me brinda, por llenarme de alegría y por estar conmigo siempre en los buenos y malos momentos de mi vida.*

*Agradezco a mi madre Verónica Fajardo, por darme la vida y el apoyo brindado.*

*Agradezco a Edison, Marcelo, Jamileth y Carlos mis primos, a los que quiero con toda el alma.*

*Agradezco a la Sra. Olga Aguirre (+), quien en vida fue una gran mujer y a su hija Mariana Ulloa, por el apoyo brindado.*

*Agradezco al Ing. José Quevedo Mg. Sc, quien en calidad de tutor me supo encaminar y guiar, en la elaboración de mi tesis y de mi formación profesional.*

*Agradezco al Ing. Salomón Barrezueta PhD, por el apoyo brindado durante el desarrollo de mi tesis y de mi formación profesional.*

*Agradezco al Ing. Julio Chabla PhD, por ser un excelente maestro y haberme brindado sus conocimientos durante mi formación profesional.*

*Agradezco a todos mis amigos en especial a Jean Carlos Arias y Adrián Olaya León, por el apoyo brindado en la realización de este trabajo de titulación.*

*Sé que estas palabras no son suficientes para expresar mi gratitud y respeto por todos ustedes, pero espero que con ellas se den a entender mis sentimientos de aprecio y cariño por todos.*

# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....  | 1  |
| 1.1.    Objetivo General .....  | 3  |
| 1.2.    Objetivos específicos.....  | 3  |
| <b>II.REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....                                      | 4  |
| 2.1.    Origen del Maíz.....  | 4  |
| 2.2.1.    Origen Asiático .....   | 4  |
| 2.2.2.    Origen Andino .....   | 5  |
| 2.2.3.    Origen Mexicano .....   | 5  |
| 1.3.    Taxonomía del Maíz.....   | 5  |
| 1.4.    Morfología de la planta .....                                       | 6  |
| 1.4.1.    Sistema radical .....   | 6  |
| 1.4.2.    Tallo .....   | 6  |
| 1.4.3.    Hoja.....   | 7  |
| 1.4.4.    Sistema floral .....  | 7  |
| 1.4.5.    Fruto .....   | 7  |
| 1.4.6.    Semilla .....   | 7  |
| 1.5.    Condiciones edafoclimáticas requeridas por el cultivo de maíz ..... | 8  |
| 1.5.1.    Altitud .....   | 8  |
| 1.5.2.    Precipitaciones requeridas .....                                  | 8  |
| 1.5.3.    Temperatura .....   | 8  |
| 1.5.4.    Suelos .....  | 8  |
| 1.5.5.    Luminosidad .....   | 8  |
| 1.5.6.    Exigencias del cultivo .....                                      | 8  |
| 1.6.    Importancia económica del maíz a nivel nacional y global .....      | 9  |
| 1.7.    Composición Química del Maíz.....                                   | 10 |
| 1.7.1.    Almidón .....   | 10 |
| 1.7.2.    Proteínas.....  | 11 |
| 1.7.3.    Lípidos .....   | 11 |
| 1.8.    Atributos de calidad de semillas.....                               | 11 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1.9.    | Calidad genética .....                                   | 11 |
| 1.10.   | Calidad fisiológica.....                                 | 12 |
| 1.11.   | Calidad Física.....                                      | 12 |
| 1.11.1. | Contenido de Humedad.....                                | 12 |
| 1.11.2. | Peso.....  | 12 |
| 1.11.3. | Pureza.....  | 12 |
| 1.12.   | Calidad Sanitaria .....                                  | 12 |
| 1.13.   | Almacenamiento de las semillas .....                     | 13 |
| 1.14.   | Deterioro de la semilla .....                            | 14 |
| 1.15.   | Hongos que afectan en el almacenaje a las semillas ..... | 14 |
| 1.15.1. | Alternaria .....   | 14 |
| 1.15.2. | Aspergillus .....  | 15 |
| 1.15.3. | Fusarium .....   | 15 |
| 1.15.4. | Penicillium .....  | 16 |
| 1.16.   | Generalidades sobre las semillas.....                    | 16 |
| 1.17.   | Bancos de semillas .....                                 | 17 |
| 1.18.   | Germinación de la semilla.....                           | 17 |
| 1.19.   | Calidad de las semillas .....                            | 18 |
| 1.20.   | Viabilidad de la semilla.....                            | 18 |
| 1.21.   | Vigor de la semilla .....                                | 18 |
| 1.22.   | Latencia de semillas .....                               | 18 |
| 1.23.   | Conservación de semillas.....                            | 18 |
| 1.24.   | Tipos de semillas.....                                   | 19 |
| 1.24.1. | Semillas Ortodoxas .....                                 | 19 |
| 1.24.2. | Semillas recalcitrantes .....                            | 19 |
| 1.25.   | Tipos de germinación de semillas .....                   | 19 |
| 1.26.   | Poder germinativo .....                                  | 20 |
| 1.27.   | Capacidad de germinación .....                           | 20 |
| 1.28.   | Velocidad de germinación.....                            | 20 |
| 1.29.   | Prueba de Germinación .....                              | 20 |
| 1.30.   | Prueba de Germinación con Ácido giberélico (AG3) .....   | 20 |
| 1.31.   | Prueba de tetrazolio.....                                | 21 |

|  |    |
|--|----|
| <b>III.MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....                                      | 22 |
| 1.3. Materiales.....   | 22 |
| 1.3.1. Localización del ensayo.....  | 22 |
| 1.3.2. Ubicación geográfica.....   | 22 |
| 1.3.3. Factores climáticos y ecológicos.....                               | 22 |
| 1.3.4. Materiales y equipos utilizados.....                                | 22 |
| 1.3.5. Material vegetal utilizado.....                                     | 23 |
| 1.4. Metodología experimental.....   | 24 |
| 1.4.1. Diseño experimental.....  | 24 |
| 1.4.2. Prueba de Viabilidad mediante test de Tetrazolio.....               | 24 |
| 1.4.3. Ensayo de germinación mediante la aplicación de la hormona Ag3..... | 24 |
| <b>IV.RESULTADOS</b> .....   | 25 |
| <b>V.CONCLUSIONES</b> .....  | 34 |
| <b>VI.RECOMENDACIONES</b> .....  | 35 |
| <b>VII.BIBLIOGRAFÍA</b> .....  | 36 |
| <b>VII.ANEXOS</b> .....  | 41 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica del maíz.....  | 5  |
| <b>Tabla 2.</b> Valores nutricionales contenidos en un grano de maíz.....                                     | 10 |
| <b>Tabla 3.</b> Pruebas de normalidad para la variable viabilidad con tetrazolio y prueba de germinación..... | 25 |
| <b>Tabla 4.</b> Correlación de Pearson. ....  | 28 |
| <b>Tabla 5.</b> ANOVA para las variables y el factor de estudio variedad. ....                                | 29 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Centros de origen del Maíz. ....  | 4  |
| <b>Figura 2.</b> Área cosechada y producción de maíz en el mundo (período 1994-2019). ....   | 9  |
| <b>Figura 3.</b> Área cosechada y producción de maíz en Ecuador (período 1994-2019).....   | 10 |
| <b>Figura 4.</b> Representación diagramática de la vida potencial de almacenamiento de la semilla en función de la temperatura ambiente y el contenido de humedad de la semilla..... | 13 |
| <b>Figura 5.</b> Diferentes patrones de tinción que pueden presentar los embriones de maíz. ....   | 21 |
| <b>Figura 6.</b> Accesiones de Zea mays L, utilizadas en el ensayo. ....   | 23 |
| <b>Figura 7.</b> Comparación de media entre los tratamientos. variedades y la variable viabilidad de semillas con tetrazolio.....  | 26 |
| <b>Figura 8.</b> Comparación de media entre los tratamientos. variedades y la variable germinación de semillas. ....   | 27 |
| <b>Figura 9.</b> Relación entre la viabilidad – germinación y las variedades. ....   | 28 |
| <b>Figura 10.</b> Medias marginales para la variable radícula a los 3 días. ....   | 30 |
| <b>Figura 11.</b> Medias marginales estimadas de longitud de hipocótilo a los 10 días.....   | 30 |
| <b>Figura 12.</b> Medias marginales estimadas de largo de hoja a los 10 días. ....   | 31 |
| <b>Figura 13.</b> Medias marginales estimadas de ancho de hoja a los 10 días. ....   | 31 |
| <b>Figura 14.</b> Medias marginales estimadas de la longitud principal a los 10 días.....  | 32 |
| <b>Figura 15.</b> Medias marginales estimadas de raíces adventicias a los 10 días. ....  | 33 |

# “EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS EN SEIS VARIEDADES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) MEDIANTE PRUEBA DE TETRAZOLIO”

Fajardo Reyes, Jefferson Alejandro

Quevedo Guerrero, José Nicasio

## Resumen

El maíz (*Zea mays* L), es una planta domesticada, esencial para más de 200 millones de personas. Ecuador se encuentra dentro de los 50 principales productores mundiales, siendo un cultivo de alta transcendencia, se produce en 21 de las 24 provincias, y se concentra en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí, Loja y el Oro; el cultivo presenta adaptabilidad en ambientes cálidos, siendo menos abundantes en lugares frescos. La producción agrícola depende en gran medida de las semillas como insumo para la reproducción, por lo que es importante el desarrollo continuo y gradual de este campo. Generalmente los agricultores por costumbre guardan sus propias semillas para siembras futuras, teniendo en cuenta que ellos no están capacitados para identificar la viabilidad que poseen sus semillas para la siembra, se planteó como objetivo de esta investigación el evaluar el porcentaje de viabilidad y germinación en seis variedades de maíz mediante la prueba de Tetrazolio. Se evaluó 2 factores de estudio (variedad y Ag3) y las variables principales a medir fueron el porcentaje de viabilidad a través de la prueba de Tetrazolio y el porcentaje de germinación con la prueba de Ag3, sin embargo, se tomaron más variables con el fin de observar el comportamiento de la plántula en campo en condiciones no controladas. Se aplicó una prueba de normalidad en este caso Shapiro Wilk y cajas de sesgo, junto con una regresión para obtener el coeficiente de correlación; Además, se aplicó una comparación de medias mediante un análisis de varianza (ANOVA) y por último se realizó un modelo lineal multivariante para poder obtener los gráficos de barra y determinar a qué dosis de Ag3 provocó el desarrollo de las mejores características morfo agronómicas. Mediante la prueba de normalidad se demostró que no existen diferencias significativas en las dos variables del estudio a medir (Viabilidad y Germinación), por lo que se entiende que el estudio cumplió con los supuestos de homogeneidad de la varianza. Gráficamente a través de las cajas de sesgo se corroboró nuevamente que existe significancia en ambas variables, aunque en la regresión no se obtuvo un coeficiente de correlación fuerte, este valor se puede justificar por el uso de la hormona Ag3, que influyó en los resultados de la misma forma que lo hizo en las otras variables representadas en los gráficos de barras. Se concluye que las seis variedades son convenientes para la siembra de este cultivo en grandes extensiones debido a que presentaron una capacidad germinativa buena con un porcentaje de viabilidad óptimo que va desde el 96 al 100 % para las variedades (V1 y V4), mientras que en las

variedades (V2, V3, V5 y V6) va desde el 94 al 100%. Con una media del 100% como resultado de la prueba de germinación en las seis variedades, se reafirmó que los resultados obtenidos en la prueba de viabilidad con Tetrazolio son óptimos. La aplicación de 10 ml de Ag3 demostró tener el mejor efecto sobre las características morfo agronómicas de las plántulas usadas en la investigación.

**Palabras claves:** Tetrazolio, Viabilidad, Germinación, Maíz, Semilla.

# “SEED VIABILITY ASSESSMENT IN SIX VARIETIES OF CORN (ZEA MAYS L.) BY TETRAZOLIUM TEST”

Fajardo Reyes, Jefferson Alejandro

Quevedo Guerrero, José Nicasio

## ABSTRACT

Corn (*Zea mays* L), is a domesticated plant, essential for more than 200 million people. Ecuador is among the 50 main world producers, being a crop of high importance, it is produced in 21 of the 24 provinces, and is concentrated in the provinces of Los Ríos, Guayas, Manabí, Loja and El Oro; the crop shows adaptability in warm environments, being less abundant in cool places. Agricultural production is highly dependent on seeds as an input for reproduction, which is why the continuous and gradual development of this field is important. Generally, farmers by habit save their own seeds for future sowings, taking into account that they are not trained to identify the viability of their seeds for sowing, the objective of this research was to evaluate the percentage of viability and germination in six maize varieties using the Tetrazolium test. 2 study factors (variety and Ag3) were evaluated and the main variables to be measured were the percentage of viability through the Tetrazolium test and the percentage of germination with the Ag3 test, however, more variables were taken in order to observe the behavior of the seedling in the field under uncontrolled conditions. A normality test was applied in this case Shapiro Wilk and bias boxes, together with a regression to obtain the correlation coefficient; In addition, a comparison of means was applied by means of an analysis of variance (ANOVA) and finally a multivariate linear model was carried out to be able to obtain the bar graphs and determine at what dose of Ag3 caused the development of the best agronomic morpho characteristics. By means of the normality test, it was shown that there are no significant differences in the two variables of the study to be measured (Viability and Germination), so it is understood that the study fulfilled the assumptions of homogeneity of the variance. Graphically through the bias boxes it was confirmed again that there is significance in both variables, although in the regression a strong correlation coefficient was not obtained, this value can be justified by the use of the hormone Ag3, which influenced the results of the same way that it did in the other variables represented in the bar graphs. It is concluded that the six varieties are suitable for the sowing of this crop in large areas because they presented a good germination capacity with an optimal viability percentage ranging from 96 to 100% for the varieties (V1 and V4), while in the varieties (V2, V3, V5 and V6) it goes from 94 to 100%. With an average of 100% as a result of the germination test in the six varieties, it was reaffirmed that the results obtained in the viability test with Tetrazolium are optimal. The application of 10 ml of Ag3 proved to have the best effect on the morpho-agronomic characteristics of the seedlings used in the research.

**Keywords:** Tetrazolium, Viability, Germination, Corn, See

# I. INTRODUCCIÓN

Es uno de los cultivos de mayor importancia agrícola en el mundo produciendo 1'134'746.667 toneladas/año, en el país se producen 1'436.106 toneladas/año, mientras que en la provincia de El Oro se producen 2.961 toneladas/año; son plantas que se siembran en un ambiente cálido, pero son menos abundantes en lugares frescos; son plantas tipo C4. Aunque el maíz no es de origen ecuatoriano, este país andino es un centro de diversidad, por lo tanto, se deben seguir al pie de la letra los protocolos de los análisis de informes de viabilidad de semillas (Quezada Mendoza, 2019).

El maíz es una planta domesticada, es el principio del comienzo de la vida y la cultura de la gente de Centroamérica, el centro de la historia y el presente de la gente (Quevedo Pérez et al., 2017). El maíz es un alimento básico para más de 200 millones de personas y se calcula que este número aumente a medida que la población mundial alcance los 8.1 miles de millones de habitantes en 2025 (Hernández-Vázquez et al., 2018). La producción agrícola depende en gran medida de las semillas como insumo para la reproducción, por lo que es importante el desarrollo continuo y gradual de este campo, así como la investigación y aplicación del conocimiento sobre la enorme diversidad de especies cultivadas en todo el mundo (Victoria T, 2006).

Las semillas de alta calidad ayudan a mejorar la eficiencia de producción de las variedades porque pueden emerger de manera rápida y uniforme en diferentes condiciones ambientales. Un factor básico en el éxito de la agricultura moderna es el uso de variedades que tienen el potencial de obtener altos rendimientos de granos o forrajes. Para lograr este objetivo, se han desarrollado técnicas para evaluar la calidad de las semillas que se usarán para la siembra (Pérez et al., 2006).

En la actualidad, la forma más segura de verificar la calidad de los lotes de semillas es implementar una prueba de germinación donde a las semillas se las pone en condiciones ideales de luz, temperatura, humedad. Mediante la evaluación de la viabilidad de las semillas se podrá reemplazar estos ensayos de germinación siendo esta una alternativa para comprender el nivel de calidad de diferentes lotes de semillas (Benito et al., 2004).

En este caso, se ha demostrado que la prueba de tetrazolio es una opción eficiente por la calidad y rapidez para poder determinar la viabilidad y vigor de la semilla. Cuando la semilla es sumergida en la solución de tetrazolio, se produce una reacción de la cual se obtiene una coloración roja en la semilla, demostrando así que el tejido es viable (vivo) mientras que la semilla que no cambia de color es porque su tejido ya está muerto (no viable) (Bhering et al., 2005).

