



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EVALUACIÓN DEL DESARROLLO EMBRIONARIO DE  
LAS SEMILLAS DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora*)  
BAJO LA INFLUENCIA DE DISTINTAS  
CONDUCTIVIDADES ELÉCTRICAS, EN AMBIENTE  
CONTROLADO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Requisito parcial para la obtención del título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**Autora:** Mejillón Domínguez Andreina Yaritza

**LA LIBERTAD, 2024**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EVALUACIÓN DEL DESARROLLO EMBRIONARIO DE  
LAS SEMILLAS DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora*)  
BAJO LA INFLUENCIA DE DISTINTAS  
CONDUCTIVIDADES ELÉCTRICAS, EN AMBIENTE  
CONTROLADO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Requisito parcial para la obtención del título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**Autora:** Mejillón Dominguez Andreina Yaritza

**Tutora:** Ing. Clotilde Andrade Varela, MSc.

**LA LIBERTAD, 2024**

# TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **MEJILLÓN DOMÍNGUEZ ANDREINA YARITZA** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniera Agropecuaria de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 22/12/2023



Firmado electrónicamente por:  
VERONICA CRISTINA  
ANDRADE YUCAILLA

---

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph. D.  
**DIRECTORA DE CARRERA  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
CARLOS ELOY  
BALMASEDA ESPINOSA

---

Ing. Carlos Balmaseda Espinosa, Ph. D.  
**PROFESOR ESPECIALISTA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
CLOTILDE VICTORIA  
ANDRADE VARELA

---

Ing. Clotilde Andrade Varela, Mgtr.  
**PROFESORA TUTORA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
NADIA ROSAURA  
QUEVEDO PINOS

---

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph. D.  
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:  
WASHINGTON VIDAL  
PERERO VERA

---

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr.  
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Sobretudo y antes que nada, agradezco a Dios, por darme el tiempo suficiente para terminar esta linda etapa universitaria. Gracias a quien siempre me ha impulsado a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades y obstáculos de la vida.

Agradezco infinitamente a mi familia, por ser el motor que impulsa mis sueños, cada paso que he logrado dar ha sido posible gracias a su constante aliento. Padres, hermanos y tío, aprecio profundamente su inagotable respaldo y por ser mi motivación en los momentos difíciles, ustedes me inspiran a seguir cumpliendo cada objetivo que me propongo.

Dirijo mi más sincero agradecimiento a la Ingeniera Clotilde Andrade Varela, mi tutora de tesis. Su vasta experiencia, comprensión y paciencia han enriquecido mi travesía en el desafiante pero gratificante camino de la investigación, su dirección constante, sabiduría y dedicación han iluminado mi camino a lo largo de este proceso, cada corrección, consejo y orientación han sido invaluable para el desarrollo y culminación este arduo trabajo. No hay palabras suficientes para expresar mi profunda gratitud por el inmenso apoyo que he recibido de ella a lo largo de este viaje.

Con gratitud

Andreina Yaritza Mejillón Domínguez

## **DEDICATORIA**

Dedicado a quien cada día me dio ganas de seguir en el camino de la vida y universidad, dedicado a Dios, a él por darme las fuerzas necesarias para poder culminar este estudio.

A mis padres Dominguez Gallo Andrea Maritza y Mejillón Quinde Luis Javier, por brindarme su apoyo incondicional y siempre creer que puedo realizar todo lo que me proponga, gracias a ellos, a mis hermanos; Roxana, Jonathan, Christian, Adrian, Ambar, Allison y a mi tío Fernando Mejillones, la familia que se ha encargado de animarme y motivarme a alcanzar mis metas, quienes han realizado sacrificios para hoy poder hacer posible este logro y así celebrarlo junto a ellos.

A mis amigos, Ángel, Christian, Christopher, Daniel, Doménica, Evelyn, Fernando y Johan por ser unos de los principales protagonistas en esta maravillosa historia universitaria, personas que han ido más allá de la amistad, estrechando lazos de hermandad. Dedicado a esas horas en la biblioteca, en las aulas de clase y a las prácticas de campo, a las risas y tristezas que todos los semestres nos han dejado, dedicado a mis colegas, quienes son unos grandes y maravillosos ingenieros. Dedicado también a Sebastián, la persona que estuvo para darme refugio cuando sentía que no podía, quien con sus regaños y palabras motivadoras me ayudó a alcanzar esta meta, dedicado a nuestros momentos juntos que la universidad nos permitió compartir, y por todas experiencias vividas hoy me puedo permitir culminar este grandioso ciclo.

Dedico este logro a quienes han iluminado mi camino: a mis padres, pilares inquebrantables cuyo amor y sacrificio son la base de mi existencia; a mis amigos, cómplices en risas y refugio en las tormentas; y a mis mentoras, guías sabias cuya sabiduría ha sido mi faro. A cada persona que ha dejado su huella en mi vida, agradezco las risas compartidas, las palabras alentadoras y su presencia en los momentos cruciales. Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes, quienes han tejido hilos de apoyo y amor a lo largo de mi viaje. Gracias por ser mi red de seguridad, por creer en mí cuando dudaba y por compartir la alegría de cada logro.

## RESUMEN

La presente investigación evaluó la germinación de semillas seleccionadas de café robusta bajo diferentes niveles de salinidad en agua de riego, con el objetivo de estimar el desarrollo embrionario de semillas de café (*Coffea canephora*) bajo la influencia de distintas conductividades eléctricas. Las variables evaluadas fueron porcentaje de germinación e inhibición, longitud radicular, días de germinación y el índice de velocidad de germinación desde el día 30 de la siembra del experimento hasta a los 80 días. La parte estadística, fue analizada a través de un DCA con cuatro tratamientos (CE: 0, 50, 78 y 96dS/m) y cinco repeticiones. Los resultados experimentales en el análisis de varianza (ANAVA) de las evaluaciones realizadas desde el día 30 hasta los 80 días, demostraron que existió diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, así también, se obtuvieron coeficientes de variación aceptables en todas las variables para este tipo de estudio. Respecto a las figuras en una visión general, hasta los 80 días de la valoración, los tratamientos nos demostraron su tolerancia al estrés por salinidad como es el caso de T4 (50 dS/m), el cual lideró la variable germinación con un valor de 93%, pero se debe destacar el valor obtenido por T2 (96 dS/m) con un porcentaje del 64%. En cuanto a la inhibición de la germinación, el mismo T4 (50 dS/m), fue el menos afectado, pues presentó una inhibición de 0,18%, estableciendo una mínima diferencia de 0,04 y 0,06% de inhibición frente a los tratamientos con la mayor CE de 78 y 96dS/m. En lo que se refiere a longitud radicular, se puede destacar también a los tratamientos bajo CE, como es el caso de T4, quien lideró la variable con 13.6 mm, mientras que T2 tuvo la menor longitud radicular con 6.6mm. En cuanto al índice de velocidad de germinación se evidenció que los tratamientos 2 (96 dS/m) y 3 (78 dS/m), con velocidades de germinación promedio del 5,25 y 7,0plts/día, respectivamente, fueron los mejores, bajo estrés salino. Por lo tanto, se concluye que las CE de 50 y 78 dS/m respectivamente, fueron las más eficientes por alcanzar las tasas más altas de germinación con el 91 y 87% a los 80 días de la evaluación, evidenciando una notable resistencia al estrés salino.

**Palabras clave:** Conductividad eléctrica, salinidad, germinación.

## ABSTRACT

The present investigation evaluated the germination of selected robusta coffee seeds under different levels of salinity in irrigation water, with the objective of estimating the embryonic development of coffee seeds (*Coffea canephora*) under the influence of different electrical conductivities. The variables evaluated were germination and inhibition percentage, root length, days of germination and the germination speed index from day 30 of sowing until 80 days after the experiment. The statistical part was analyzed through a DCA with four treatments (EC: 0, 50, 78 and 96dS/m) and five replications. The experimental results in the analysis of variance (ANAVA) of the evaluations carried out from day 30 to 80 days, showed that there were significant statistical differences between treatments, as well as acceptable coefficients of variation in all variables for this type of study. Regarding the figures in a general overview, up to 80 days of the evaluation, the treatments demonstrated their tolerance to salinity stress, as in the case of T4 (50 dS/m), which led the germination variable with a value of 93%, but the value obtained by T2 (96 dS/m) with a percentage of 64% should be highlighted. In terms of germination inhibition, T4 (50 dS/m) was the least affected, presenting an inhibition of 0.18%, establishing a minimal difference of 0.04 and 0.06% inhibition compared to the treatments with the highest EC of 78 and 96dS/m. In terms of root length, the treatments with the lowest EC also stood out, as in the case of T4, which led the variable with 13.6 mm, while T2 had the lowest root length with 6.6 mm. As for the germination speed index, it was evident that treatments 2 (96 dS/m) and 3 (78 dS/m), with average germination speeds of 5.25 and 7.0plts/day, respectively, were the best under salt stress. Therefore, it is concluded that the EC of 50 and 78 dS/m respectively, were the most efficient because they reached the highest germination rates with 91 and 87% at 80 days of evaluation, showing a remarkable resistance to salt stress.

**Key words:** Electrical conductivity, salinity, germination.

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado **“EVALUACIÓN DEL DESARROLLO EMBRIONARIO DE LAS SEMILLAS DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora*) BAJO LA INFLUENCIA DE DISTINTAS CONDUCTIVIDADES ELÉCTRICAS, EN AMBIENTE CONTROLADO”** y elaborado por **ANDREINA YARITZA MEJILLÓN DOMINGUEZ**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

### Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firmado electrónicamente por:  
**ANDREINA YARITZA  
MEJILLON DOMINGUEZ**

---

Firma del estudiante

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Problema Científico: .....</b>                                  | <b>2</b>  |
| <b>Objetivos .....</b>   | <b>2</b>  |
| Objetivo General:.....   | 2         |
| Objetivos Específicos:.....  | 2         |
| <b>Hipótesis:.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>                    | <b>3</b>  |
| <b>1.1 Cultivo de café .....</b>                                   | <b>3</b>  |
| 1.1.1 Generalidades .....  | 3         |
| 1.1.2 Importancia del cultivo de café robusta .....                | 4         |
| 1.1.3 Descripción botánica .....                                   | 4         |
| 1.1.4 Fenología del cultivo .....                                  | 5         |
| 1.1.5 Desarrollo embrionario de las semillas de café robusta ..... | 6         |
| 1.1.6 Agroecología del cultivo .....                               | 7         |
| 1.1.7 Proceso y condiciones de germinación .....                   | 9         |
| 1.1.8 Estrés abióticos .....                                       | 10        |
| 1.1.9 Agua de mar en la agricultura .....                          | 11        |
| <b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                       | <b>14</b> |
| <b>2.1 Caracterización del área .....</b>                          | <b>14</b> |
| <b>2.2 Material biológico y condiciones experimentales .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2.3 Materiales, equipos e insumos.....</b>                      | <b>15</b> |
| 2.3.1 Materiales de laboratorio y reactivos .....                  | 15        |
| 2.3.2 Equipos.....   | 15        |
| 2.3.3 Insumo .....   | 16        |
| <b>2.4 Diseño experimental.....</b>                                | <b>16</b> |
| 2.4.1 Tratamientos.....  | 17        |
| 2.4.2 Delineamiento experimental .....                             | 17        |
| <b>2.5 Conducción o manejo del experimento .....</b>               | <b>18</b> |
| 2.5.1 Recolección del café.....                                    | 18        |
| 2.5.2 Despulpado de semillas .....                                 | 18        |
| 2.5.3 Selección de las semillas .....                              | 18        |
| 2.5.4 Lavado de semillas .....                                     | 19        |
| 2.5.5 Esterilización de los materiales .....                       | 19        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.5.6 Establecimiento de bandejas germinadoras.....    | 19        |
| <b>2.6 Parámetros evaluados.....</b>                   | <b>20</b> |
| 2.6.1 Porcentaje de germinación.....                   | 20        |
| 2.6.2 Porcentaje de inhibición.....                    | 20        |
| 2.6.3 Longitud radicular.....                          | 20        |
| 2.6.4 Días de germinación.....                         | 21        |
| 2.6.5 Índice de velocidad de germinación.....          | 21        |
| <b>2.7 Análisis estadístico de los resultados.....</b> | <b>21</b> |
| <b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>       | <b>22</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>             | <b>38</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>                               | <b>38</b> |
| <b>Recomendaciones.....</b>                            | <b>38</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                               | <b>38</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                     | <b>43</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Descripción del material genético utilizado para evaluar su germinación bajo la influencia de distintas conductividades eléctricas .....          | 15 |
| <b>Tabla 2.</b> Fuentes de variación del diseño completamente al azar.....  | 16 |
| <b>Tabla 3.</b> Descripción de los tratamientos del experimento.....  | 17 |
| <b>Tabla 4.</b> Delineamiento experimental.....   | 17 |
| <b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 30 días posteriores a la siembra ..... | 22 |
| <b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 40 días posteriores a la siembra ..... | 23 |
| <b>Tabla 7.</b> Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 50 días posteriores a la siembra ..... | 24 |
| <b>Tabla 8.</b> Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 60 días posteriores a la siembra ..... | 26 |
| <b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 70 días posteriores a la siembra ..... | 27 |
| <b>Tabla 10.</b> Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 80 días posteriores a la siembra..... | 28 |
| <b>Tabla 11.</b> Análisis de varianza para la variable porcentaje de inhibición en semillas de café robusta evaluada a los 40 días posteriores a la siembra ..... | 30 |
| <b>Tabla 12.</b> Análisis de varianza para la variable porcentaje de inhibición en semillas de café robusta evaluada a los 80 días posteriores a la siembra ..... | 31 |
| <b>Tabla 13.</b> Análisis de varianza de longitud radicular evaluado hasta 80 días posteriores a la siembra .....   | 32 |
| <b>Tabla 14.</b> Análisis de varianza para la variable índice de velocidad de germinación evaluado hasta 80 días posteriores a la siembra.....                    | 35 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Localización del área de investigación en los laboratorios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena .....                     | 14 |
| <b>Figura 2.</b> Porcentaje de germinación de semillas de café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) al día 30 de evaluación .....                         | 23 |
| <b>Figura 3.</b> Porcentaje de germinación de semillas de café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) al día 40 de evaluación .....                         | 24 |
| <b>Figura 4.</b> Porcentaje de germinación de semillas de café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) al día 50 de evaluación .....                         | 25 |
| <b>Figura 5.</b> Porcentaje de germinación de semillas de café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) al día 60 de evaluación .....                         | 26 |
| <b>Figura 6.</b> Porcentaje de germinación de semillas de café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) al día 70 de evaluación .....                         | 27 |
| <b>Figura 7.</b> Porcentaje de germinación de semillas de café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) al día 80 de evaluación .....                         | 29 |
| <b>Figura 8.</b> Porcentaje de inhibición de semillas de café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) al día 40 de evaluación .....                          | 30 |
| <b>Figura 9.</b> Porcentaje de inhibición de semillas de café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) al día 80 de evaluación .....                          | 31 |
| <b>Figura 10.</b> Longitud radicular de semillas de café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) evaluadas hasta los 80 días posteriores a la siembra .....  | 33 |
| <b>Figura 11.</b> Días a la germinación de las semillas de café robusta .....  | 35 |
| <b>Figura 12.</b> Índice de velocidad de germinación del café robusta ( <i>Coffea canephora</i> ) evaluado al día 30 de la siembra del experimento ..... | 36 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| <b>Imagen 1A.</b> Desinfección de semillas y esterilización de materiales.....                            | 43 |
| <b>Imagen 2A.</b> Establecimiento de las semillas en las tarrinas herméticas.....                         | 43 |
| <b>Imagen 3A.</b> Evaluación de la germinación de cada tratamiento y repetición .....                     | 44 |
| <b>Imagen 4A.</b> Riego de semillas con 10 ml de cada solución correspondiente al tratamiento .....       | 44 |
| <b>Imagen 5A.</b> Evaluación de la longitud radicular en semillas del T1 .....                            | 44 |
| <b>Imagen 6A.</b> Proceso de germinación del Tratamiento 2 (96 dS/m) a los 25 días de evaluación .....    | 44 |
| <b>Imagen 7A.</b> Proceso de germinación del Tratamiento 2 (96 dS/m) a los 50 días de evaluación .....    | 44 |
| <b>Imagen 8A.</b> Proceso de germinación del Tratamiento 3 (78 dS/m) a los 35 días de evaluación .....    | 44 |
| <b>Imagen 9A.</b> Proceso de germinación del Tratamiento 3 (78 dS/m) a los 80 días de evaluación .....    | 44 |
| <b>Imagen 10A.</b> Proceso de germinación del Tratamiento 4 (50 dS/m) a los 50 días de evaluación.....    | 44 |
| <b>Imagen 11A.</b> Proceso de germinación del Tratamiento 4 (50 dS/m) a los 80 días de evaluación.....    | 44 |
| <b>Imagen 12A.</b> Resultados del análisis de las distintas soluciones utilizadas en el experimento ..... | 44 |