El análisis de viabilidad con la prueba de tetrazolio es una herramienta eficaz para estimar la capacidad de germinación de las gramíneas con dormición postcosecha. En los programas que tienen que ver con el control de calidad, la aplicación de esta prueba ayuda a tomar decisiones más rápidas sobre la compra, venta, almacenamiento o eliminación de semillas (Ruiz, 2009). La calidad de la semilla es esencial en la agricultura para lograr una alta eficiencia de producción. Es un estándar de excelencia para determinar el funcionamiento de la semilla en la siembra o almacenamiento (Martínez Solís et al., 2010).

En todo el país se cultiva maíz y la provincia de el Oro no es la excepción, es conocida por ser una zona agrícola donde se produce maíz en casi todos los cantones y donde los agricultores producen y guardan sus propias semillas para siembras futuras, teniendo en cuenta que los agricultores no conocen y no están capacitados para identificar qué lote de semillas que almacenaron son más viables para la siguiente siembra, se da a conocer esta prueba, la cual es rápida y sencilla de realizar.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la viabilidad de seis variedades de maíz que se encuentran en el banco de germoplasma de la Universidad Técnica de Machala, el cual es dirigido por el semillero de investigación en recursos fitogenéticos (SIRF), el mismo que conserva una gran diversidad de semillas de diferentes tipos y lugares de la provincia y del país.

### **1.1. Objetivo General**

- Evaluar el porcentaje de viabilidad y germinación en seis variedades de maíz mediante prueba de tetrazolio.

### **1.2. Objetivos específicos.**

- Determinar el porcentaje de viabilidad de las variedades de maíz utilizando la prueba de tetrazolio.
- Comprobar los resultados de la prueba de tetrazolio mediante una prueba de germinación con una solución de Ag3 a diferentes dosis.
- Establecer a que dosis de Ag3 se presentó mejor germinación y desarrollo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen del Maíz

Aún no está claro cuándo y dónde se domesticó y transformó completamente el teosinte (*Zea mexicana*), que mediante selección e hibridación se transformó en lo que hoy conocemos como maíz (*Zea mays L.*) (Vargas, 2014). Actualmente se asegura que el maíz es de origen americano, pero jamás fue nombrado en ningún tratado antiguo, hasta que Cristóbal Colón lo observó por primera ocasión en la isla de Cuba en 1492 (Acosta, 2009). Según evidencia botánica, arqueología y genética, se ha determinado que el maíz se originó en el Valle de Balsas de México (Chacón Sánchez, 2009). Aunque existen otras teorías sobre su origen (figura 1):



**Figura 1.** Centros de origen del Maíz.

**Fuente:** Autor.

#### 2.2.1. Origen Asiático

Esta teoría afirma que el maíz es originario de Asia y asegura que se originó en el Himalaya y que se formó por el cruzamiento de *Coix spp.* y algunas Andropógenas como Sorghum, ambos parentales con cinco cromosomas (Sánchez Ortega & Pérez-Urria Carril, 2014).

### 2.2.2. Origen Andino

Esta teoría afirma que el maíz es de origen andino por la alta diversidad genética que existe en esta área, el problema de esta teoría es que en esta área no se ha encontrado parientes del maíz, por tal razón se la excluyó (Sánchez Ortega & Pérez-Urria Carril, 2014).

### 2.2.3. Origen Mexicano

La tercera teoría y más apoyada asegura que el maíz es originario de México. En esta teoría se afirma que el maíz y el teosinte han coexistido desde hace mucho tiempo con un alto grado de diversidad. El apoyo más fuerte en esta teoría es el descubrimiento del polen fósil y las mazorcas de maíz que se encontraron en unas cuevas de valor arqueológico (Sánchez Ortega & Pérez-Urria Carril, 2014).

## 1.3. Taxonomía del Maíz

El maíz (*Zea mays L.*) es un grano perteneciente a la familia de las gramíneas o poaceae, su descripción taxonómica corresponde a monocotiledóneas con crecimiento anual y un ciclo vegetativo muy extenso. Dependiendo de la variedad, su desarrollo puede durar de 80 a 200 días, desde el inicio de la siembra hasta el final de la cosecha (Grande Tovar & Orozco Colonia, 2013).

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del maíz.

| Taxonomía del maíz |                    |
|--------------------|--------------------|
| División           | Macrophyllphyta    |
| Subdivisión        | Magnoliophytina    |
| Clase              | Nymphaespsida      |
| Orden              | Poales             |
| Familia            | Poaceae            |
| Género             | <i>Zea</i>         |
| Especie            | <i>Zea mays L.</i> |

**Fuente:** (Grande Tovar & Orozco Colonia, 2013)

## **1.4. Morfología de la planta**

### **1.4.1. Sistema radical**

- Seminales
- Cauléropicas o adventicia (subterráneas y anclaje)

#### **Seminales**

Generalmente hay cuatro y su función principal es proporcionar agua a la plántula para desplazar las reservas del grano. Su ramificación y penetración es poca (hasta 30 cm en suelos permeables). Se mantienen en todo el ciclo y ayudan a absorber agua y nutrientes (Simón & Golik, 2018).

#### **Cauléropicas o adventicias**

Las raíces subterráneas se originan desde los ocho a diez nudos subterráneos de donde los entrenudos no se desarrollaron. Cada uno puede expresar hasta 20 raíces. Estas raíces en un principio crecen lateralmente y se extienden hasta 80 cm – 1 m; profundizan alrededor de 35 cm, hasta una semana o dos antes del panojado. Desde ahí el desarrollo es principalmente en profundidad y continúa hasta que el estigma se marchita. La profundidad que alcanza depende básicamente del tipo de suelo (Simón & Golik, 2018).

Las raíces de anclaje se generan en los primeros nudos aéreos y su aparición corresponde con la profundización de las normales. Son de la misma constitución solo que más gruesas y pigmentadas (verdes) en la parte aérea. Su desarrollo se ve ayudado por el aporque y semiaporque (Simón & Golik, 2018).

### **1.4.2. Tallo**

Está formado por nudos y entrenudos sólidos, cuyo número varía de 6 a 40, y se determina que el rango de altura del maíz tropical es de 0,45 m a 6 m. El número medio de nudos para la mayoría de las variedades domésticas es de 13 nudos y una altura de 1,80 m a 2,20 m. Los entrenudos de la base son más cortos y más grandes que los otros entrenudos. La longitud del tallo se ve afectada en gran medida por la disponibilidad de agua durante el crecimiento vegetativo (Simón & Golik, 2018).

### **1.4.3. Hoja**

Las hojas por lo común son lanceoladas, anchas y alargadas con bordes lisos, en la mitad superior de la planta brota una o dos yemas laterales localizadas en la zona axilar de las hojas, donde se desarrolla la inflorescencia femenina, para eventualmente convertirse en mazorca, en esta parte la planta conserva las reservas (Rios Asanza, 2021).

### **1.4.4. Sistema floral**

Es una planta monoica, con una inflorescencia terminal estaminada, la panoja y una pistilada, también terminal, y en la ramificación lateral, la espiga o mazorca (Simón & Golik, 2018). La inflorescencia masculina es terminal, denominada como panícula o espiga. La panícula puede mostrarse de color verde, amarillo, rojizo o morado, debido a que está enlazado con la tonalidad de las glumas y anteras (Rios Asanza, 2021).

Las mazorca o inflorescencia femenina se forma en las yemas axilares de las hojas, son espigas desarrolladas por un raquis de forma cilíndrica donde surgen las espiguillas en pares, cada una con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva y un extenso estilo con poder estigmático donde germina el polen (Rios Asanza, 2021).

### **1.4.5. Fruto**

La mazorca tiene la posibilidad de fructificar hasta 1000 granos, repartidos entre 6 a 12 pares de hileras por mazorca. Cada grano o semilla es un fruto propio nombrado como cariósipide, incrustado en el raquis u olote. El grano de maíz se conforma por 4 estructuras primordiales (pericarpio, endospermo, germen o embrión y la pilorriza), se le asigna propiedades fisicoquímicas como color, textura, tamaño, entre otras. Siendo fundamentales en la clasificación del grano como alimento (Rios Asanza, 2021).

### **1.4.6. Semilla**

Las diferencias estructurales más importantes que presenta la semilla son: el tamaño, la forma y el tipo de endospermo, que es el componente más grande de la semilla y representa alrededor del 82%, el germen con el 12%, el pericarpio con el 5% y el pedicelo con el 1% (Pérez de la Cerda et al., 2007).

## **1.5. Condiciones edafoclimáticas requeridas por el cultivo de maíz**

### **1.5.1. Altitud**

El maíz se encuentra presente a partir de los 0 a 3000 msnm, su adaptación es debido a sus diferencias genotípicas (Rios Asanza, 2021).

### **1.5.2. Precipitaciones requeridas**

Para obtener el máximo rendimiento, el cultivo necesita de 500 a 800 mm de agua (Hossne García et al., 2018).

### **1.5.3. Temperatura**

La temperatura óptima para la germinación del maíz está entre 18 y 21 °C, su temperatura umbral máxima se encuentra entre 27 y 30 °C, mientras que por debajo de 10 °C no hay germinación (Zarazúa-Villaseñor et al., 2011).

### **1.5.4. Suelos**

Se desarrolla habitualmente en los suelos con topografía plana e irregular, en suelos de texturas medias como francos, franco arcilloso-arenoso, en particular tienen que ser suelos profundos porque las raíces consiguen llegar alcanzar más de 80 cm de profundidad, estos suelos deben tener un buen drenaje, porque el cultivo no soporta encharcamientos, disminuyendo su desarrollo y crecimiento, Asimismo necesita de suelos ligeramente ácidos contemplando que su pH debe oscilar entre 5,6 - 6,5 (Quezada Mendoza, 2019).

### **1.5.5. Luminosidad**

El maíz necesita de una iluminación idónea para su crecimiento. Requiere al menos 10 horas luz al día. Por otra parte, dado su gran nivel de adaptación soporta días con 12 a 14 horas de luz (Villaseca & Novoa SA, 1987).

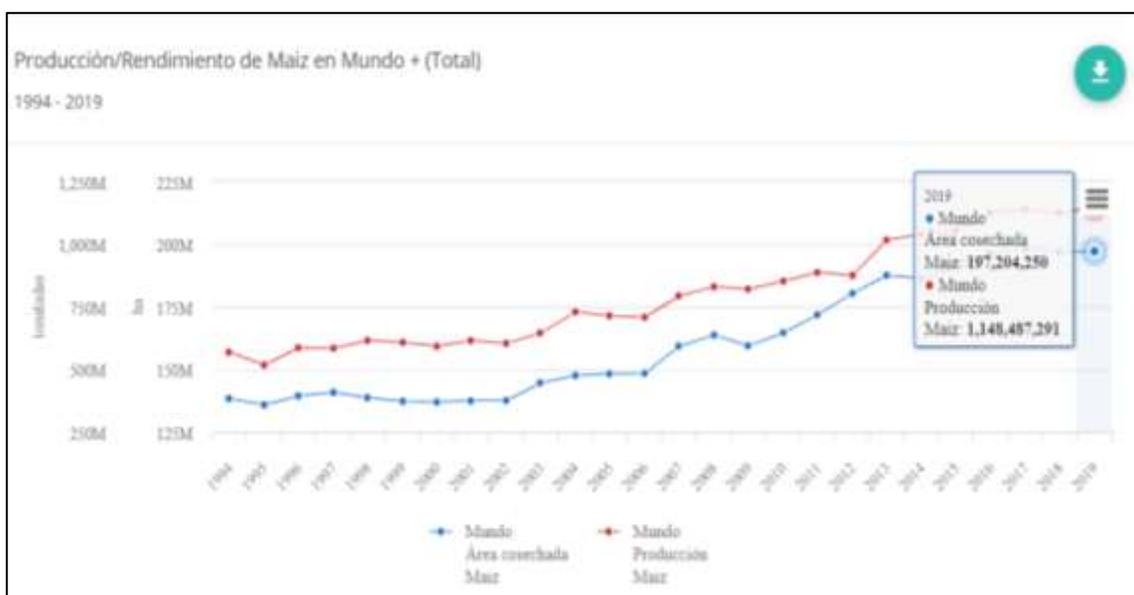
### **1.5.6. Exigencias del cultivo**

Este cultivo es demasiado perceptible a las bajas temperaturas, siendo la etapa de la emergencia a la floración, la de mayor sensibilidad. La temperatura del suelo para la germinación debe encontrarse entre 15 y 20 °C menores de 12 °C ocasionan demora y reducción de la germinación. En consecuencia, la semilla embebida de agua queda por un tiempo mayor en riesgo

a patógenos del suelo, los cuales la atacan y arruinan. En cambio, una vez producida la germinación una baja en la temperatura del suelo no perjudica el desarrollo de la plántula. Temperaturas superiores a 28 °C en el suelo, también son perjudiciales para la germinación de la semilla (Saavedra & González, 2014).

### 1.6. Importancia económica del maíz a nivel nacional y global

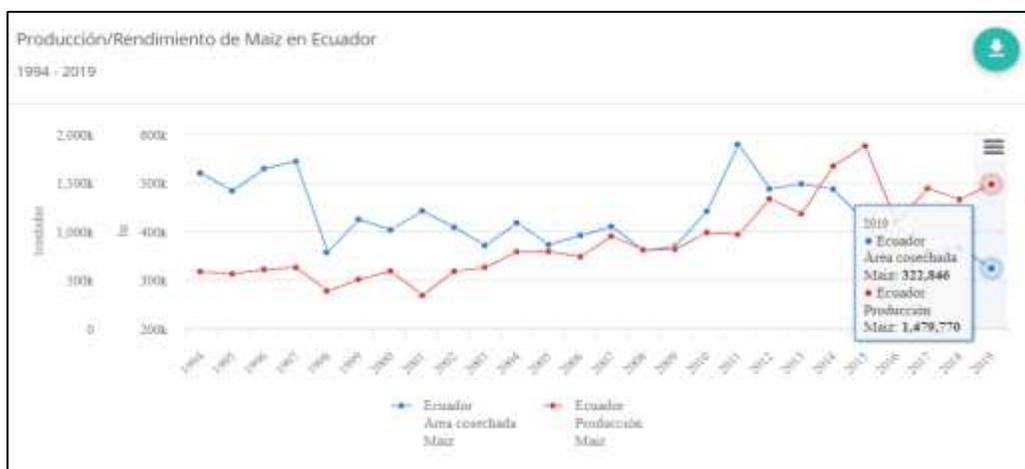
Según la FAO (2019), se registró una gran variación en la producción y rendimiento de maíz del mundo, cuya última cifra del año 2019 es 197 204 250 hectáreas cosechadas con una producción de 1 148 487 291 toneladas/año comparando la producción con la de los años anteriores tanto el área cosechada como la producción aumentó, dicho aumento está representado en la (figura 1).



**Figura 2.** Área cosechada y producción de maíz en el mundo (período 1994-2019).

**Fuente:** FAO (2019)

Según la FAO (2019), El Ecuador en la producción del 2019 tuvo un incremento en comparación con la del año anterior que fue más baja alcanzando una producción de 1 479 770 toneladas/año, por otro lado, tuvo una reducción del área cosechada, en comparación con la de los años anteriores, (figura 2).



**Figura 3.** Área cosechada y producción de maíz en Ecuador (período 1994-2019).

**Fuente:** FAO (2019).

### 1.7. Composición Química del Maíz

Los componentes primordiales de los granos de maíz son almidón, proteínas y lípidos. También hay pequeñas cantidades de fibra, azúcares minerales y vitaminas. El análisis estimado sobre sustancia seca se muestra en la tabla (Simón & Golik, 2018).

**Tabla 2.** Valores nutricionales contenidos en un grano de maíz.

| Fracción    | Promedio (%) |
|-------------|--------------|
| Almidón     | 72           |
| Proteína    | 10           |
| Lípidos     | 4.8          |
| Fibra bruta | 8.5          |
| Azúcares    | 3            |
| Cenizas     | 1.7          |

**Fuente:** (Simón & Golik, 2018)

#### 1.7.1. Almidón

Los gránulos de almidón incluyen dos tipos de moléculas, amilosa y amilopectina. La relación es aproximadamente 27% de amilosa y 73% de amilopectina. Ambas moléculas son

polímeros de elevado peso molecular conformado por unidades de D-glucosa. La subespecie ceratina, maíz ceroso posee un almidón compuesto casi en su totalidad por amilopectina, lo que le da al endospermo un aspecto opaco (Simón & Golik, 2018).

### **1.7.2. Proteínas**

Se clasifican según su solubilidad, siendo la prolamina (soluble en etanol 70-80%) la parte más representativa con un 54% del total (Simón & Golik, 2018).

### **1.7.3. Lípidos**

Casi el 85% está presente en el germen, que es una fuente comercial de aceite de maíz. Los principales componentes del aceite refinado son los triglicéridos de ácidos grasos. Los ácidos grasos primordiales son el ácido linoleico al 59%, el ácido oleico al 27% y el ácido palmítico al 12% (Simón & Golik, 2018).

## **1.8. Atributos de calidad de semillas**

La calidad es un elemento fundamental a considerar para la producción de semillas en la cual no solo se debe evitar la contaminación, sino también cumplir con los estándares de calidad requeridos y obtener una cantidad adecuada de semillas utilizables (Antuna, Rincón, Gutiérrez, Ruiz, & Bustamante, 2003). La calidad se considera un estándar de excelencia, que involucra las propiedades o características físicas, biológicas y fisiológicas inherentes a la semilla, que determinarán su desempeño en almacenamiento y en la siembra (Carvajal et al., 2017).

Las semillas de alta calidad ayudan a mejorar la eficiencia productiva de las variedades porque pueden emerger de manera rápida y uniforme en diferentes condiciones ambientales. La calidad de la semilla es un concepto fundado en la evaluación de diferentes atributos, los cuales mejoran el establecimiento de las plantas en el campo, entre los que destacan: la calidad genética, fisiológica, física y sanitaria (Pérez Mendoza et al., 2006).

## **1.9. Calidad genética**

Hace referencia a las características seleccionadas por el fitomejorador antes de lanzar una nueva variedad; la calidad dependerá de la ausencia de plagas y enfermedades que haya en las semillas (Castañeda-Saucedo et al., 2009).

## **1.10. Calidad fisiológica**

La calidad fisiológica tiene que ver con la integridad de la estructura y del proceso fisiológico que permite que la semilla mantenga una alta tasa de viabilidad. Los principales indicadores de la calidad fisiológica son la tasa de germinación y el vigor (Antuna et al., 2003).

## **1.11. Calidad Física**

Los factores relacionados con la calidad física de las semillas son: contenido de humedad, peso por volumen y pureza. También puede considerar el color, el tamaño de la semilla, el peso de mil granos y el daño causado por hongos e insectos. Las semillas deben cumplir con estándares de calidad específicos, dependiendo de la especie se considerará su calidad física (Carrillo et al., 2009).

### **1.11.1. Contenido de Humedad**

El contenido de humedad es indispensable para determinar si un lote de semillas está en condiciones de conservarse en seguida o debe secarse todavía más (Cuevas, 1996).

### **1.11.2. Peso**

El peso es un factor fundamental para deducir la tasa de siembra. El peso va a depender de la dimensión de la semilla, su contenido de humedad y el número de semillas puras (Cuevas, 1996).

### **1.11.3. Pureza**

La semilla pura se refiere a la especie en estudio. Asimismo, a la semilla madura y no deteriorada incorporando semillas pequeñas, marchitas, inmaduras y germinadas, teniendo presente que se puede reconocer como semilla de la especie en estudio (Poulsen, 1999).

## **1.12. Calidad Sanitaria**

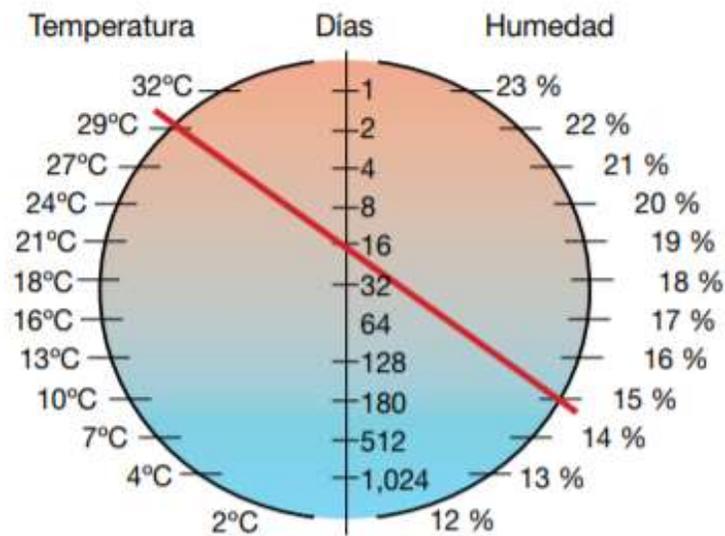
La sanidad de las semillas se refiere a la existencia o carencia de patógenos, principalmente hongos de campo y de almacenamiento. Entre los hongos de campo se encuentran *Fusarium* y *Colletotrichum* lo cuales disminuyen la germinación. La frecuencia y potencia de los hongos patógenos en las semillas dependen de la fuerza de las enfermedades de los cultivos, el inóculo en el rastrojo y las condiciones ambientales que ocurren especialmente en las etapas reproductivas de mayor nivel (Formento et al., 2016).

### 1.13. Almacenamiento de las semillas

Una de las formas más eficaces de proteger el germoplasma de las especies de plantas silvestres y fomentar la repoblación en el entorno natural del que proceden es almacenar semillas en condiciones controladas para prolongar su vida útil (Vazquez-Yanes & Toledo, 1989).

La semilla está propensa a procesos naturales de envejecimiento que la desgastan y posteriormente la llevan a la muerte. Desde un punto de vista económico, las condiciones de almacenamiento de las semillas son muy importantes ya que, al almacenarlas en condiciones adecuadas, se puede evitar el deterioro prematuro y se puede mantener la calidad por un período de tiempo más largo. Sin embargo, un almacenamiento adecuado tiene como objetivo mantener la viabilidad de las semillas durante el mayor lapso de tiempo posible (Doria González et al., 2012).

Las semillas luego del desgrane se pueden almacenar hasta que se envían a la fábrica de la empresa de semillas. Las semillas se almacenan en bolsas o sacos, pero solo semillas con un contenido de humedad menor del 13%, deben ser almacenadas. No obstante, la duración que se puede conservar la semilla incluso si el nivel de humedad es bajo, dependerá de la temperatura ambiente y la humedad relativa. Cuanto menor sea la temperatura ambiente y la humedad relativa, más largo será el plazo de conservación de la semilla (MacRobert et al., 2015).



**Figura 4.** Representación diagramática de la vida potencial de almacenamiento de la semilla en función de la temperatura ambiente y el contenido de humedad de la semilla.

**Fuente:** (MacRobert et al., 2015).

En términos generales, si la humedad relativa es superior al 60%, es posible que las semillas se dañen más rápido porque estas condiciones incrementan su contenido de humedad y promueven el desarrollo de plagas y enfermedades de almacenamiento (MacRobert et al., 2015).

#### **1.14. Deterioro de la semilla**

Durante el almacenamiento, los mecanismos de deterioro de las semillas reducen la germinación, la tasa de crecimiento de las plántulas y la tolerancia a condiciones adversas. Otros síntomas de semillas estropeadas incluyen: crecimiento anormal, daño a la estructura principal de la plántula, pérdida de compuestos solubles debido a una excesiva permeabilidad de la membrana, disminución de la actividad enzimática, daño oxidativo al ADN y proteínas, y la producción de sustancias dañinas (Pérez-Camacho et al., 2008).

#### **1.15. Hongos que afectan en el almacenaje a las semillas**

Los hongos son microorganismos creadores de esporas que carecen de clorofila y tienen toda la estructura de las células eucariotas (Torres Villar et al., 2014). Las especies de hongos más importantes asociadas con los cereales son de los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* (Apodaca Sánchez et al., 2009).

##### **1.15.1. Alternaria**

El género *Alternaria spp.* contiene especies cosmopolitas que conquistan una amplia gama de materiales orgánicos. Ejercen como saprobias, pueden destruir alimentos y forrajes elaborando compuestos biológicamente activos, incluidas las micotoxinas. En el campo, diferentes especies de *Alternaria* pueden mermar de modo significativo el rendimiento y la calidad de semillas, frutos y legumbres (Apodaca Sánchez et al., 2009).

*Alternaria* luego de *Cladosporium* es un moho cuyas esporas se hallan suspendidas en el aire con mucha constancia. Su distribución es general y se considera un hongo de lugares abiertos. Los conidios a menudo se aíslan con regularidad al aire libre a lo largo del tiempo caluroso (Apodaca Sánchez et al., 2009).

### **1.15.2. Aspergillus**

Este hongo es omnipresente, puede crecer en casi cualquier sustrato, materia orgánica, polvo, paredes, sacos, telas, pinturas, etc. Es común en alimentos procesados, frutas y granos (Apodaca Sánchez et al., 2009).

*Aspergillus* puede ser el hongo más considerable para proteger los granos de cereales y oleaginosas. Pueden suceder pérdidas enormes debido al daño directo a la calidad nutricional de los granos y los riesgos para los seres vivos causados por el consumo de dichos materiales contaminados (Apodaca Sánchez et al., 2009).

Los mohos de *Aspergillus* pueden dañar muchos alimentos. En granos almacenados, impiden la capacidad de germinación; Pueden causar cambios de color, calentamiento, amohosado, apelmazado y eventualmente causar la pudrición de las semillas (Apodaca Sánchez et al., 2009).

### **1.15.3. Fusarium**

Es un hongo universal, de gran interés agrícola, clínico e industrial. En este género existen especies o grupos que son parásitas de los seres vivos; otras dañan a las plantas en el campo o en postcosecha, mientras tanto otras son benéficas pues facilitan la degradación de materia orgánica y también consiguen colonizar a las raíces de las plantas, en donde trabajan como agentes de control biológico (Apodaca Sánchez et al., 2009).

Las especies del género *Fusarium* poseen una extensa capacidad epidemiológica, que les confiere garantizar una elevada persistencia y eficacia de diseminación. Normalmente, colonizan aceleradamente a residuos de cultivos frescos, en los que se mantienen por muchos años, en forma de micelio o clamidosporas. Las clamidosporas operan como estructuras de resistencia; se basan en células del micelio o de las esporas, que incrementan su pared y conservan reservas de nutrientes, que les otorga una capacidad de supervivencia muy extensa. Por otro lado, la mayor parte de las especies de este género son capaces de transmitir por semilla o de refugiarse en la raíz de las malas hierbas, en donde por lo regular no ocasionan perjuicio (Apodaca Sánchez et al., 2009).

En gramíneas por lo regular las especies de *Fusarium* más fundamentales son *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. subglutinans*, etc. Estos hongos dañan a cereales como trigo, avena, cebada, sorgo y maíz. En el depósito, estos hongos generalmente no siguen con su perjuicio en el grano, a menos que el nivel de humedad sea demasiado alto. Aun así, el grano estropeado desde el campo, es posible que este ya esté infectado por lo cual su consumo representa un peligro sanitario desde antes de su almacenamiento (Apodaca Sánchez et al., 2009).

#### **1.15.4. Penicillium**

Son mohos frecuentes que se establecen sobre diferentes substratos: granos, paja, cueros, frutas, entre otras. El valor de estos mohos en la nutrición de los seres humanos y de los animales, se debe a que además del daño directo de los granos estos producen toxinas (Apodaca Sánchez et al., 2009).

Los granos de cereales pueden estar invadidos por *P. aurantiogriseum* desde antes de la cosecha, en especial en el tiempo húmedo, pero la principal contaminación ocurre en los acopios, donde se conservan las esporas desde una cosecha anterior. La esporulación en circunstancias de disminución de actividad del agua, facilitan que los hongos completen su ciclo de vida perdurando en las condiciones desfavorables, para después ser diseminados por insectos y ácaros (Apodaca Sánchez et al., 2009).

Los *penicilios*, del mismo modo que los *aspergilos*, no son dañados por la luz y esporulan sencillamente en la oscuridad. *P. aurantiogriseum* y en particular *P. roqueforti* pueden soportar altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, por lo que suelen invadir granos en silos cerrados; pero la combinación de 80% CO<sub>2</sub> y < 1% O<sub>2</sub> en la atmósfera del silo, impiden el desarrollo fúngico (Apodaca Sánchez et al., 2009).

#### **1.16. Generalidades sobre las semillas**

La semilla es el órgano reproductor más importante de casi todas las plantas terrestres y acuáticas. Desempeña un papel clave en la renovación, persistencia y propagación de poblaciones vegetales, renovación forestal y sucesión ecológica. Las semillas son la fuente de alimento básico de animales y de seres humanos. El alimento primordial de la población humana se compone directa e indirectamente de semillas, y las semillas también se utilizan como alimento para distintos animales domésticos. Las semillas se pueden conservar durante mucho tiempo, lo que garantiza la

conservación de especies y variedades de plantas importantes (Doria, 2010). La semilla, está propensa a procesos naturales de deterioro que la debilitan y posteriormente la llevaran a la muerte por ende que, al almacenarlas, se debe reducir el proceso natural de deterioro (Palma-Rivero et al., 2000).

### **1.17. Bancos de semillas**

El banco de semillas es una herramienta para proteger los recursos del germoplasma, garantizar la diversidad genética, fomentar la sostenibilidad ambiental y avalar el derecho a la seguridad, soberanía y autonomía alimentaria de las comunidades. Además, el banco de semillas ayuda a reconstruir la estructura social de la comunidad al proteger la cultura tradicional relacionada con los métodos de producción agrícola, lo que facilita la independencia productiva de la población (Romero Pintor et al., 2020).

Son centros para preservar de forma ex situ las colecciones de materiales vegetales (germoplasma) fuera de su entorno natural o tradicional, de modo que pueda seguir utilizándose para plantar, investigar o mejorar las plantas. En estos centros se conserva el polen, los embriones, las yemas y lo más importante las semillas las cuales están en condiciones adecuadas para que mantengan su viabilidad durante mucho tiempo (Villamil & Laborde, 2001).

La protección ex situ ha sido durante mucho tiempo un apoyo para ciertas partes de la diversidad; de lo contrario, estas partes pueden desaparecer para siempre en la naturaleza. Sin embargo, la mayor parte del germoplasma conservado en bancos de semillas de todo el mundo corresponde a especies de uso agrícola (Romero-Saritama & Pérez-Ruíz, 2016).

### **1.18. Germinación de la semilla**

La germinación es un fenómeno por el cual se inicia la formación de una plántula partiendo de la semilla, es un proceso que está controlado por muchos factores. Necesita suficiente agua, energía, la temperatura óptima, una eficiente disponibilidad de oxígeno y una considerable cantidad de luz (Cabello et al., 1998).

La germinación comienza con la toma de agua por la semilla seca (imbibición) y finaliza cuando una parte de ésta atraviesa las estructuras envolventes que la rodean (emergencia) (Matilla,

2008). La aparición de la radícula a través de las cubiertas seminales, es la primera señal que se observa de la germinación (Navarro et al., 2012).

### **1.19. Calidad de las semillas**

La calidad de las semillas es un componente fundamental que determina el desarrollo y crecimiento de los cultivos, por lo que se debe valorar para elevar el rendimiento y facilitar la producción de plántulas de calidad. La cual debe cumplir algunos factores como el genotipo de la planta, las condiciones climáticas en el desarrollo y labores culturales ejecutadas desde la siembra hasta la cosecha (Magdaleno-Hernández et al., 2020).

### **1.20. Viabilidad de la semilla**

La semilla se ve afectada en su viabilidad por las características genéticas de la planta madre, las condiciones climáticas durante la floración, el desarrollo, madurez del fruto, la madurez del grano en la cosecha y la manera de recolección y postcosecha (Hernández et al., 2006).

### **1.21. Vigor de la semilla**

El vigor o energía germinativa es el potencial que posee la semilla en el proceso de germinación y emergencia de una plántula, las semillas con un alto vigor se mantienen mucho más tiempo, germinan rápido y resisten más a las condiciones desfavorables de la germinación (Rivero & López Medina, 2015). El vigor de la semilla es un parámetro bastante valioso porque permite distinguir la diferencia entre germinación y emergencia en campo sobre todo cuando las condiciones del sitio pueden provocar estrés (García-López et al., 2016).

### **1.22. Latencia de semillas**

Es un estado físico que evita la germinación de las semillas, aunque estas tengan las condiciones ideales para germinar (Morales-Santos et al., 2017).