## INTRODUCCIÓN

Cortijo (2017) indica que el cafeto o planta de café procede de África de las montañas de Abisinia (Etiopía), pero son los árabes quienes implantan la costumbre de tomar café motivado por la prohibición del Islam de tomar alcohol, siendo ellos los primeros en extraer los granos, tostarlos, molerlos y mezclarlos con agua caliente. Esta bebida se consideró religiosa en sus inicios, después estimulante y se daba a los guerreros para luchar en las batallas, incluso pasó por considerarse como una bebida un tanto mágica con poderes curativos, finalmente esta infusión se convirtió en la bebida social del mundo árabe y de ahí se extendió al resto del mundo.

(Calderón Escudero, 2017) manifiesta que la producción de café exhibe una segmentación geográfica, siendo América Latina y el Caribe productores de variedades de café ligero. En particular, Brasil destaca como el principal productor a nivel mundial, especializándose en la variedad arábica, la cual se distingue por su robustez, cuerpo denso y ausencia de acidez. Por su parte, Colombia, ubicado como el cuarto mayor productor global, se enfoca en el arábico, caracterizado por su suavidad, acidez y fuerte aroma. México, con una significativa producción, se destaca en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas, cercanos a la frontera con Guatemala. Además, Ecuador y Perú también participan en la producción, siendo notable la mezcla de granos en estos dos últimos países para la industria cafetera

De acuerdo con Cuenca (2020), Ecuador cuenta con 199,215 hectáreas (ha) de café cultivado, en su mayor porcentaje el 63% corresponde a la especie *Coffea arabica* L., y el 37% a la variedad de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. En las provincias de Loja, El Oro, Napo, Zamora Chinchipe, Pichincha, Bolívar, Chimborazo, Morona Santiago, Imbabura, Cotopaxi se cultiva a 600 y 2000 m.s.n.m, a comparación de Manabí y Guayas provincias donde el cultivo logra ser productivo entre los 300 y 700 m.s.n.m.

El café representa en Ecuador una importante fuente de divisas e ingresos para los diferentes actores involucrados en las cadenas de producción y comercialización del café, desde un aspecto social estas cadenas abarcan a numerosas etnias y comunidades en 23 de las 24 provincias del país, en cuanto al aspecto ambiental se cultiva principalmente en sistemas agroforestales adaptándose a una amplia diversidad de suelos y climas, lo cual contribuye a la conservación de la flora y fauna nativas, en términos institucionales el Ministerio de

Agricultura, Ganadería (MAG) impulsa proyectos de reactivación de la caficultura para beneficiar a las estructuras organizativas de los productores (Ponce *et al.*, 2018).

### **Problema Científico:**

¿Cuál es el impacto de la salinidad del agua de riego, con un rango de 50 a 96 dS/m, en el grado de germinación de las semillas de café robusta (*Coffea canephora*)?

### **Objetivos**

#### ***Objetivo General:***

- ❖ Evaluar el desarrollo embrionario de las semillas de café robusta (*Coffea canephora*) bajo la influencia de distintas conductividades eléctricas.

#### ***Objetivos Específicos:***

1. Determinar la tasa de germinación de las semillas de café robusta bajo el efecto de estrés salino.
2. Seleccionar la conductividad eléctrica que permita el mejor desarrollo embrionario y radicular.
3. Determinar el tratamiento que presente los mejores índices de germinación en función de las distintas conductividades eléctricas.

### **Hipótesis:**

El estrés salino permite una tasa alta de germinación en semillas de café robusta.

# CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 Cultivo de café

### 1.1.1 Generalidades

#### 1.1.1.1 Origen

Es originario de África tropical, en la provincia de Etiopía a las alturas de Kaffa. Jhong (2018) menciona que durante el siglo XV, el cultivo de café fue llevado a Arabia, Yemen y Egipto, donde su importancia comenzó a crecer. A partir de 1690, se inició su cultivo en la isla de Java (Indonesia), lo que marcó el comienzo de una rápida expansión hacia América y, posteriormente, hacia la India y Sri Lanka.

#### 1.1.1.2 Clasificación taxonómica

- ✓ **Nombre científico:** *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner
- ✓ **Dominio:** Eukaryotam
- ✓ **Reino:** Plantae
- ✓ **División (Filo):** Magnoliophita
- ✓ **Clase:** Magnoliopsida
- ✓ **Familia:** Rubiaceae
- ✓ **Género:** Coffea

#### 1.1.1.3 Características organolépticas del grano de café

Morales (2013) indica que las variaciones en los componentes de un grano de café son los siguientes:

- ✓ **Agua:** Un grano de café verde contiene alrededor del 10 al 13% de agua, la cual se evapora durante el proceso de tostado. En consecuencia, al finalizar este proceso, el grano tiene menos del 5% de humedad.
- ✓ **Materias grasas:** Un grano de café contiene aproximadamente entre el 15 al 29% de materia grasa.
- ✓ **Proteínas:** Un grano de café verde contiene en promedio alrededor del 11% de proteínas, aunque parte de ellas se destruye durante el tostado.
- ✓ **Alcaloides:** La cafeína es el alcaloide principal presente en el café. Los cafés arábicos contienen alrededor del 1 al 1,5% de cafeína, mientras que las robustas

tienen entre el 1,6% y el 2,7%. Esto explica por qué el café robusta tiende a ser más amargo que el arábico.

- ✓ **Materias minerales:** El grano de café contiene pequeñas cantidades de potasio, calcio, magnesio y fósforo.

### ***1.1.2 Importancia del cultivo de café robusta***

De acuerdo a Guamán *et al.* (2019), debido a su ubicación geográfica privilegiada, Ecuador es reconocido por producir algunos de los cafés más destacados de América del Sur y altamente valorados en el mercado europeo, esto se debe a la diversidad de ecosistemas presentes en el país, lo cual permite que los cultivos de café se extiendan a lo largo y ancho de su territorio, incluso en lugares como las Islas Galápagos. Por lo tanto, Ecuador posee una gran capacidad como productor de café y se distingue como uno de los pocos países en el mundo que exporta todas las variedades de café, incluyendo arábigo lavado, arábigo natural y robusta. Así mismo Acosta (2017), indica que en Ecuador, se cultivan las variedades de café arábigo y robusta en una extensión aproximada de 213,175 hectáreas distribuidas en diferentes regiones como el Litoral, Oriente, Galápagos, así como en las estribaciones occidentales y orientales de la Cordillera de los Andes. La producción de café arábigo se remonta a 1830, mientras que la de robusta se inició en la década de 1950. El café ocupa un lugar destacado en las exportaciones agrícolas del país, junto con el cacao y el banano, y es una fuente importante de empleo y generación de divisas para la economía ecuatoriana. Además, su producción ha dado lugar al desarrollo de actividades significativas en los sectores comercial e industrial.