### **1.23. Conservación de semillas**

La preservación del germoplasma en los bancos de semillas requiere métodos para extender la vida útil y mantener la calidad de las semillas. Esta calidad depende del aporte genético y las condiciones ambientales durante la madurez, técnicas de cosecha, métodos de almacenamiento y procesos de acondicionamiento de semillas. Cualquier trato desfavorable puede provocar una disminución de la calidad y un aumento del deterioro (Cardozo et al., 2002).

Desde el comienzo de la agricultura, ha sido una práctica común para los agricultores almacenar semillas, ya sea para sembrarlas o como alimento. Sin embargo, en el siglo XX se establecieron instituciones destinadas para la conservación de semillas a largo tiempo. En las cuales las semillas secas se conservan en envases herméticos, en una cámara a baja temperatura. No obstante, dado que no todas las semillas son resistentes al secado, se distinguen dos tipos (Pérez García & Pita Villamil, 2001).

## **1.24. Tipos de semillas**

### **1.24.1. Semillas Ortodoxas**

Son semillas que pueden sobrevivir después del secado (pueden desecarse hasta 5-10% de contenido de humedad). Las semillas de la mayoría de las especies que crecen en regiones templadas se incorporan en este tipo (Pérez García & Pita Villamil, 2001).

### **1.24.2. Semillas recalcitrantes**

Son semillas que pierden viabilidad poco después del secado (el contenido de humedad no puede ser inferior al 12-30%). Acostumbran ser semillas de plantas tropicales y Subtropicales, algunas de gran valor económico como: aguacate (*Persea americana*), cacao (*Theobroma cacao*), café (*Coffea spp.*), Mango (*Mangifera indica*), árbol de caucho (*Hevea brasiliensis*), cocotero (*Cocos nucifera*); y semillas de zonas templadas de especies arbóreas grandes, haya (*Fagus sylvatica*), arce (*Acer spp.*), Castaño (*Castanea sativa*), encina, roble (*Quercus spp.*) (Pérez García & Pita Villamil, 2001).

## **1.25. Tipos de germinación de semillas**

Dependiendo de la posición del cotiledón en relación con la superficie del sustrato, la forma en que germina la semilla puede ser diferente. Por lo tanto, se diferencian dos tipos distintos de germinación: epigea e hipogea (Doria, 2010).

En la epigea debido al crecimiento masivo del hipocótilo el cotiledón nace del suelo (la parte entre el punto de inserción de la radícula y el cotiledón). Seguidamente, en los cotiledones, los cloroplastos se diferencian, transformándose en órganos fotosintéticos y funcionan como hojas. Por último, inicia el desarrollo del epicótilo (la parte del eje entre el punto de inserción del cotiledón y la primera hoja), como se muestra en cebollas y tomates (Doria, 2010).

En la hipogea los cotiledones se quedan enterrados, solamente la plúmula traspasa el suelo. El hipocótilo es demasiado pequeño, prácticamente nulo. Posteriormente, hay alargamiento del epicótilo, surgiendo las primeras hojas verdaderas, que son los órganos primordiales fotosintéticos de la plántula (Doria, 2010).

#### **1.26. Poder germinativo**

Se trata sobre el porcentaje (%) de semillas germinadas en condiciones favorables, pero solamente se toma en cuenta a las semillas vivas, porque por obvias razones hay semillas que aun estando en condiciones favorables no germinan (Quezada Mendoza, 2019).

#### **1.27. Capacidad de germinación**

Es el porcentaje (%) máximo de germinación que se produce en un ambiente propicio en diferentes condiciones establecidas (Rodriguez Quilón et al., 2008).

#### **1.28. Velocidad de germinación**

La velocidad de germinación es el periodo que dura a partir de la siembra hasta un punto arbitrario arriba de las curvas de germinación (Lezama & Morfin, 1992).

#### **1.29. Prueba de Germinación**

Constituye la manera más utilizada para determinar la calidad de la semilla y aunque sobreestiman su comportamiento, pueden complementarse con la medición del vigor, lo que proporciona una respuesta más relevante en los resultados de la germinación en campo (Fontana et al., 2016).

#### **1.30. Prueba de Germinación con Ácido giberélico (AG3)**

El objetivo fisiológico de las giberelinas endógenas y exógenas en la ruptura de la latencia de las semillas se ha reconocido en varias especies de plantas; por ejemplo, la aplicación de giberelinas generalmente sustituye la necesidad de estímulos ambientales determinados como la temperatura o luz (Amador-Alfárez et al., 2013).

En investigaciones de cultivos in vitro, se ha indicado que bajas concentraciones de AG3 pueden promover el alargamiento de brotes y raíces de especies con valor comercial, efectivamente, el ácido giberélico juega un papel en el alargamiento axial de tallos, raíces e inflorescencias. Se ha

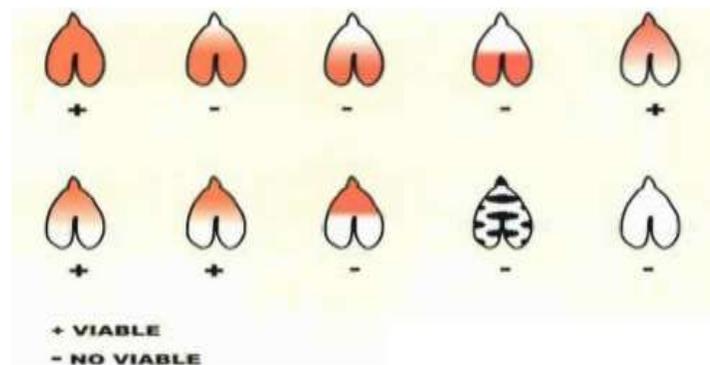
comprobado que su efecto sobre el alargamiento del tallo de diferentes especies cultivadas in vitro se debe al aumento de carbohidratos solubles, que pueden ser utilizados en diversos procesos metabólicos (Amador-Alfárez et al., 2013).

### 1.31. Prueba de tetrazolio

Este test se basa en la actividad de las enzimas hidrolasas, especialmente deshidrogenasa del ácido málico que disminuye la sal de tetrazolio en el tejido vivo de la semilla, donde los iones  $H^+$  se transfieren a la sal. Cuando las semillas se sumergen en una solución de tetrazolio, se produce una reacción de disminución en las células vivas, lo que produce la formación de un compuesto rojo no difusible llamado trifenílformazán. Mostrando la existencia de la actividad respiratoria en las mitocondrias y por lo tanto que el tejido está vivo. Mientras que el tejido muerto no responde a la solución, conservando así su color natural (Prieto Méndez et al., 2011).

Para que los resultados del test sean favorables, la absorción de tetrazolio debe ser suficiente; de modo que, las semillas se deben remojar previamente en agua para activar el metabolismo enzimático antes de ser empapadas con la solución de tetrazolio; luego de esto gran parte de especies necesitarán técnicas de preparación como pinchar o quitarles el tegumento (Salazar Mercado & Botello Delgado, 2018).

Es un test que, por medio de la observación del color obtenido de las distintas partes de la semilla, se puede determinar la existencia, ubicación y naturaleza de los cambios en el tejido de la semilla, posibilitando así determinar la causa de la pérdida de la viabilidad y vigor (Prieto Méndez et al., 2011).



**Figura 5.** Diferentes patrones de tinción que pueden presentar los embriones de maíz.

**Fuente:** (Pérez García & Pita Villamil, 2001).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1.3. Materiales

##### 1.3.1. Localización del ensayo.

El presente trabajo se realizó en La Granja “Santa Inés” perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, la misma que se encuentra ubicada a 5.5 km de la vía Machala-Pasaje, parroquia El Cambio, cantón Machala, Provincia de El Oro.

##### 1.3.2. Ubicación geográfica

El lugar de estudio se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

- **Coordenadas Geográficas:** UTM (Universal Transverse Mercator)
- **Datum:** WGS 84 (World Geodetic System 1984)
- **Zona:** 17 S
- **Longitud:** 79° 54' 05" W    **UTM:** 9636128
- **Latitud:** 03° 17' 16" S    **UTM:** 620701
- **Altitud:** 5 msnm

##### 1.3.3. Factores climáticos y ecológicos

De acuerdo al lugar de estudio según las zonas de vida de Holdridge y mapa Ecológico del Ecuador, presenta un clima cálido subtropical, temperatura de 25-28°C. precipitación media de 489 mm anuales, y 2 a 4 horas diarias de Heliofanía caracterizando a la zona como Bosque muy seco – Tropical.

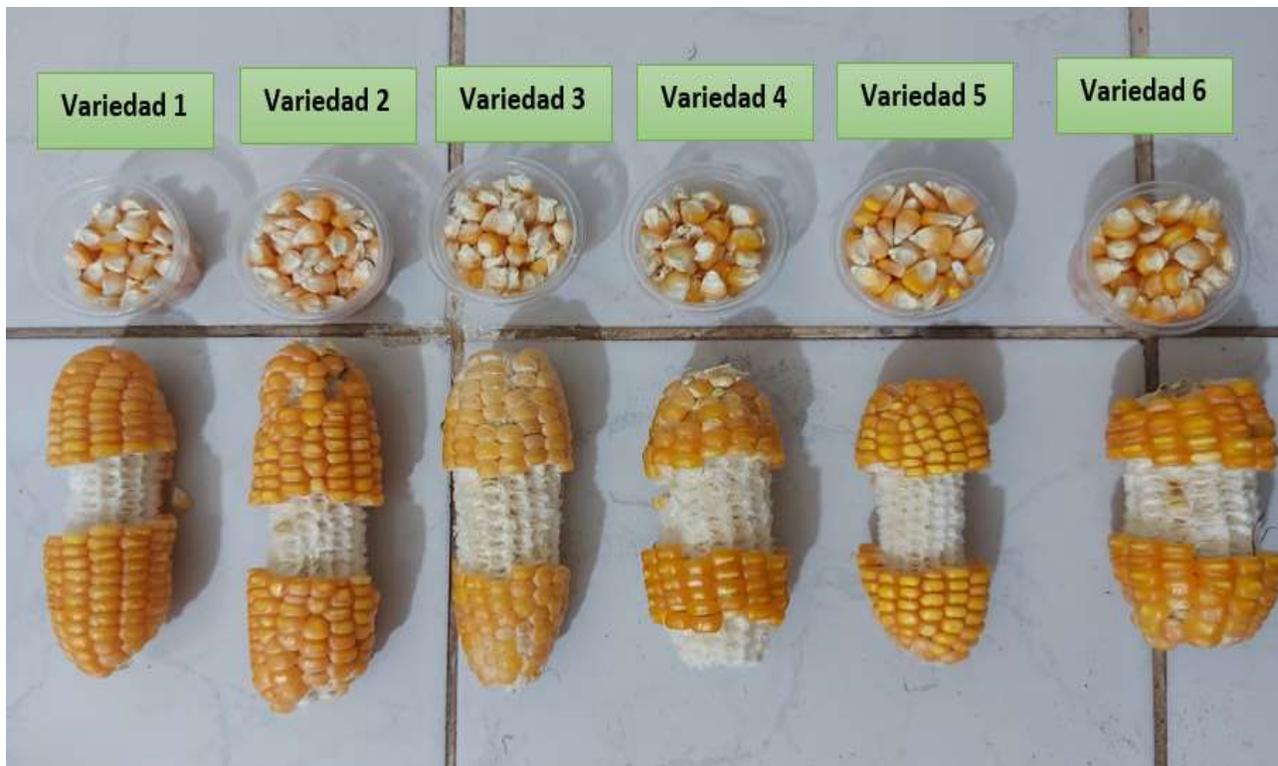
##### 1.3.4. Materiales y equipos utilizados

- Semillas de seis variedades de maíz
- Cajas Petri
- Tetrazolio
- Papel filtro
- Atomizador
- Agua destilada
- Ácido Giberélico

- Bisturí
- Pinzas
- Jeringa
- Termómetro
- Gramera
- Cámara fotográfica
- Computadora
- Libreta de apuntes

### 1.3.5. Material vegetal utilizado

En el presente trabajo se utilizaron seis accesiones de maíz (*Zea mays L.*), perteneciente al banco de germoplasma de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Técnica de Machala, las mismas que fueron recolectadas en los diferentes cantones de la provincia de El Oro.



**Figura 6.** Accesiones de *Zea mays L.*, utilizadas en el ensayo.

**Fuente:** Autor

## **1.4. Metodología experimental**

### **1.4.1. Diseño experimental**

Se evaluó 2 factores de estudio (Ag3 y variedad) y las variables principales a medir fueron porcentaje de viabilidad a través de la prueba de Tetrazolio y Germinación con el uso de Ag3. Se aplicó una prueba de normalidad en este caso Shapiro Wilk y cajas de sesgo, a su vez se realizó una regresión y una correlación de Pearson para obtener el coeficiente de correlación, además se aplicó una comparación de medias mediante un ANOVA y para finalizar, se aplicó un modelo lineal multivariante para poder obtener los gráficos de barra para determinar a qué dosis de Ag3 las plántulas obtenidas presentaron mejores características morfo agronómicas.

### **1.4.2. Prueba de Viabilidad mediante test de Tetrazolio**

El experimento se llevó a cabo en condiciones de laboratorio, se observó la viabilidad de las semillas mediante la tinción del embrión (teñido). Se utilizaron dieciocho semillas de manera aleatoria por variedad, se colocó las semillas dentro de una caja Petri con su respectivo papel filtro y con 7 ml de agua destilada durante 24 horas con la finalidad de que la semilla la absorba, se pesó 2 gr de tetrazolio en una gramera, se colocó la sal de tetrazolio en un vaso de precipitación con 200 ml de agua destilada mezclando hasta que se disuelva completamente, luego se colocó la mezcla en un envase ámbar para utilizarla una vez que haya transcurrido las 24 horas. Luego de esto se procedió a cortar cada semilla a lo largo con una pinza y un bisturí, inmediatamente se colocaron dentro de las cajas petri con su respectivo papel filtro y con la ayuda de una jeringa se colocó 2 ml de la solución de tetrazolio, verificando que las semillas queden bien empapadas de la solución. Finalmente se esperó un lapso de 4 horas para observar e interpretar los resultados de la prueba.

### **1.4.3. Ensayo de germinación mediante la aplicación de la hormona Ag3**

Este ensayo se realizó con el objetivo de comprobar los resultados obtenidos de la prueba de tetrazolio, se preparó y aplicó 3 diferentes dosis de una solución de Ag3 (5 ml, 7 ml y 10 ml), con 12 repeticiones por dosis en cada variedad. Las semillas tratadas se colocaron en las cajas petri con su respectivo papel filtro (6 semillas/caja), dando así un total de 216 semillas. Posteriormente fueron ubicadas dentro de una caja para mantenerla en un ambiente oscuro, se colocó un termómetro con el fin de registrar la temperatura que tendrán las semillas dentro de la caja en la mañana, tarde y noche.

## IV. RESULTADOS

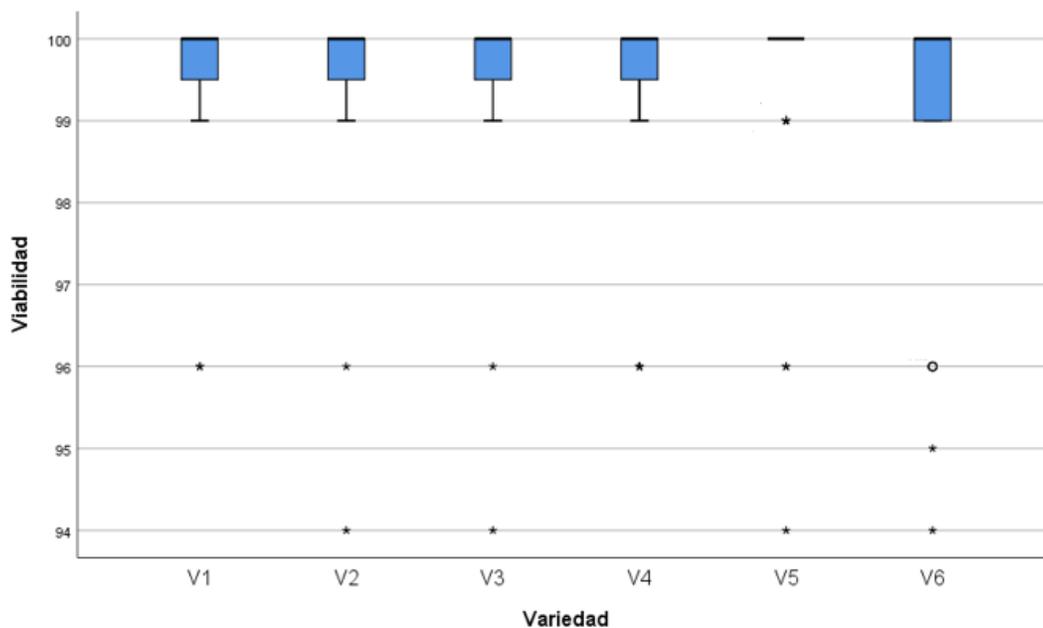
Realizada la prueba de tetrazolio en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se pudo identificar el porcentaje de viabilidad de las seis variedades, la cual se constató a través de una prueba de germinación in vitro en cajas petri con el uso de la hormona Ag3, de la cual se midieron características agronómicas como la longitud de radícula, longitud de hipocótilo, largo y ancho de hojas, longitud de la raíz principal y cantidad de raíces adventicias como un complemento del trabajo investigativo.

Medida esta información, como de otras variables evaluadas se tabulo los datos, se procesaron en el software SPSS para ser procesados estadísticamente mediante el análisis exploratorio de la información y una comparación de medias aplicando un ANOVA y una prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para evidenciar cuales son las variaciones que presentan las variables de estudio producto de los factores evaluados.

**Tabla 3.** Pruebas de normalidad para la variable viabilidad con tetrazolio y prueba de germinación.

| <b>Pruebas de normalidad<sup>a,c</sup></b>   |    |                                 |    |       |              |    |       |
|--|----|---------------------------------|----|-------|--------------|----|-------|
| Variedad   |    | Kolmogorov-Smirnov <sup>b</sup> |    |       | Shapiro-Wilk |    |       |
|  |    | Estadístico                     | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig.  |
| Viabilidad   | V1 | 0.417                           | 36 | 0.000 | 0.477        | 36 | 0.000 |
|  | V2 | 0.402                           | 36 | 0.000 | 0.440        | 36 | 0.000 |
|  | V3 | 0.402                           | 36 | 0.000 | 0.440        | 36 | 0.000 |
|  | V4 | 0.420                           | 36 | 0.000 | 0.488        | 36 | 0.000 |
|  | V5 | 0.431                           | 36 | 0.000 | 0.455        | 36 | 0.000 |
|  | V6 | 0.364                           | 36 | 0.000 | 0.578        | 36 | 0.000 |
| Germinación  | V1 | 0.366                           | 36 | 0.000 | 0.611        | 36 | 0.000 |
|  | V2 | 0.339                           | 36 | 0.000 | 0.621        | 36 | 0.000 |
|  | V3 | 0.379                           | 36 | 0.000 | 0.594        | 36 | 0.000 |
|  | V4 | 0.360                           | 36 | 0.000 | 0.612        | 36 | 0.000 |
|  | V5 | 0.381                           | 36 | 0.000 | 0.590        | 36 | 0.000 |
|  | V6 | 0.319                           | 36 | 0.000 | 0.671        | 36 | 0.000 |
| a. No hay casos válidos para Viabilidad cuando Variedad = .000. Los estadísticos no se pueden calcular para este nivel.  |    |                                 |    |       |              |    |       |
| b. Corrección de significación de Lilliefors   |    |                                 |    |       |              |    |       |
| c. No hay casos válidos para Germinación cuando Variedad = .000. Los estadísticos no se pueden calcular para este nivel. |    |                                 |    |       |              |    |       |

De las variables evaluadas se consideró interpretar y realizar dos análisis para el objetivo principal del estudio donde evaluamos la viabilidad de semillas por medio del uso de tetrazolio, se utilizó una prueba de normalidad de los datos (Shapiro-Wilk) y el análisis de un ANOVA, donde el factor de estudio fue el Tetrazolio y la variable respuesta fue la viabilidad de la semilla. La prueba de normalidad nos permite conocer si existe diferencias significativas para poder aceptar una de las hipótesis  $H_0$  o  $H_1$ , como la variabilidad de los datos del estudio es baja y mediante el análisis de la (tabla 3) se demuestra que en las dos variables hubo una significancia menor al 0.05 del p-valor en las dos pruebas estadísticas, por lo que se entiende que el estudio cumplió con los supuestos de homogeneidad de la varianza.

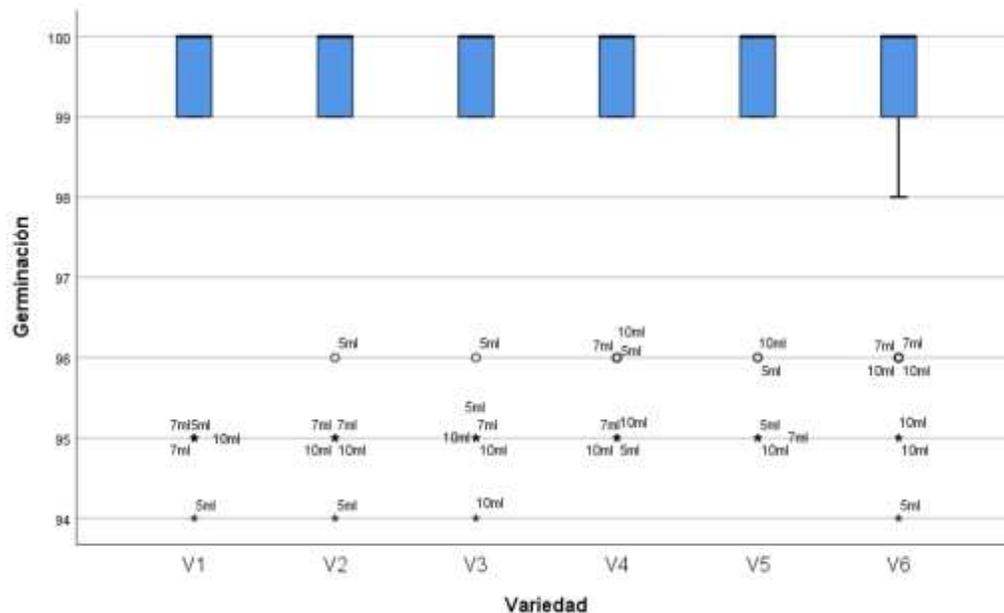


**Figura 7.** Comparación de media entre los tratamientos. variedades y la variable viabilidad de semillas con tetrazolio.

El análisis gráfico de la variable viabilidad de semillas mediante un diagrama de cajas evidencio que las medias de los datos se agrupan entre ellos y que los rangos con respecto al porcentaje de viabilidad para las seis variedades del estudio están en rangos desde el 94% hasta 100%. Es importante mencionar que las variedades V1, V4 presentan un mejor porcentaje de viabilidad con un rango desde el 96% al 100% mientras que en las otras variedades se encuentran desde el 94 %, considerándose estos valores obtenidos como óptimos para una posterior siembra ya que estos resultados garantizan que las seis variedades usadas en el estudio tienen una buena viabilidad.

Al igual que la semilla de maíz en el estudio de Quezada. (2019), muestra que el tetrazolio es capaz de reconocer el estado de viabilidad de las semillas, cuando entra en contacto con el embrión.

Las semillas de maíz de las seis variedades en estudio presentaron un comportamiento parecido a las semillas de cacao y cebadilla observadas en el análisis de Lazo. (2020), y Ruiz (2009), en el cual, concluyen que el color obtenido en la prueba de viabilidad para los tejidos vivos es de color rojizo.



**Figura 8.** Comparación de media entre los tratamientos, variedades y la variable germinación de semillas.

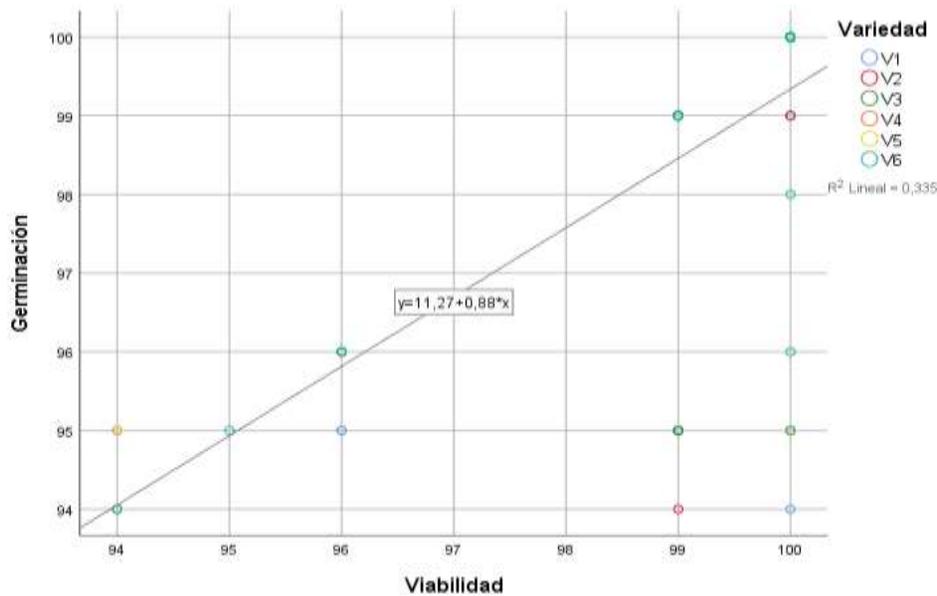
En cambio, en la variable germinación se evidencia que en las seis variedades en estudio la media es del 100% de germinación pero con una asimetría negativa en donde los datos se distribuyen dentro de una germinación óptima superior en todos los casos al 90%, en todas las variedades y tratamientos de Ag3 aplicados. Estos resultados son corroborados por (García Federico et al., 2010), en donde se menciona que la semilla aplicada con Ácido Giberélico (AG) predomina al momento de promover la germinación.

En la mayoría de los casos la aplicación de 5 ml y 7 ml de Ag3 tuvo un menor efecto sobre el potencial de germinación, por lo que se recomienda hacer aplicaciones mayores a 5 ml. A medida que aumenta la concentración de ácido giberélico, aumenta la tasa de germinación (Saldívar-Iglesias et al., 2010).

**Tabla 4.** Correlación de Pearson.

| Correlaciones |                        |            |             |
|---------------|------------------------|------------|-------------|
|               |                        | Viabilidad | Germinación |
| Viabilidad    | Correlación de Pearson | 1          | ,579**      |
|               | Sig. (bilateral)       |            | ,000        |
|               | N                      | 216        | 216         |
| Germinación   | Correlación de Pearson | ,579**     | 1           |
|               | Sig. (bilateral)       | ,000       |             |
|               | N                      | 216        | 216         |

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).



**Figura 9.** Relación entre la viabilidad – germinación y las variedades.

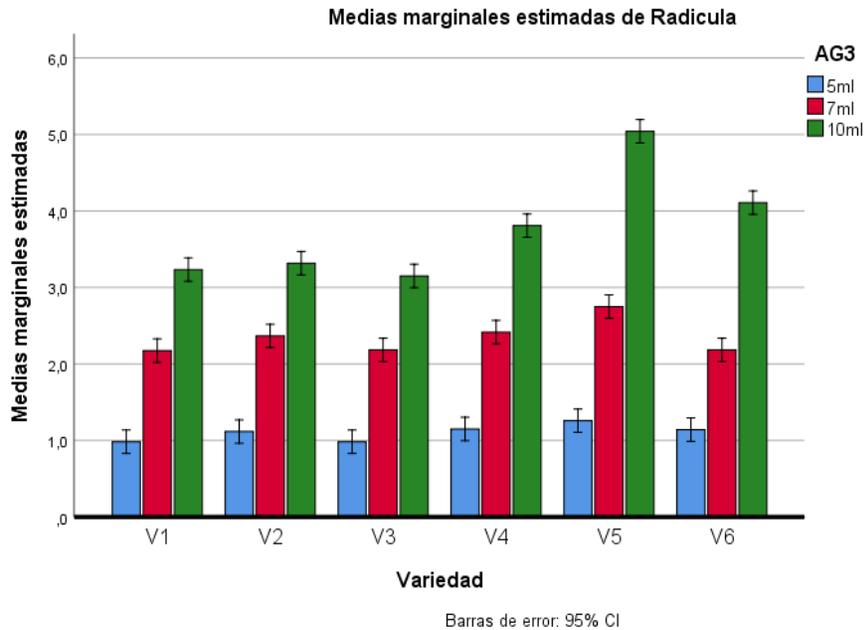
De acuerdo a la (Figura 9), la relación entre la viabilidad de la prueba de tetrazolio – germinación y las variedades, presentan un coeficiente de determinación de  $R^2$  de 0,335, lo cual indica que hay una correlación positiva moderada-baja, este resultado se puede deber a la utilización del ácido giberélico (Ag3), el cual es un estimulador de la germinación en semillas. De acuerdo a los datos de la correlación de pearson (tabla 4), se demostró que existe una correlación significativa y directa para las 2 variables del estudio.

**Tabla 5.** ANOVA para las variables y el factor de estudio variedad.

| Tabla de ANOVA <sup>a</sup> |                  |             |                   |     |                  |        |       |
|-----------------------------|------------------|-------------|-------------------|-----|------------------|--------|-------|
|                             |                  |             | Suma de cuadrados | gl  | Media cuadrática | F      | Sig.  |
| Radícula * Variedad         | Entre grupos     | (Combinado) | 20.386            | 5   | 4.077            | 2.992  | 0.000 |
|                             | Dentro de grupos |             | 286.135           | 210 | 1.363            |        |       |
|                             | Total            |             | 306.521           | 215 |                  |        |       |
| Hipocótilo * Variedad       | Entre grupos     | (Combinado) | 1.266             | 5   | 0.253            | 0.728  | 0.003 |
|                             | Dentro de grupos |             | 73.074            | 210 | 0.348            |        |       |
|                             | Total            |             | 74.340            | 215 |                  |        |       |
| LargoH * Variedad           | Entre grupos     | (Combinado) | 1.176             | 5   | 0.235            | 3.261  | 0.007 |
|                             | Dentro de grupos |             | 15.143            | 210 | 0.072            |        |       |
|                             | Total            |             | 16.319            | 215 |                  |        |       |
| AnchoH * Variedad           | Entre grupos     | (Combinado) | 0.056             | 5   | 0.011            | 0.466  | 0.002 |
|                             | Dentro de grupos |             | 5.031             | 210 | 0.024            |        |       |
|                             | Total            |             | 5.087             | 215 |                  |        |       |
| RaizP * Variedad            | Entre grupos     | (Combinado) | 479.368           | 5   | 95.874           | 49.243 | 0.000 |
|                             | Dentro de grupos |             | 408.859           | 210 | 1.947            |        |       |
|                             | Total            |             | 888.226           | 215 |                  |        |       |
| Radventicias * Variedad     | Entre grupos     | (Combinado) | 243.222           | 5   | 48.644           | 2.969  | 0.013 |
|                             | Dentro de grupos |             | 3440.111          | 210 | 16.381           |        |       |
|                             | Total            |             | 3683.333          | 215 |                  |        |       |
| Viabilidad * Variedad       | Entre grupos     | (Combinado) | 4.037             | 5   | 0.807            | 0.508  | 0.000 |
|                             | Dentro de grupos |             | 333.667           | 210 | 1.589            |        |       |
|                             | Total            |             | 337.704           | 215 |                  |        |       |
| Germinación * Variedad      | Entre grupos     | (Combinado) | 1.245             | 5   | 0.249            | 0.067  | 0.000 |
|                             | Dentro de grupos |             | 779.861           | 210 | 3.714            |        |       |
|                             | Total            |             | 781.106           | 215 |                  |        |       |

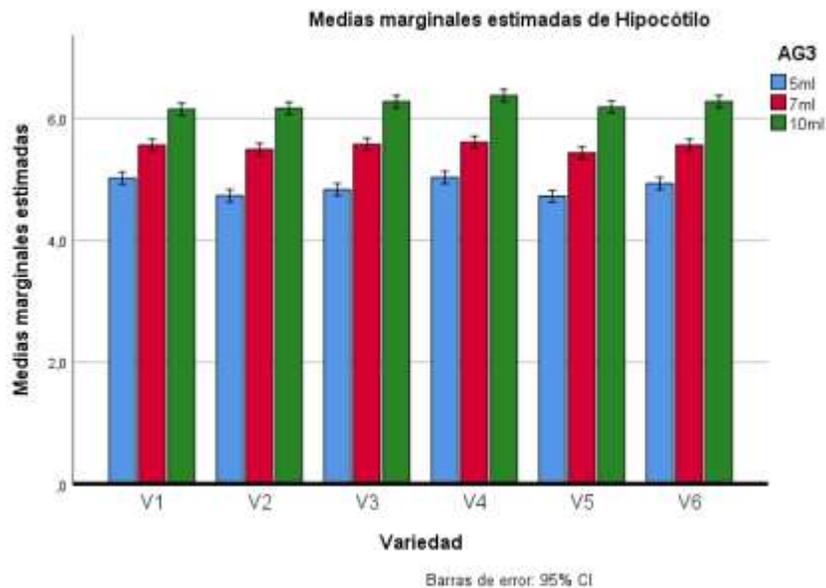
a. La variable de agrupación Variedad es una cadena, de forma que la prueba para la linealidad no se puede calcular.