### ***1.1.3 Descripción botánica***

La especie *coffea canephora* es un árbol robusto, de ahí su nombre común (café robusta) con raíz poco profunda que puede alcanzar los 10 metros de altura, incluso en varios países ha llegado hasta los 12 – 14 metros, su fruto es redondeado y tarda hasta 11 meses en madurar, tiene semilla alargada y más pequeña a diferencia del arábico. El café robusta se cultiva en África Central y Occidental, en todo el Sudeste de Asia y un poco en Brasil, donde se le conoce como “Conillón” (Rojo, 2014).

Las flores del cafeto surgen en los nodos de las ramas, cerca de la base de las hojas, agrupándose en conjuntos de 4 o más, la cantidad de flores que se encuentran en un momento específico está vinculada a la cantidad de nodos que se han desarrollado previamente en cada rama. El proceso de formación de las flores del cafeto puede extenderse de 4 a 5 meses, y este periodo puede ser influenciado por diversos factores como la duración del día (fotoperiodo), la época de siembra, las condiciones de temperatura y la disponibilidad de agua (Sánchez, 2020).

De acuerdo con Tomalá (2017), la estructura del sistema radicular del café exhibe variaciones según el método de propagación empleado, ya sea mediante semillas o clones, cuando se propaga a través de semillas, la raíz del café adopta una configuración de cono invertido, caracterizada por su consistencia leñosa y robusta. La profundidad alcanzada puede llegar a unos 80 cm o más, dependiendo de las características del suelo, el tamaño final de la raíz está directamente influenciado por las prácticas de manejo de la planta.

La semilla es el órgano a partir del cual se forma una nueva planta. Su formación se inicia con la fecundación en la flor. En el caso del café, el fruto formado tiene un par de semillas, una por cada lóculo o cavidad. Según la variedad de café y las condiciones ambientales prevalecientes, la semilla alcanza la madurez fisiológica entre 180 a 330 días después de fecundación dependiendo de la variedad y la zona cafetalera (Flórez *et al.*, 2013).

El fruto es una drupa oblonga o esférica más o menos carnosa, encerrando dos núcleos delgados y pergaminosos, prácticamente fuertes, gruesos y resistentes, convexos hacia afuera y planos hacia adentro si son en número de dos. La cara plana presenta un surco vertical más o menos profundo que se ve reproducido en la semilla (Gómez, 2020).

#### **1.1.4 Fenología del cultivo**

En café, la floración determina el número de pases de cosecha al igual que la distribución porcentual de la misma a lo largo del año; de igual manera, la floración permite estimar las curvas de desarrollo del fruto y con éstas identificar las épocas críticas para el ataque de la broca, identificar épocas de mayor demanda de agua y de nutrientes del cafetal a lo largo del año, y en ese sentido, identificar las épocas oportunas de fertilización, épocas críticas para una deficiencia hídrica y control de broca, épocas de mayor susceptibilidad de los frutos ante

eventos climáticos extremos como el granizo, entre otras, (Ramírez, 2014). De acuerdo con las zonas de producción, las inflorescencias del cafeto ocurren entre febrero y marzo y, en algunos casos, hasta abril (Anacafé, 2015).

El ciclo fenológico del café se divide en siete fases, desde la germinación hasta el reposo/defoliación. La duración varía según la variedad y la región. La fase de germinación destaca el uso de semillas libres de enfermedades, con un almácigo recomendado ocho semanas antes del trasplante. El crecimiento vegetativo va desde el trasplante hasta el desarrollo de yemas florales, coincidiendo las fases vegetativas y reproductivas en el café perenne. La fase de desarrollo y reposo de yemas florales incluye un periodo de latencia de 30 días. La floración, desencadenada por lluvias, puede ser sucesiva en zonas sin estación seca definida. El llenado de frutos inicia post-floración, con intensa competencia por asimilados. La maduración, evaluada por el color de la cereza, impacta en la calidad de la cosecha. La fase de reposo pos cosecha permite la poda, destacando la posibilidad de un comportamiento productivo bianual del café (Vignola *et al.*, 2018).

#### ***1.1.5 Desarrollo embrionario de las semillas de café robusta***

La propagación a gran escala de diversas especies vegetales ha sido posible gracias al cultivo de tejidos mediante la embriogénesis somática (Campos *et al.*, 2017). La embriogénesis somática se presenta como un método significativo de propagación *in vitro* para las plantas de *Coffea canephora*, donde se desarrollan embriones sin la fusión de gametos, este proceso ha posibilitado la propagación masiva y acelerada de las plantas, emergiendo como un destacado potencial para la investigación y exploración (Paredes *et al.*, 2013).

La aplicación de la embriogénesis somática no solo posibilita la obtención de plantas, sino que también facilita investigaciones adicionales en el ámbito del mejoramiento genético. Dado que los cafetales son plantas semi perennes, el método convencional de mejoramiento genético tomaría más de 30 años para desarrollar cultivares que sean tolerantes tanto al estrés biótico como abiótico. En este sentido, la embriogénesis somática ofrece la ventaja de acelerar la liberación de variedades en un período de tiempo considerablemente menor en comparación con los métodos tradicionales (Sánchez *et al.*, 2019).

En el proceso de maduración, los embriones somáticos experimentan transformaciones morfológicas y bioquímicas, como el incremento en su tamaño y la acumulación de sustancias de reserva, fundamentales para su subsiguiente desarrollo, germinación y transformación en plantas foto autótrofas (Riviello *et al.*, 2021).

### **1.1.6 Agroecología del cultivo**

#### *1.1.6.1 Requerimiento edáfico*

El área de siembra del cafetal debe cumplir con condiciones favorables de suelo y clima para permitir un óptimo crecimiento y rendimiento del cultivo. Para que el café pueda desarrollarse adecuadamente, es necesario que el suelo presente una textura franca, franco arenosa o franco arcillosa, con una estructura granular y un horizonte "A" profundo. Además, es importante que el suelo tenga un buen drenaje, contenido adecuado de materia orgánica y niveles de acidez en el rango de pH 5,5 a 6,5 (Fernández, 2017).

En cuanto al aspecto climático, el café robusta puede adaptarse a las regiones tropicales de la Costa y la Amazonía, siendo la precipitación y la temperatura los factores climáticos más influyentes en su desarrollo y producción. Para la producción de café robusta, se recomienda que los suelos se encuentren a altitudes inferiores a 600 metros sobre el nivel del mar, correspondientes a zonas de bosque tropical húmedo tanto en la región oriental como en la litoral (Fernández, 2017).

#### *1.1.6.2 Requerimiento nutricional*

Sadeghian (2021) menciona que en el cultivo de café los nutrientes más absorbidos en todas las etapas son el nitrógeno y el potasio, seguidos por el calcio, fósforo, magnesio y azufre. Los requerimientos nutricionales del café aumentan a medida que la planta madura. Durante las etapas de almácigo y levante, la planta crece lentamente y absorbe cantidades bajas de nutrientes. Sin embargo, al entrar en la fase reproductiva, la planta experimenta un aumento en su velocidad de crecimiento, lo que conlleva a una mayor demanda de nutrientes. De la misma manera Fernández (2017), comenta que la elección de los fertilizantes se basa en los resultados del análisis químico del suelo. Además, es importante aplicar los fertilizantes y enmiendas de acuerdo con el desarrollo fenológico del cultivo y las condiciones ambientales. Se recomienda seguir un programa de fertilización para garantizar una fertilización adecuada de los cafetales.