Los datos del ANOVA (Tabla 5) indican que radícula, hipocótilo, largo y ancho de hoja, raíz principal, raíces adventicias fueron significativos en la comparación entre grupos de las variables evaluadas, siendo menores al p-valor propuesto de 0.05. Las pruebas multivariantes aplicadas indican en todos los análisis realizados y evaluando la interacción variedad hormona indican que los valores de la significancia fueron menores al p-valor propuesto 0.05 así se sobreentiende que en todas las variedades fue significativo. Así se acepta la hipótesis de que las variedades fueron diferentes. Sin embargo, los valores promedio en la variable tetrazolio indica que en el caso del maíz todas las semillas cumplían con parámetros para decir que la viabilidad era óptima lo que fue evidente en las pruebas de germinación, y en cuanto a las características morfoagronómicas que presentaron las variedades se las analizó por medio de gráficas de barras las cuales indican que:



**Figura 10.** Medias marginales para la variable radícula a los 3 días.

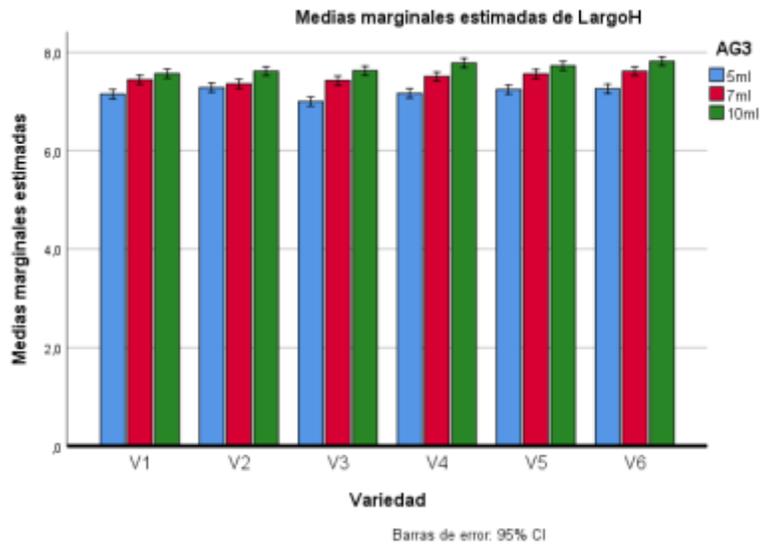
De acuerdo a la (Figura 10) de las variedades evaluadas la variedad 5 presentó las mejores características, seguidas de la variedad 6, variedad 4, variedad 2, variedad 1 y variedad 3 con la aplicación de 10 ml seguidas por las aplicaciones de 7 ml y 5 ml de Ag3, observando que la aplicación de mayor dosis si estimulo en la germinación en las seis variedades.



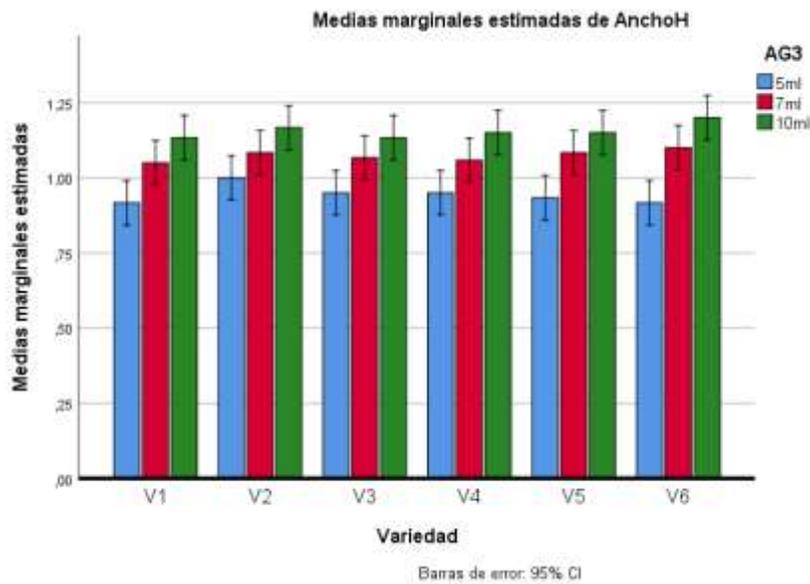
**Figura 11.** Medias marginales estimadas de longitud de hipocótilo a los 10 días.

En este sentido, las dosis aplicadas (Figura 11), en cada una de las variedades no muestran demasiada diferencia como es en el caso de la radícula, pero de todas formas se ve una mayor superioridad en la dosis de 10 ml seguidas de la de 7 y 5 ml, corroborando nuevamente que el Ag3 si induce la germinación.

Estos datos son corroborados en otra investigación donde se obtuvo una mayor extensión en la elongación del tallo debido al Ag3 en dosis de 10000 mg y 7500 mg, mientras que, en 5000 mg las plantas presentaron menor altura (Cartagena Valenzuela & Barreto Osorio, 1998).

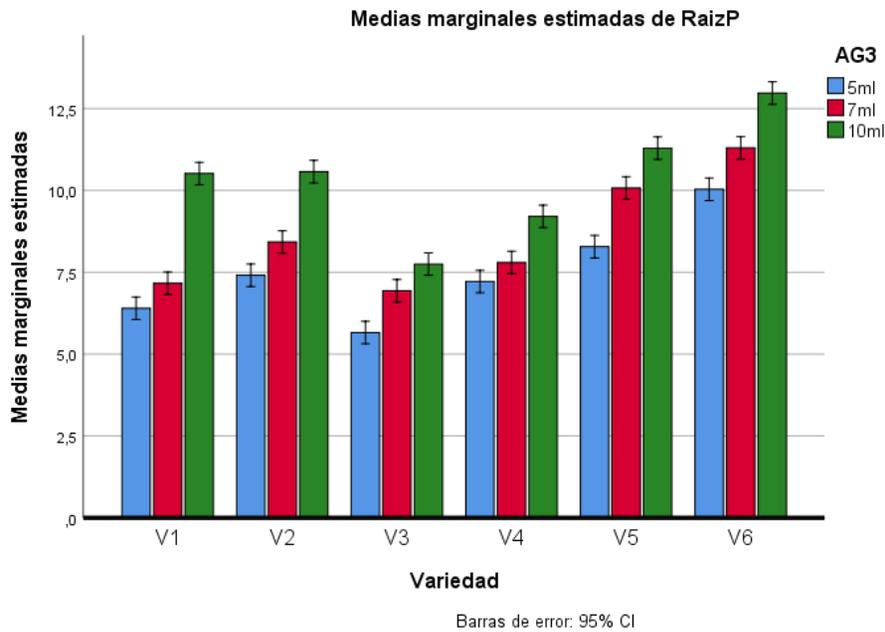


**Figura 12.** Medias marginales estimadas de largo de hoja a los 10 días.



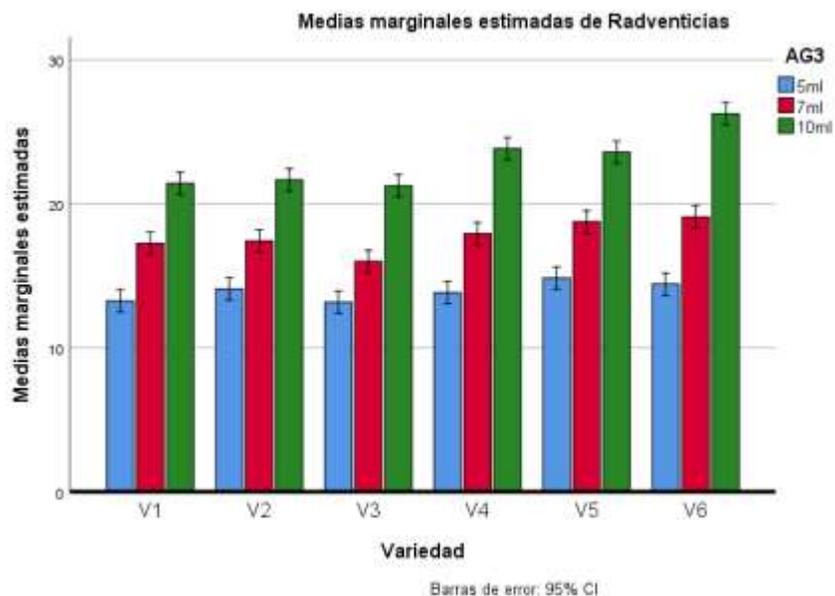
**Figura 13.** Medias marginales estimadas de ancho de hoja a los 10 días.

En las variables analizadas de largo y ancho de la hoja en el caso de las variables largo de hoja (Figura 12), las mayores longitudes se observaron en las variedades donde se aplicó los 10 ml seguido de 7 ml y 5 ml, en cambio en las variables ancho de hoja (Figura 13), con la aplicación de 10 ml se observaron resultados más significativos demostrando que a 10 ml de ag3 el área foliar de la planta será mayor siendo esto de beneficioso al momento de fotosintetizar.



**Figura 14.** Medias marginales estimadas de la longitud principal a los 10 días.

En la variable raíz principal (Figura 14) los datos fueron directamente proporcionales a la dosis de Ag3 dando como resultado una diferencia significativa en las variedades donde se usó la dosis de 10 ml presentándose en estas una mejor raíz lo que indica que a mayor dosis de Ag3 el cultivo de maíz presentara un mejor desarrollo en su sistema radicular.



**Figura 15.** Medias marginales estimadas de raíces adventicias a los 10 días.

En el número de raíces adventicias (Figura 15) que se presentaron, al igual que en las otras variables indican que las características agronómicas se vieron influenciadas debido a la aplicación de diferentes dosis siendo más conveniente en base a los datos obtenidos aplicar 10 ml de Ag3 donde claramente se evidencia mejores características germinativas.

## V. CONCLUSIONES

Al evaluar la viabilidad de las seis variedades de maíz se determinó mediante la prueba de tetrazolio y germinación que las seis variedades de maíz tienen un porcentaje de viabilidad óptimo para la siembra.

El porcentaje de viabilidad obtenido en las seis variedades de maíz mediante la prueba de tetrazolio para las variedades (V1 y V4) se presentó en un rango del 96-100 %, mientras que en las variedades (V2, V3, V5 y V6) se presentó el porcentaje de viabilidad en un rango del 94-100%, demostrando que la viabilidad de las seis variedades en estudio es excelente, por lo tanto, estas variedades son convenientes para la siembra de este cultivo en grandes extensiones.

Los resultados de germinación obtenidos mediante la prueba de germinación con Ag3 a diferentes dosis fueron positivos presentando en la mayoría de los casos una media del 100% para la variable germinación, corroborando así los resultados obtenidos de la prueba de viabilidad con tetrazolio y la aplicación de Ag3 estimula la germinación de las semillas.

De acuerdo a los gráficos de barras las características agronómicas que mejor presentaron las variedades de maíz con respecto a la longitud de radícula, longitud de hipocótilo, largo y ancho de la hoja, longitud de la raíz principal y cantidad de raíces adventicias, fue con la dosis de 10 ml de la hormona comercial Ag3 seguidas de las dosis de 7ml y 5ml, respectivamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el uso de esta prueba, por ser una prueba rápida, sencilla de realizar y proporciona resultados confiables sobre el porcentaje de viabilidad de un lote de semillas.
- Se recomienda la aplicación de 10 ml de ácido giberélico para pruebas de germinación, con el fin de que las semillas presenten mejores características desde su germinación hasta llegar a plántula.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 00-00. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000200016&lng=es&tIng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000200016&lng=es&tIng=es)
- Amador-Alfárez, K. A., Díaz-González, J., Loza-Cornejo, S., & Bivián-Castro, E. Y. (2013). Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de *Ferocactus* (Cactaceae). *Polibotánica*(35), 109-131.
- Antuna, O., Rincón, F., Gutiérrez, E., Ruiz, N. A., & Bustamante, L. (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(1), 11-17.
- Apodaca Sánchez, M. Á., Nava Pérez, E., & Armenta Bojórquez, A. D. (2009). Contaminantes biológicos de los granos almacenados de importancia socioeconómica en Sinaloa. *Tecnologías de Granos y Semillas*, 55-84.
- Benito Matías, L. F., Herrero Sierra, N., Jiménez, I., & Peñuelas Rubira, J. L. (2004). Aplicación de métodos colorimétricos para la determinación de la viabilidad en semillas de " *Pinus Piniae*": test de tetrazolio e índigo carmín. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*(17), 23-28.
- Bhering, M. C., Dias Dos Santos, D. C., & Barros, D. I. (2005). Adequação da metodologia do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de melancia. *Revista Brasileira de sementes*, 27(1), 176-182.
- Cabello, M. L., Ruiz, T., & Devesa, J. A. (1998). Ensayos de germinación en endemismos ibéricos. *Acta Bot. Malacitana*, 23, 59-69.
- Cardozo, C. I., López, Y., & Guevara, C. (2002). Estudio de deterioro de semilla en condiciones controladas de conservación. *Acta agronómica*, 51(3-4), 89-101.
- Carrillo, E. P., Mejía Contreras, J. A., Carballo Carballo, A., García de los Santos, G., Aguilar Rincón, V. H., & Corona Torres, T. (2009). Calidad de semilla en colectas de chile de agua (*Capsicum annum* L.) de los Valles centrales de Oaxaca, México. *Agricultura técnica en México*, 35(5), 257-266.
- Cartagena Valenzuela, J. R., & Barreto Osorio, J. D. (1998). Efecto del ácido giberélico y el método de siembra en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de anona colorada (*Annona reticulata* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 51(2), 235-244.
- Carvajal, C., Márquez, M., Gutiérrez, B., González-Vera, A., Arellano, J., & Ávila, M. (2017). Aspectos de fisiología, deterioro y calidad en semilla de soya. *Edición Especial Revista Alcance*, 73, 76-92.
- Castañeda-Saucedo, M. C., López-Castañeda, C., Colinas-De León, M. T., Molina-Moreno, J. C., & Hernández-Livera, A. (2009). Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. *Interciencia*, 34(4), 286-292. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442009000400013&lng=es&tIng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000400013&lng=es&tIng=es)

- Chacón Sánchez, M. I. (2009). Darwin y la domesticación de plantas en las Américas: el caso del maíz y el frijol. *Acta Biológica Colombiana*, 14, 351-363.
- Cuevas, C. (1996). *Análisis de la calidad física de semillas forestales*. Memorias Primer Seminario Nacional Sobre Mejoramiento Genético Y Semillas Forestales.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QuIOAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA49&dq=pureza+fisica+de+semillas&ots=huRYGut0sw&sig=tv9dCahTaFB6iAT5GxUT8SGG9d8>
- Doria González, J., Benítez Fernández, B., & Soto Carreño, F. (2012). Influencia de diferentes métodos de conservación en la germinación de semillas de palma areca (*Dypsis lutescens*, H. Wendel). *Cultivos Tropicales*, 33(2), 56-60.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*, 31(1), 00-00.
- FAO. (2019). Obtenido de FAOSTAT: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Fontana, M. L., Pérez, V. R., & Luna, C. V. (2016). Pruebas de envejecimiento acelerado para determinar vigor de semillas de *Prosopis alba* de tres procedencias geográficas. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 15(1), 1-13.
- Formento, A. N., Mainez, H. J., Penco, R., Scandiani, M. M., & Carmona, M. A. (2016). Calidad sanitaria de las semillas de soja 2016 y su efecto sobre el poder germinativo. *Ediciones INTA. Serie Extensión INTA Paraná*(79), 81-89.
- García Federico, A., Montes Hernández, S., Rangel Lucio, J. A., García Moya, E., & Mendoza Elos, M. (2010). Respuesta fisiológica de la semilla chile piquín [*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill] al ácido giberélico e hidrotermia. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(2), 203-216.
- García-López, J. I., Ruiz-Torres, N. A., Lira-Saldivar, R. H., Vera-Reyes, I., & Méndez-Argüello, B. (2016). Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. *Centro de Investigación En Química Aplicada (CIBQ)*, 129-140.
- Grande Tovar, C. D., & Orozco Colonia, B. S. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110.
- Hernández, J. J., Tejero, J. G., Mata, J. J., & Hernández, M. S. (2006). Deterioro de semilla de dos procedencias de *Swietenia macrophylla* King., bajo distintos métodos de almacenamiento. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 2(1), 223-239.
- Hernández-Vázquez, B., Mendoza-Castillo, M., Castillo-González, F., Pecina-Martínez, J., Delgado-Alvarado, A., Lobato-Ortiz, R., & García-Zavala, J. (2018). Valoración agromorfológica de germoplasma de maíz amarillo en valles altos de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(4).
- Hossne García, A. J., Méndez Natera, J., Leonett Paisan, F. A., Meneses Lira, J. E., & Gil Marín, J. A. (2018). Terramecánica del desarrollo radicular del maíz. *UTCiencia" Ciencia y Tecnología al servicio del pueblo"*, 4(3), 183-197.