#### *1.1.6.3 Requerimiento hídrico*

La producción del café se realiza utilizando tanto recursos naturales como humanos. Uno de los recursos naturales necesarios para cultivar y procesar el café es el agua. El agua es un elemento esencial en todas las etapas de producción del café. Se utiliza como riego durante las etapas de germinación y cultivo inicial, como lluvia durante la fase de crecimiento y desarrollo de las plantas, y como suministro durante el procesamiento de los frutos. En esta última etapa, se generan subproductos con altos niveles de contaminación orgánica, los cuales pueden afectar negativamente las fuentes de agua superficiales, disminuyendo su disponibilidad (Cañón, 2018).

#### *1.1.6.4 Requerimiento climático*

El cultivo de café Conilon se realiza de manera óptima en temperaturas que oscilan entre los 17°C y los 34°C, siendo adverso su desarrollo por debajo de los 17°C, lo que afecta negativamente su crecimiento y rendimiento. Originario de África Occidental, este café se adapta a altitudes que varían desde el nivel del mar hasta los 1000 metros sobre el nivel del mar. En cuanto a la precipitación, se requieren aproximadamente 2000 a 3000 mm de lluvia anuales para garantizar una producción y desarrollo óptimos del café robusta. La humedad relativa ideal para este tipo de café se sitúa entre el 80% y el 90%, con mínimos de 53% a 73%, máximos de 98% a 99%, y una luminosidad de mil horas de luz anuales (Cun, 2021).

#### *1.1.6.5 Influencia de factores ambientales en la germinación*

La salinidad representa uno de los principales factores ambientales que limita la productividad agrícola. Este fenómeno se debe a la sensibilidad que la mayoría de las plantas cultivadas exhibe frente a esta condición de estrés (García *et al.*, 2015)

Los análisis realizados sobre el deterioro de las semillas durante su almacenamiento indican que, aunque varios factores inciden en la germinación y emergencia de las semillas, se concede una mayor relevancia a los impactos de la temperatura y la humedad relativa. En consecuencia, la gestión de las semillas debe enfocarse principalmente en mejorar los métodos de obtención y almacenamiento, así como en la aplicación de técnicas fisiológicas después de la recolección de los frutos o en la etapa pos cosecha, con el fin de preservar la viabilidad y el vigor inicial de las semillas (Arizaleta y Montilla, 2005).

##### *1.1.6.5.1 Luz*

Existen divergencias en cuanto al impacto de la luz (tanto en cantidad como en calidad) en el proceso de germinación de la semilla del cafeto. Estudios revelan que la semilla germina de manera satisfactoria en condiciones de luz difusa, pero también que las semillas tienen

una germinación más exitosa en condiciones de oscuridad en comparación con la exposición a la luz. La luz parece inhibir la morfogénesis de la raíz, aunque no parece influir en la emisión de la radícula, ya que las semillas germinadas en la oscuridad mostraron una radícula con mayor desarrollo de raíces absorbentes, aunque con un porcentaje de germinación igual al de las semillas expuestas a la luz (Arcila, 1990).

#### *1.1.6.5.2 Temperatura*

La temperatura óptima para la germinación de las semillas de café se sitúa entre 28 y 30°C. Sin embargo, observaciones realizadas en cenicafé indican que las semillas también germinan de manera efectiva a temperatura ambiente, que oscila entre 20 y 25°C (Arcila P., *et al.*, 2007).

Es esencial tener en cuenta las temperaturas medias, ya sean cálidas o frías, especialmente en las ubicaciones más distantes del ecuador terrestre o en áreas de elevada altitud.

#### *1.1.6.5.3 Humedad*

La humedad de las semillas de café varía dependiendo de la especie. Por ejemplo, las semillas de café arábica tienen un contenido crítico de agua de aproximadamente 0.16 g H<sub>2</sub>O/g dw, mientras que las semillas de café robusta tienen un contenido crítico de agua de alrededor de 0.08 g H<sub>2</sub>O/g dw. Este rango de humedad es crucial para la tolerancia a la desecación y la viabilidad de las semillas de café (Eira *et al.*, 2006)

### **1.1.7 Proceso y condiciones de germinación**

La germinación, un fenómeno esencial en el cual se desencadenan diversas transformaciones metabólicas, resulta crucial para el desarrollo completo de la plántula (De La Rosa, 2022). La germinación comienza con la absorción de agua a través de la cubierta de la semilla, conocida como imbibición. Durante esta fase, la semilla absorbe aproximadamente el 30% de su peso seco en agua antes de iniciar el proceso de germinación. Una absorción por debajo de este porcentaje puede resultar en la detención o retraso del proceso germinativo debido a un secado rápido del entorno que rodea la semilla (Ortiz, 2022).

El proceso de germinación puede verse acelerado cuando se opta por eliminar el pergamino de los granos a través de una operación como la trilla, la eliminación del pergamino permite anticipar la germinación de las semillas en un período de 15 a 20 días.

El germinador es un sitio fabricado en madera, mayormente guadua, donde usualmente se usa la arena como sustrato con el fin de que la semilla salga más fácil debido a su porosidad,

ayudando a que el crecimiento radicular no se vea afectado. Se riegan alrededor de 1 kg o 3.500 semillas en un metro cuadrado. Luego de dos semanas, ya se puede ver el inicio del proceso de germinación o nacimiento y de ahora en adelante, la chapola de café inicia su crecimiento radicular y vegetativo, realizando un seguimiento continuo para verificar la ausencia de enfermedades o plagas, en caso de encontrar alguna, y así proceder a la aplicación de agroquímicos de control (Mogrovejo, 2022). Según Busso (2018), la semilla de café es capaz de germinar inmediatamente después de su recolección, por lo que debe sembrarse lo más pronto posible. A medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, se reduce su porcentaje de germinación.

#### *1.1.7.1 Selección de la semilla*

De acuerdo a la Asociación Nacional del Café (2016), las plantas a ser seleccionadas como plantas madre deberán tener una excelente condición vegetativa, demostrando vigorosidad, sanidad y alta producción. Este proceso de identificación de plantas madre es importante para esta especie de café, que por requerir polinización cruzada (alógama) necesita que en la misma plantación hayan plantas genéticamente diferentes, para que la fecundación sea exitosa. De no ser así, se verá afectada la producción del grano. Para la obtención de semilla, se recomienda identificar un lote o plantación con historial de alta productividad y luego identificar y seleccionar, dentro de este lote, a las plantas que reúnan las mejores características en su condición vegetativa, vigorosidad, sanidad y alta producción. Una libra de semilla de esta variedad, contiene de 1,500 a 1,800 semillas efectivas.

### **1.1.8 Estreses abióticos**

#### *1.1.8.1 Estrés hídrico*

El rendimiento de las plantas se ve afectado por factores de estrés abiótico como el exceso o la falta de agua, nutrientes, luz solar y salinidad. La falta de medidas adecuadas para gestionar estos factores puede provocar un descenso en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Numerosas regiones cafetaleras a nivel mundial han experimentado prolongadas sequías, resultado de la disminución de las precipitaciones ocasionada por las variaciones asociadas al cambio climático. Este fenómeno ha generado notables reducciones en los rendimientos cafetaleros. Es bien conocida la sensibilidad específica que cada etapa del desarrollo de un cultivo presenta ante los factores ambientales. En particular, en el caso del estrés hídrico, la

fase de floración emerge como la más susceptible en la mayoría de los cultivos que producen granos o frutos, fenómeno que ha sido extensamente documentado (Intagri, 2017).

El estrés hídrico se clasifica en tres grados: leve, con un potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) entre -0.20 y -0.80 MPa o una reducción del contenido relativo de agua (CRA) en un 8-10%; moderado, con  $\Psi_w$  entre -0.81 y -1.49 MPa o una disminución del CRA entre un 10 y un 20%; severo, con una disminución del  $\Psi_w$  mayor a 15 bares (-1.5 MPa) o una reducción del CRA superior al 20%. Al estudiar el estrés hídrico en las plantas, se puede comprender mejor los mecanismos de adaptación y optimizar el uso de agua, suelo y nutrientes, sin necesidad de modificar significativamente los entornos (Vera, 2022).