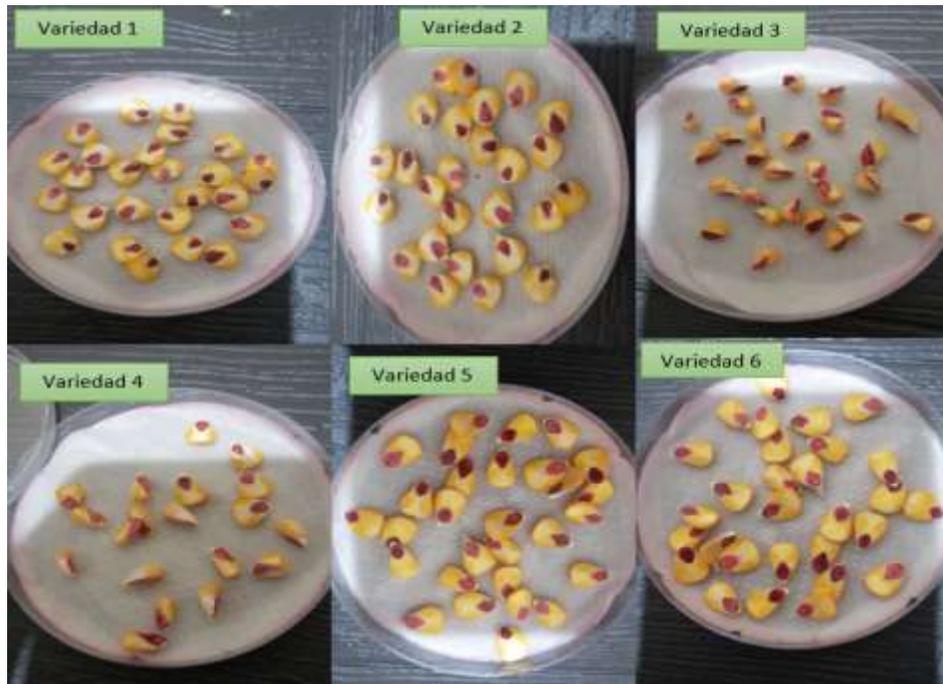
- Lazo, I. R. (2020). Elaboración de protocolo de viabilidad para la semilla de café (*Coffea arabica*) para la planta de semillas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6902>
- Lezama, C. P., & Morfin, F. C. (1992). Velocidad de germinación de veintinueve especies forestales tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 17(72), 3-26.
- MacRobert, J. F., Setimela, P. S., Gethi, J., & Regasa, M. W. (2015). *Manual de producción de semilla de maíz híbrido*. Mexico, D.F: CIMMYT.
- Magdaleno-Hernández, E., Magdaleno-Hernández, A., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velazquez, M. A., Sanchez-Escudero, J., & García-Cué, J. L. (2020). Evaluación de la calidad física y fisiológica de semilla de maíz nativo. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 17(3), 569-581.
- Martínez Solís, J., Virgen Vargas, J., Peña Ortega, M. G., & Romero, A. S. (2010). Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(3), 289-304. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342010000300002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000300002&lng=es&tlng=es)
- Matilla, Á. J. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas. *Fundamentos de fisiología vegetal*, 2, 549.
- Morales-Santos, M. E., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G., & Kohashi-Shibata, J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51(1), 43-62. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952017000100043&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000100043&lng=es&tlng=es)
- Navarro, M., Febles, G., & Torres, V. (2012). Bases conceptuales para la estimación del vigor de las semillas a través de indicadores del crecimiento y el desarrollo inicial. *Pastos y Forrajes*, 35(3), 233-246.
- Palma-Rivero, M. P., López-Herrera, A., & Molina-Moreno, J. C. (2000). Condiciones de almacenamiento y germinación de semillas de *Cenchrus ciliaris* L. y *Andropogon gayanus* Kunth. *Agrociencia*, 34(1), 41-48.
- Pérez de la Cerda, F. J., Carballo Carballo, A., Santacruz Varela, A., Hernández Livera, A., & Molina Moreno, J. (2007). Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura técnica en México*, 33(1), 53-61. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172007000100006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000100006&lng=es&tlng=es)
- Pérez García, F., & Pita Villamil, J. M. (2001). *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaria General de Estructuras. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_2001\\_2112.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_2001_2112.pdf)
- Pérez Mendoza, C., Hernández Livera, A., González Cossio, F. V., García de los Santos, G., Carballo Carballo, A., Vásquez Rojas, T. R., & Tovar Gómez, M. R. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura técnica en México*,

32(3), 341-352. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172006000300010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000300010&lng=es&tlng=es)

- Pérez Mendoza, C., Hernández Livera, A., González Cossio, F., García de los Santos, G., Carballo Carballo, A., Vásquez Rojas, T., & Tovar Gómez, M. d. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 341-352. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172006000300010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000300010&lng=es&tlng=es)
- Pérez-Camacho, I., Ayala-Garay, Ó. J., González-Hernández, V. A., Carrillo-Salazar, J. A., Peña-Lomelí, A., & García-de los Santos, G. (2008). Indicadores morfológicos y fisiológicos del deterioro de semillas de tomate de cáscara. *Agrociencia*, 42(8), 891-901.
- Poulsen, K. (1999). *Análisis de semillas*. Asociación internacional de análisis de semillas (ISTA). <http://www.bio-nica.info/biblioteca/PoulsenAnalysisSemillas.pdf>
- Prieto Méndez, J., Prieto García, F., Hernández Cervantes, N., Domínguez Soto, J. M., & Román Gutiérrez, A. D. (2011). Métodos comparativos del poder germinativo en *Hordeum distichon* L. calidad maltera. *Multiciencias*, 11(2), 121-118.
- Quevedo Pérez, D. C., Cervantes Herrera, J., Noriero Escalante, L., & Zepeda del Valle, J. M. (2017). Maíz: Sustento de vida en la cultura Teenek. Comunidad Tamaletom, Tancanhuitz, SLP México. *Revista de Geografía Agrícola*(58), 5-19.
- Quezada Mendoza, A. G. (2019). *Evaluación de la viabilidad de semillas de maíz (zea mays l.) mediante pruebas de tetrazolio y espectroscopía de infrarrojo (ft-nir) [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]*. Repositorio Institucional. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13857>
- Rios Asanza, C. A. (2021). *Caracterización morfoagronómica y fisicoquímica de 15 accesiones de maíz (zea mays l.) con fines de fitomejoramiento [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]*. Repositorio Institucional. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16564>
- Rivero, A. G., & López Medina, E. (2015). Características germinativas de semillas del algodón nativo, *Gossypium* sp., de fibra verde, lila y marrón. *Rebiol*, 35(2), 39-46.
- Rodríguez Quilón, I., Adam, G., & Durán, J. M. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 78(912), 836-842.
- Romero Pintor, E. P., Pelayo Robelto, W. V., Ojalora Cristancho, A., & Ortiz Villota, M. T. (2020). Evaluación de la calidad de semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Palicero en el banco de semillas de la Universidad Libre. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 17(1).
- Romero-Saritama, J. M., & Pérez-Ruiz, C. (2016). Rasgos morfológicos de semillas y su implicación en la conservación ex situ de especies leñosas en los bosques secos tumbesinos. *Ecosistemas*, 25(2), 59-65.
- Ruiz, M. A. (2009). El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. *EEA INTA Anguil Argentina*(77), 1-19.

- Saavedra, G., & González, M. (2014). *El cultivo del maíz choclero y dulce*. Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias.  
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7802/NR40102.pdf?sequence=1>
- Salazar Mercado, S., & Botello Delgado, E. (2018). Evaluación de la calidad fisiológica de las semillas de *Linum usitatissimum* L. con la prueba de tetrazolio. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 22(3), 46-56.
- Saldívar-Iglesias, P., Laguna-Cerda, A., Gutiérrez-Rodríguez, F., & Domínguez-Galindo, M. (2010). Ácido giberélico en la germinación de semillas de *Jaltomata procumbens* (Cav.) J.L. Gentry. *agronomía mesoamericana*, 21(2), 327-331.
- Sánchez Ortega, I., & Pérez-Urria Carril, E. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *REDUCA Biología*, 7(2), 151-171.
- Simón, M. R., & Golik, S. I. (2018). *Cereales de verano*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/68613>
- Torres Villar, M., Aparicio Medina, J. M., & García Gómez, J. L. (2014). La aflatoxicosis: Un problema a resolver dentro de la Medicina Veterinaria. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(2), 1-34.
- Vargas, L. A. (2014). El maíz, viajero sin equipaje. *Anales de antropología*, 48(1), 123-137.
- Vazquez-Yanes, C., & Toledo, J. R. (1989). El almacenamiento de semillas en la conservación de especies vegetales. Problemas y aplicaciones. *Botanical Sciences*(49), 61-69.
- Victoria T, J. A. (2006). Viabilidad en tetrazolio de semillas de caléndula y eneldo. *Acta Agronómica*, 55(1), 31-41. [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/193](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/193)
- Villamil, J. M., & Laborde, J. B. (2001). *Bancos de semillas*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica.
- Villaseca, S., & Novoa SA, R. (1987). *Requerimientos de suelo y clima del maíz*. Investigación y Progreso Agropecuario La Platina.  
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/34373/NR05871.pdf?sequ>
- Zarazúa-Villaseñor, P., Ruiz-Corral, J. A., González-Eguiarte, D. R., Flores-López, H. E., & Ron-Parra, J. (2011). Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en ciénega de Chapala, Jalisco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(SPE2), 351-363.

## VII. ANEXOS



**Anexo 1.** Resultado de la prueba de tetrazolio después de 4 horas.



**Anexo 2.** Resultado de la prueba de germinación con Ag3 a 5ml.



**Anexo 3.** Resultado de la prueba de germinación con Ag3 a 7ml.



**Anexo 4.** Resultado de la prueba de germinación con Ag3 a 10ml.



**Anexo 5.** Colocación de las semillas en las cajas petri con su respectiva aplicación de Ag3.



**Anexo 6.** Aplicación del Tetrazolio mediante una jeringa para la tinción de la semilla.



**Anexo 7.** Corte longitudinal de las semillas.



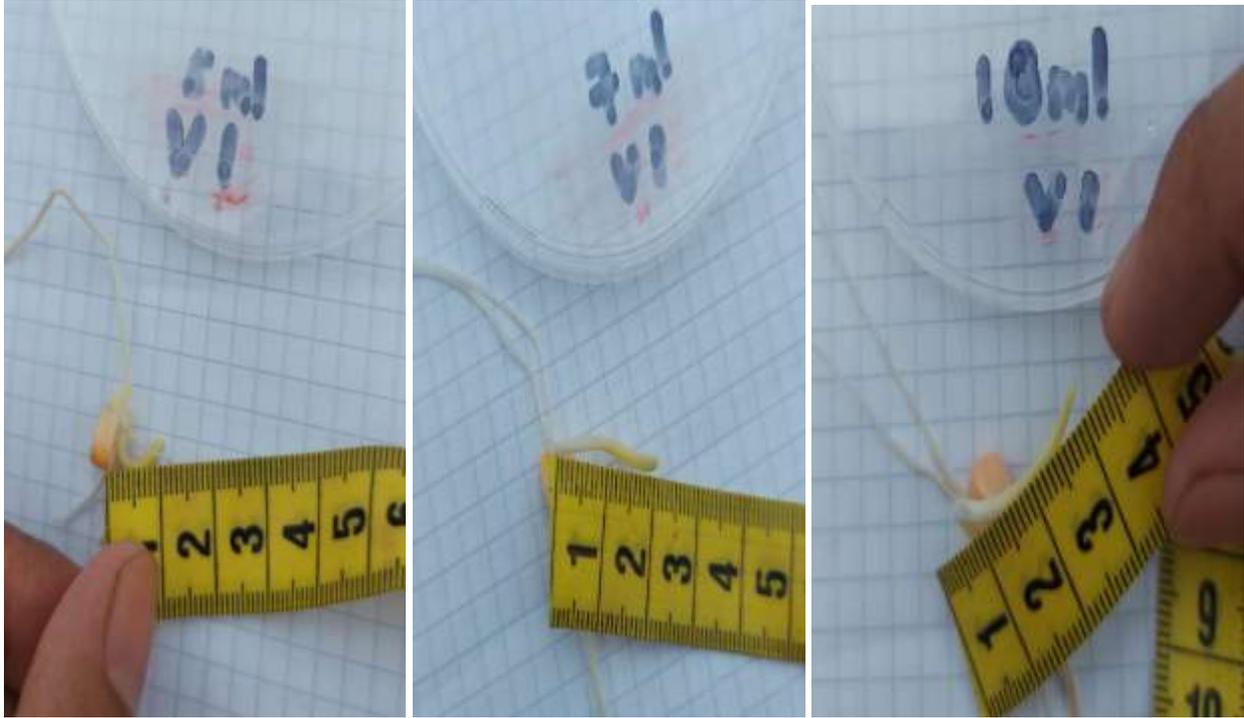
**Anexo 8.** Llenado y posterior siembra de las semillas germinadas con Ag3.



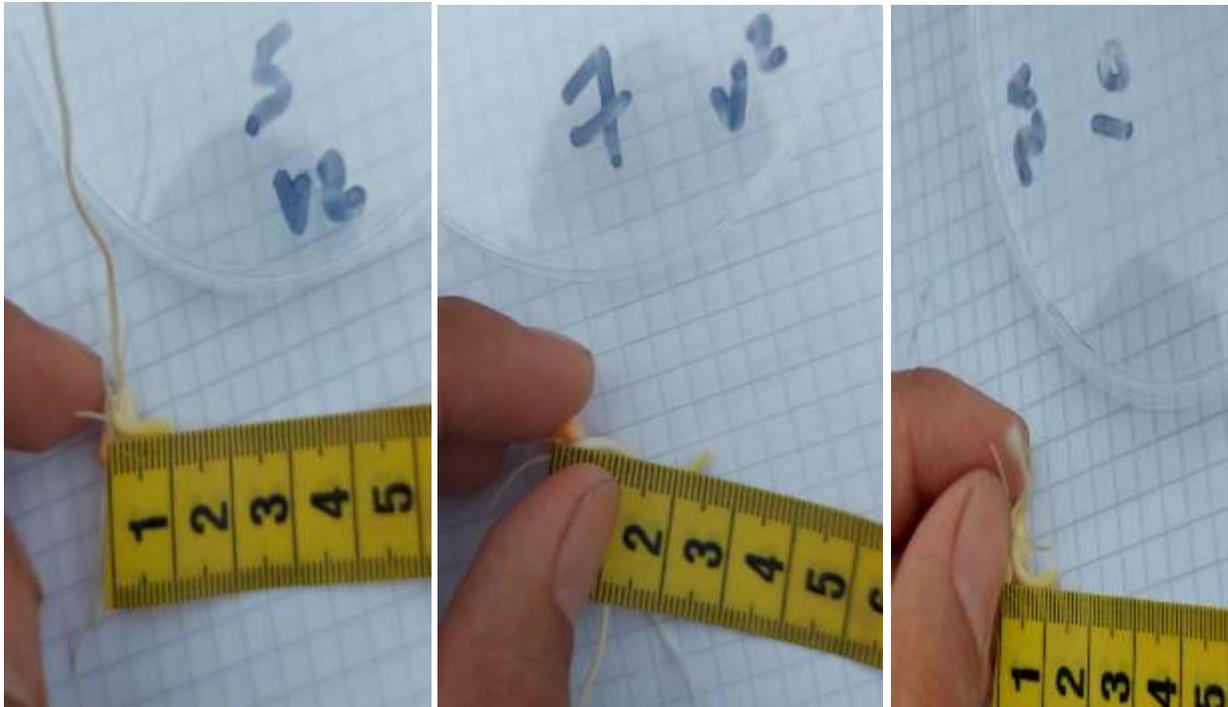
**Anexo 9.** Estado de las plantas de maíz a los 7 días de su siembra.