#### *1.1.8.2 Estrés salino*

El estrés salino puede ocasionar desequilibrios nutricionales en el cultivo de café, afectando negativamente su crecimiento. En situaciones graves, puede dar lugar a toxicidad e incluso la muerte de la planta. Además, induce complejos cambios en la fisiología y metabolismo de las plantas, que buscan hacer frente a los diferentes tipos de estrés asociados, como el iónico, osmótico y oxidativo (Castillo *et al.*, 2022). Por su parte Bazzigalupi *et al.*, (2008) indica que en ciertas especies, la capacidad de resistencia a la salinidad durante la germinación no guarda relación con la resistencia en la etapa de emergencia, el crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación.

Sánchez (2022) manifiesta que los parámetros que indican la salinidad del agua se relacionan con la presencia de solutos inorgánicos disueltos. La salinidad en muestras acuosas se mide mediante la cuantificación de la concentración total de sales solubles o la conductividad eléctrica (CE) de la solución. La CE representa numéricamente la capacidad intrínseca de un medio para conducir corriente eléctrica.

#### *1.1.9 Agua de mar en la agricultura*

Según Mendoza (2017), alrededor del 10% de las tierras irrigadas en el mundo, que representan aproximadamente 30 millones de hectáreas de las 255 millones de hectáreas irrigadas, han sido afectadas por la salinización debido a prácticas de riego inadecuadas y una falta de drenaje adecuado. Con el aumento de la población mundial, cada vez más países se enfrentan a la escasez de agua. Se estima que para el año 2030, más del 60% de la población en áreas urbanas requerirá una mayor proporción del agua disponible.

La creciente inclinación hacia la agricultura orgánica y la mayor demanda de alimentos orgánicos ha generado un aumento en la necesidad de bio fertilizantes. Esta tendencia ha proporcionado una oportunidad para reevaluar el potencial y las limitaciones de la utilización de organismos foto autótrofos marinos como acondicionadores del suelo y bio fertilizantes. Estos organismos han demostrado ser resistentes a diversas condiciones climáticas y estrés ambiental, destacando por su capacidad para mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas y promover el crecimiento de las plantas. En relación con el agua de mar, se ha identificado la presencia de 83 elementos hasta la fecha. Este recurso acuático contiene no solo elementos esenciales para el crecimiento del cultivo, como magnesio, calcio, potasio y fósforo, sino también diversos minerales, como yodo, manganeso, molibdeno, cobalto, selenio y germanio, que son fundamentales para la agricultura (Fernández, 2019).

#### *1.1.9.1 Efecto de salinidad en el cultivo de café*

La repercusión del estrés salino en las plantas varía significativamente y está influenciada por diversos factores como el tipo de cultivo, la naturaleza, intensidad y duración de la salinidad, la exposición a la luz, la humedad del suelo y del ambiente, así como la etapa de desarrollo de la planta. Investigaciones en cultivares de café en Colombia han demostrado que la salinidad puede afectar múltiples variables biológicas en estas plantas, incluyendo el área foliar, la altura, la acumulación de materia seca en las partes aéreas y radicales, el potencial de agua en las hojas, la actividad de nitrato reductasa, y, en situaciones extremas, ocasionar la muerte de las plantas en las fases iniciales de crecimiento (Vera, 2022).

De acuerdo a Jativa Reyes (2014), la magnitud del estrés que la salinidad genera en las plantas depende de una serie de factores, como el tipo de planta, la intensidad y duración de la salinidad, la cantidad de luz, la humedad del suelo y del aire, y la etapa de desarrollo de la planta. La mayoría de las plantas pueden sobrevivir en condiciones de salinidad, pero sus semillas tienen más dificultades para germinar en estas condiciones (Ruiz, 2012).

#### *1.1.9.2 Conductividad eléctrica (CE)*

La conductividad eléctrica del agua es una medida de su capacidad para conducir corriente eléctrica. Se expresa en siemens por metro (S/m) en el Sistema Internacional de Unidades, pero se utiliza comúnmente micro siemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a 25°C. La conductividad del agua está relacionada con la concentración de sales disueltas en ella, ya que la disociación de estas sales genera iones que son capaces de transportar la corriente eléctrica. La

solubilidad de las sales en el agua varía con la temperatura, lo que afecta la conductividad del agua (Solís *et al.*, 2018).

Esta propiedad está influenciada por la temperatura, así como por la naturaleza y concentración del soluto presente en la solución. Sin embargo, el valor absoluto de la conductividad ( $\kappa$ ) no es muy útil para comparar la conductividad de diferentes solutos en soluciones con diferentes concentraciones. Esto se debe a que una solución con una mayor concentración de un electrolito tendrá una conductividad más alta debido a la presencia de más iones, para realizar una comparación más precisa, se requiere una propiedad que compense la diferencia de concentración entre las soluciones (Gómez *et al.*, 2010).

La prueba de conductividad eléctrica mide la integridad de las membranas celulares de las semillas, una conductividad eléctrica alta indica que las membranas están dañadas y que las semillas están en riesgo de deterioro (Viloria y Méndez, 2011).

#### *1.1.9.3 Influencia de la CE en el desarrollo embrionario del café*

Las sales son perjudiciales para el crecimiento de las plantas debido a dos razones principales, en primer lugar las sales reducen el potencial osmótico del agua en el suelo, lo que dificulta que las raíces absorban agua, en segundo lugar ciertos iones salinos son tóxicos para las plantas o bloquean los sitios de intercambio de nutrientes. Es importante destacar que la salinidad se refiere a todas las sales, mientras que la sodicidad se refiere específicamente al sodio (Mark, 2022).

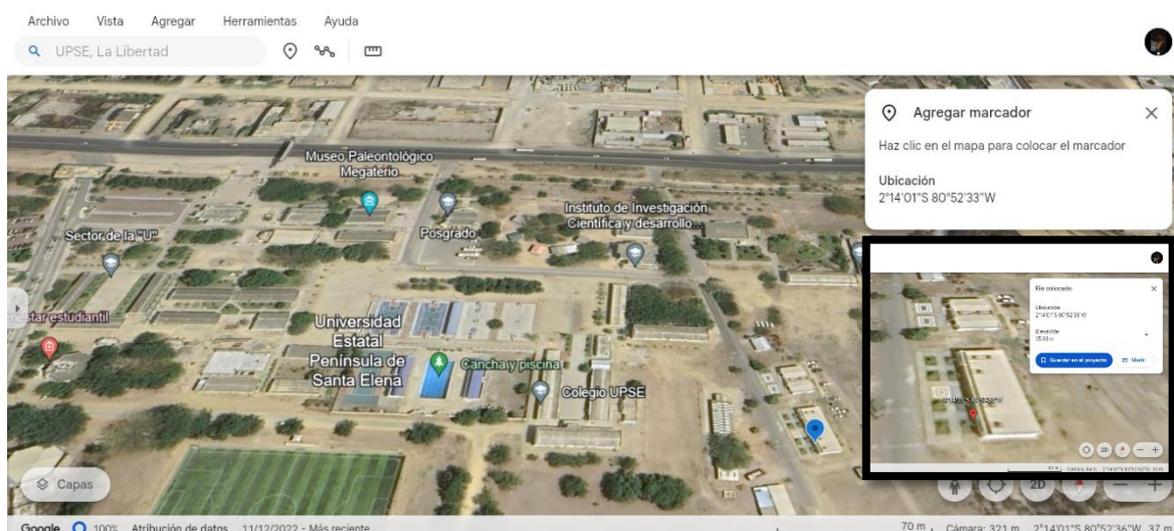
Galiana (2014) señala diversos métodos para evaluar la resistencia a la salinidad, como la germinación en medio salina, otros criterios incluyen el efecto en la materia seca de la planta (parte aérea y raíces). El crecimiento de raíces indica resistencia a la toxicidad de sales, mientras que el análisis iónico en hojas es relevante en especies donde la resistencia se debe a la exclusión de sales.

El estrés salino afecta funciones esenciales de las plantas, como fotosíntesis y producción de hormonas, limitando su crecimiento. Esto provoca reducción en la germinación, desequilibrios nutricionales y afecta la producción de cultivos. Mejoramiento genético y variabilidad genética son cruciales para enfrentar estos desafíos (González, 2020).

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Caracterización del área

El presente trabajo se realizó en condiciones controladas en el laboratorio del Centro de Investigaciones Agropecuarias, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. El laboratorio se encuentra ubicado en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena, con coordenadas geográficas de 2°14'01"S y 80°52'33"W, a una altitud de 25 msnm, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Localización del área de investigación en los laboratorios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena

### 2.2 Material biológico y condiciones experimentales

El material vegetal utilizado en esta investigación se obtuvo a través de la recolección de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) de una plantación de una edad aproximada de 20 años, perteneciente al Centro de Apoyo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, ubicada en Manglaralto.

Las semillas de café robusta fueron trasladadas al laboratorio de "Bioprocesos y mejoramiento genético" en la matriz de la universidad, este traslado se realizó con el propósito de llevar a cabo el experimento en condiciones controladas para evaluar el comportamiento de las semillas bajo diferentes conductividades eléctricas.

Las características del material genético se detallan a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Descripción del material genético utilizado para evaluar su germinación bajo la influencia de distintas conductividades eléctricas

---

*Coffea canephora*

---

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Planta</b>                    | Muy resistente, tiene alta productividad |
| <b>Peso del fruto</b>            | 50 mg                                    |
| <b>Tamaño del fruto</b>          | 8 – 16 mm largo y 12 mm ancho            |
| <b>Porcentaje de germinación</b> | 70 - 90%                                 |
| <b>Madurez fisiológica</b>       | 220 – 300 días                           |
| <b>Cafeína</b>                   | 1,6 a 2,7%                               |
| <b>Altitud</b>                   | 200 – 800 m                              |

---

### 2.3 Materiales, equipos e insumos

#### 2.3.1 *Materiales de laboratorio y reactivos*

- ✓ Bandejas germinadoras
- ✓ Agua destilada
- ✓ Papel filtro cualitativo
- ✓ Guantes
- ✓ Espátula
- ✓ Vasos de precipitación
- ✓ Lupa
- ✓ Pinzas
- ✓ Papel toalla

#### 2.3.2 *Equipos*

- ✓ Estéreo microscopio
- ✓ Pipeta digital
- ✓ Balanza digital
- ✓ Calibrador vernier

- ✓ Computador portátil
- ✓ Cámara fotográfica

### 2.3.3 Insumo

#### Agua de mar

En el presente trabajo se utilizó agua de mar extraída a 2°21'28.5303" Sur; 80°54'44.7745" w, coordenadas geográficas a 10 millas Costa afuera del Puerto de Santa Rosa, una vez obtenida la muestra pura se la envió a la Estación Experimental Tropical Pichilingue, del centro de generación de tecnologías del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), con la finalidad de obtener sus elementos químicos y específicamente conocer la conductividad eléctrica para realizar el proyecto que tiene como objetivo primordial conocer el porcentaje de germinación de las semillas del café bajo la influencia de este parámetro.

## 2.4 Diseño experimental

Se trabajó con el diseño completamente al azar o también denominado DCA, este diseño incluyó cuatro niveles distintos de conductividad eléctrica, con el 100% en agua destilada como control, y los demás tratamientos diluidos al 60%, 70% y 80% en agua de mar y agua destilada para la germinación de semillas de café robusta, con cinco repeticiones resultando en un total de 20 tratamientos, para la comparación de las medias de los tratamientos se aplicó la prueba Tukey al 5% de probabilidad, los grados de libertad totales del diseño experimental se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Fuentes de variación del diseño completamente al azar

| <b>Fuente de variación</b> | <b>Grados de libertad</b> |
|----------------------------|---------------------------|
| Tratamientos (t-1)         | <b>4 - 1 = 3</b>          |
| Repeticiones               | <b>5 - 1 = 4</b>          |
| Total (t*r)-1              | <b>20 - 1 = 19</b>        |
| Error experimental t(r-1)  | <b>19 - 3 = 16</b>        |

### 2.4.1 *Tratamientos*

Los tratamientos consistieron en cuatro diferentes conductividades eléctricas, las mismas se encuentran en distintos porcentajes de agua destilada y agua de mar propiamente, para llevar a cabo el estudio se utilizó 20 semillas de café robusta en cada tratamiento, observamos los detalles en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Descripción de los tratamientos del experimento

| <b>Tratamientos</b> | <b>Símbolo</b> | <b>CE</b> | <b>Concentración</b>                             | <b>% Concentraciones</b>               |
|---------------------|----------------|-----------|--|--|
| <b>T1</b>           | CE1            | 0 dS/m    | 200 ml de agua destilada<br>pura                 | 100% Agua destilada                    |
| <b>T2</b>           | CE2            | 96 dS/m   | 160 ml de agua de mar<br>40 ml de agua destilada | +80% Agua de mar<br>20% Agua destilada |
| <b>T3</b>           | CE3            | 78 dS/m   | 140 ml de agua de mar<br>60 ml de agua destilada | +70% Agua de mar<br>30% Agua destilada |
| <b>T4</b>           | CE4            | 50 dS/m   | 120 ml de agua de mar<br>80 ml de agua destilada | +60% Agua de mar<br>40% Agua destilada |

### 2.4.2 *Delineamiento experimental*

Para la elaboración del estudio se desarrolló el delineamiento experimental del diseño DCA, el mismo se detalla a continuación en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Delineamiento experimental

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tratamientos</b>                       | 4   |
| <b>Repeticiones</b>                       | 5   |
| <b>Total de unidades experimentales</b>   | 20  |
| <b>Número de semillas por funda</b>       | 20  |
| <b>Número de tarrinas por tratamiento</b> | 1   |
| <b>Número de tarrinas por repetición</b>  | 5   |
| <b>Número de semillas por tratamiento</b> | 100 |
| <b>Número de semillas por experimento</b> | 400 |

## **2.5 Conducción o manejo del experimento**

La elaboración del experimento se empleó bajo condiciones controladas en el laboratorio de “Bioprocesos y mejoramiento genético” de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, siguiendo las actividades descritas a continuación:

### **2.5.1 *Recolección del café***

La recolección del café se llevó a cabo durante las dos primeras semanas de febrero del presente año, esta tarea se realizó en el Centro de Apoyo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, situado en Manglaralto. Para asegurar la calidad del material de estudio, se procedió a seleccionar aquellos granos de café que presentaban el grado de madurez deseable, esto implica una coloración en tonos rojo intenso o marrón y que sean suaves al tacto y con tendencia a desprenderse fácilmente de la rama al aplicar una ligera presión, para ello se realizó una inspección de cada planta de café y la recolección selectiva de los frutos.

### **2.5.2 *Despulpado de semillas***

Una vez obtenida una cantidad aproximada de 500 semillas de café, se procedió al despulpado. Este proceso implica la remoción de la piel o cáscara del fruto, así como la separación de toda la pulpa. Luego, las semillas fueron reunidas en un recipiente amplio con la finalidad de que todas puedan estar expuestas a los rayos solares, dejándolos secar durante dos horas. Es importante destacar que este proceso debe llevarse a cabo el mismo día en que se realiza la recolección del café.