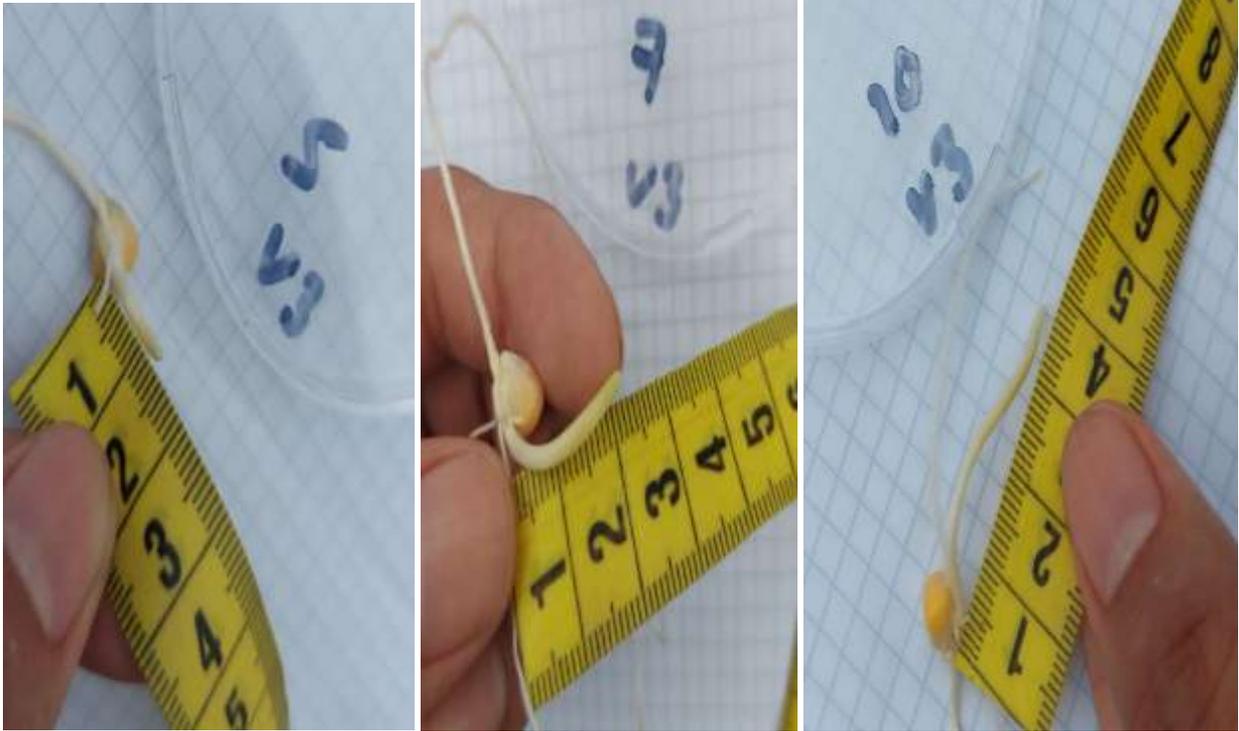
**Anexo 10.** Toma de datos a los 10 días de la siembra (Hipocótilo, ancho y largo de hoja).



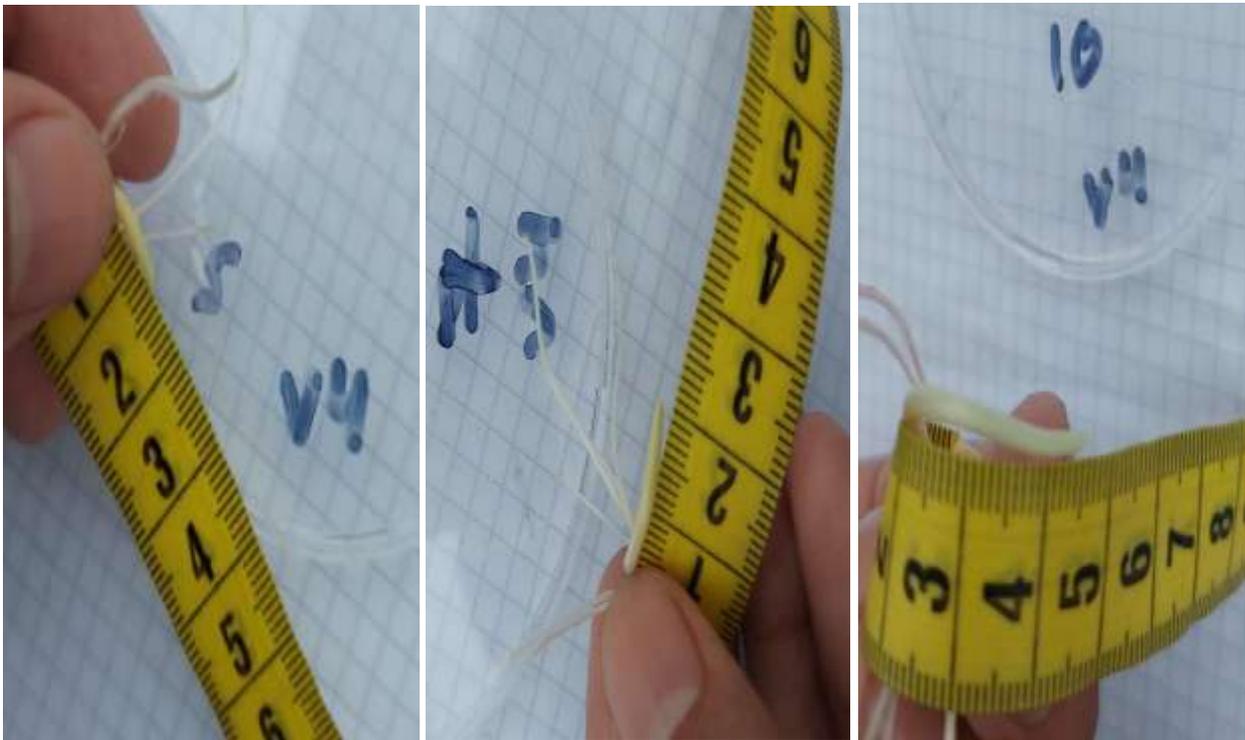
**Anexo 11.** Toma de datos de radícula Variedad 1.



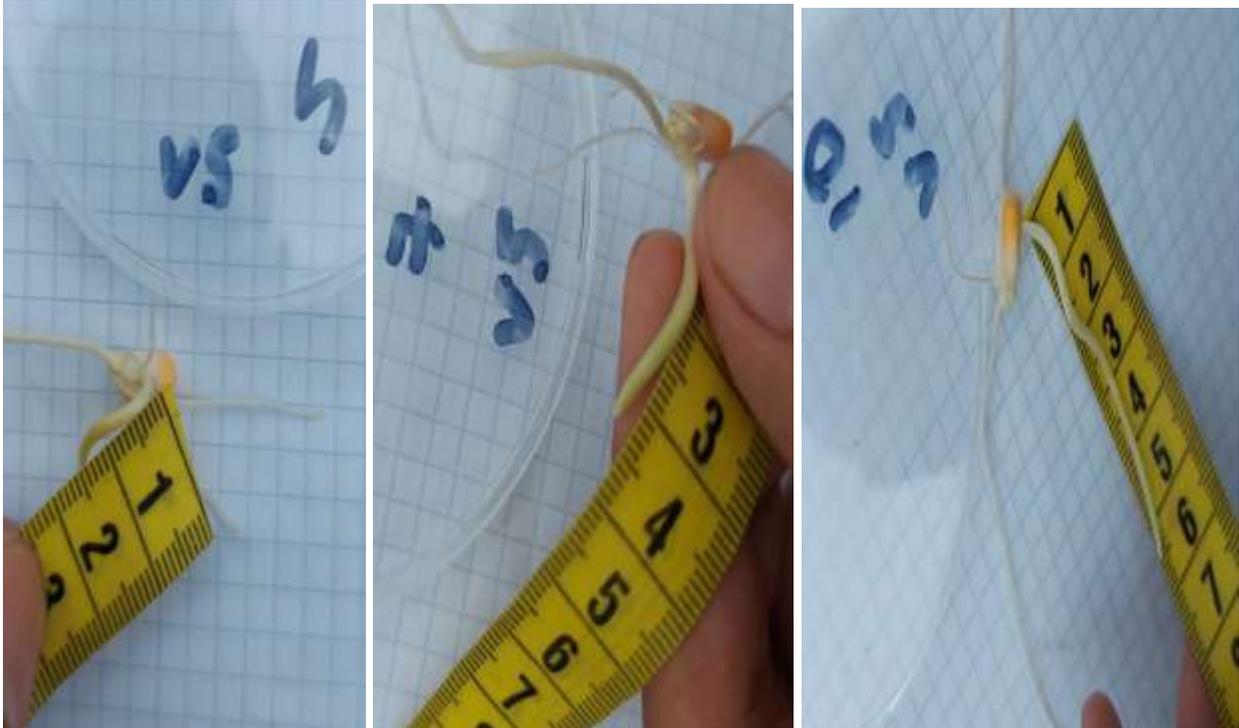
**Anexo 12.** Toma de datos de radícula Variedad 2.



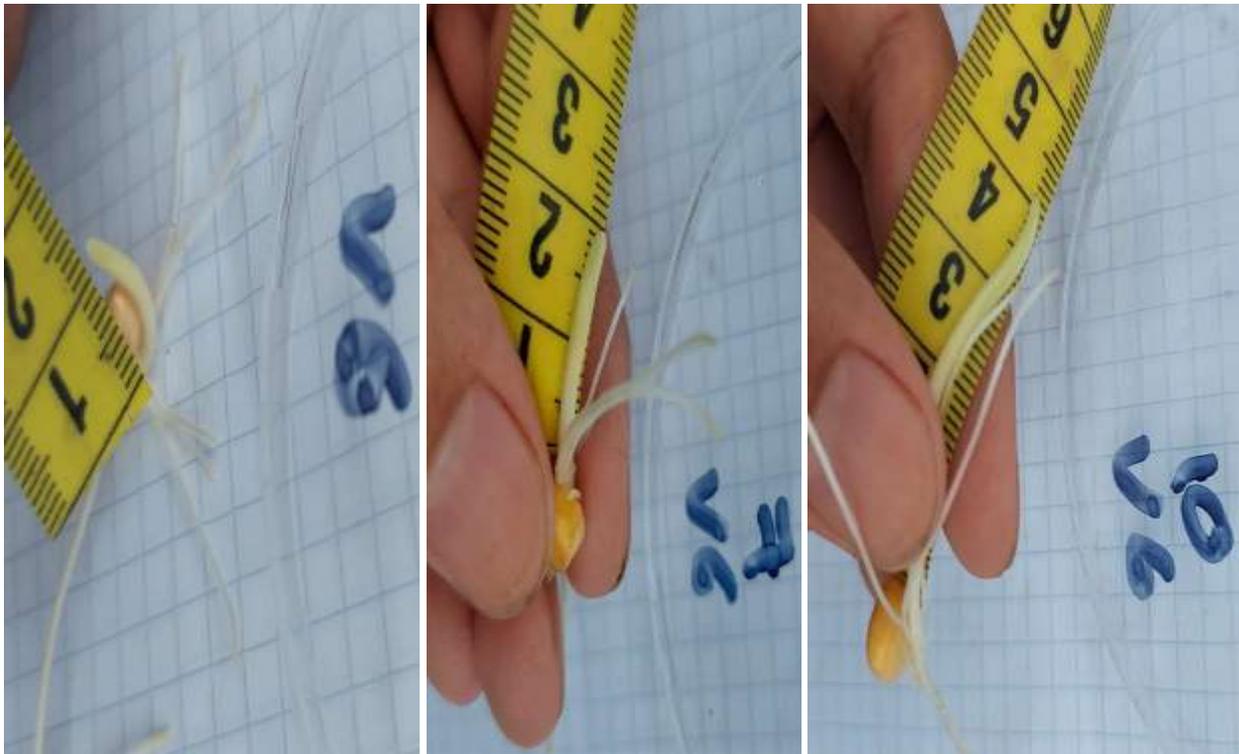
**Anexo 13.** Toma de datos de radícula Variedad 3.



**Anexo 14.** Toma de datos de radícula Variedad 4.



Anexo 15. Toma de datos de radícula Variedad 5.



Anexo 16. Toma de datos de radícula Variedad 6.



**Anexo 17.** Toma de datos de la raíz Variedad 1.



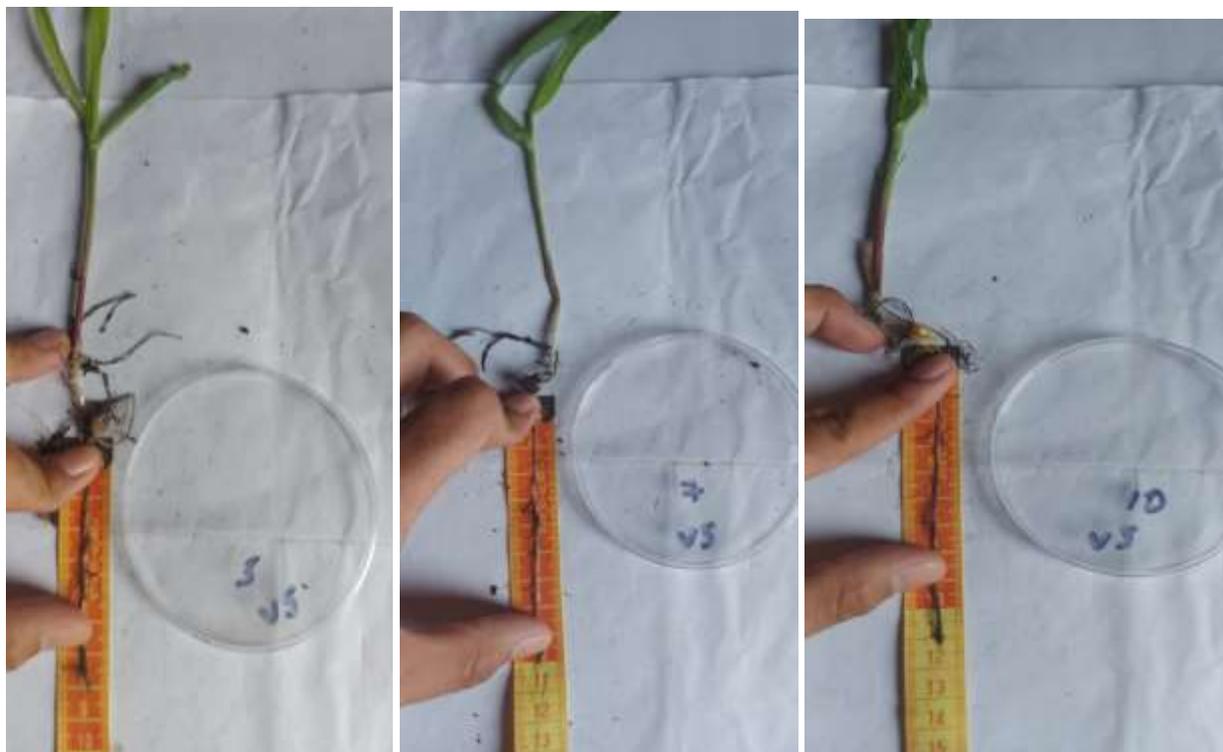
**Anexo 18.** Toma de datos de la raíz Variedad 2.



**Anexo 19.** Toma de datos de la raíz Variedad 3.



**Anexo 20.** Toma de datos de la raíz Variedad 4.



**Anexo 21.** Toma de datos de la raíz Variedad 5.



**Anexo 22.** Toma de datos de la raíz Variedad 6.