### **2.5.3 *Selección de las semillas***

Después del proceso de deshidratación por el que pasaron las semillas, se procede a realizar un análisis microscópico en el laboratorio de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, con la finalidad de conocer las propiedades físicas, entre ellas la más importante es conocer la presencia de enfermedades o daños en las semillas, y de esta manera lograr una selección óptima obteniendo material genético de calidad.

Los resultados del análisis microscópico permiten tomar decisiones sobre la calidad y la viabilidad de las semillas de café robusta, buscando aprobar las semillas que presenten características deseadas, como tamaño uniforme, forma adecuada, estructuras internas bien desarrolladas y ausencia de enfermedades o daños. Por otro lado, se puede rechazar las

semillas que presenten defectos graves, como deformidades, daños extensos o signos de enfermedades que puedan comprometer la germinación y el desarrollo de las plantas.

#### **2.5.4 *Lavado de semillas***

Para el lavado adecuado de las semillas de café, se utilizaron dos soluciones: 1 cm<sup>3</sup> de creolina Weir con 1 L de agua. Las semillas fueron sumergidas en estas sustancias durante una hora con el fin de garantizar su limpieza y eliminar posibles impurezas. Posteriormente, se procedió al enjuague de las semillas y se aseguró su secado mediante la manipulación del material genético y papel filtro, eliminando almacenamiento de humedad de cualquier residuo de las soluciones utilizadas.

#### **2.5.5 *Esterilización de los materiales***

Para garantizar la máxima higiene y eliminar cualquier carga microbiana se llevó a cabo un proceso de desinfección de los materiales del estudio. Se realizó un lavado rápido de los materiales con cloro al 99,99% durante cinco minutos, cubriendo completamente todas las superficies de los utensilios y equipos. Una vez finalizada esta actividad, los materiales estuvieron listos para ser manipulados directamente de manera adecuada.

#### **2.5.6 *Establecimiento de bandejas germinadoras***

Después de realizar una minuciosa desinfección de las semillas, el último paso consistió en colocarlas cuidadosamente dentro de las bandejas germinadoras para garantizar un ambiente propicio para la germinación, se distribuyó estratégicamente las semillas de manera que cada una pueda recibir la cantidad adecuada de humedad. Este procedimiento es crucial para dar inicio al proceso de germinación de manera exitosa.

Cada bandeja fue provista de 20 semillas, asegurando así una muestra representativa para nuestros fines. Una vez colocadas las semillas, se procedió a realizar el primer riego utilizando 10 mililitros, medidos con una jeringa para facilitar la manipulación de las soluciones específicas correspondientes a cada tratamiento.

## 2.6 Parámetros evaluados

### 2.6.1 Porcentaje de germinación

La variable del porcentaje de germinación se evaluó de acuerdo al número de semillas sembradas después de un periodo de 30 días correspondientes a las actividades mencionadas en la conducción del experimento, la evaluación se realizó mediante la observación de la emisión de la radícula, que es un indicador clave del proceso de germinación, y esto se hizo considerando los diferentes tratamientos aplicados, se llevó a cabo un monitoreo regular cada dos días, una vez transcurridos 80 días desde la siembra inicial, se calculó el porcentaje de germinación utilizando la siguiente ecuación propuesta por Bewley (1985), de esta manera se expresó de manera cuantitativa el porcentaje de semillas que germinaron exitosamente:

$$PG = \left( \frac{N^\circ \text{ semillas germinadas}}{N^\circ \text{ total de semillas micropropagadas}} \right) * 100$$

### 2.6.2 Porcentaje de inhibición

La variable del porcentaje de inhibición corresponde al número de semillas que no iniciaron el proceso de germinación hasta el último día de evaluación, este valor se expresó en porcentaje y se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$PI = \left( \frac{N^\circ \text{ semillas inhibidas}}{N^\circ \text{ total de semillas micropropagadas}} \right) * 100$$

Los datos se transformaron a arco seno antes del análisis estadístico para la homogeneidad de varianza (no se transformaron los datos que aparecen en todas las figuras).

### 2.6.3 Longitud radicular

Este parámetro se evaluó con la ayuda de un pie de rey, desde la base de la semilla hasta el extremo de la raíz y se registra el valor obtenido. Este procedimiento se repite para variar el material y asegurar la estabilidad durante la medición, con estos datos calculamos la longitud promedio de las raíces y comparamos los diferentes tratamientos puestos en estudio.

#### **2.6.4 Días de germinación**

Los días de germinación representaron el intervalo de tiempo en el cual se observó el mayor porcentaje de germinación de las semillas evaluadas, este parámetro se calculó a partir de la siembra de las semillas y corresponden al período en el que se alcanza al menos el 50% de la germinación total, este valor se representó en días.

#### **2.6.5 Índice de velocidad de germinación**

Esta variable reflejó la velocidad promedio de germinación de las semillas y permitió comparar la velocidad de germinación entre los diferentes tratamientos, este procedimiento se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$IVG = \left( \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Tiempo transcurrido}} \right) * 100$$

#### **2.7 Análisis estadístico de los resultados**

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA y test de Tukey para comparación de medias con un nivel de significancia  $p < 0,05$ , identificando posibles diferencias significativas entre los grupos.

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

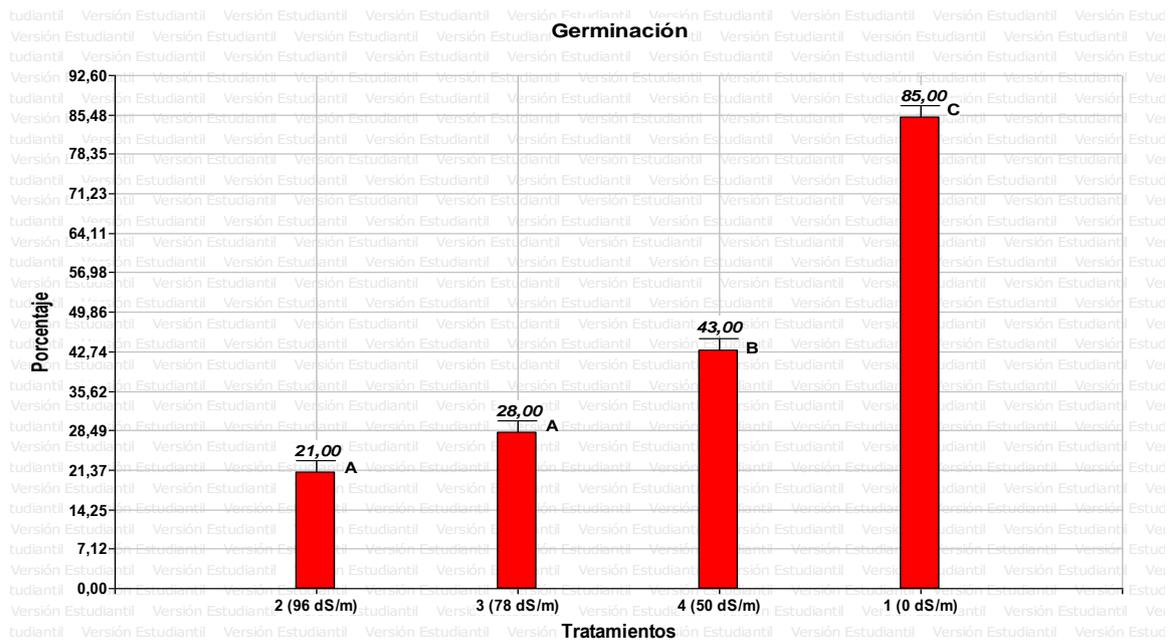
### Porcentaje de germinación

De acuerdo a la Tabla 5, se puede observar la evaluación de esta variable a los 30 días y se nota en el análisis de varianza (ANOVA) que, existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos por el efecto de las concentraciones de agua de mar y el estrés salino sufrido por cada uno de ellos. Situación que se puede verificar en p-valor igual a  $<0,0001$ . Así también, encontramos un coeficiente de variación correspondiente a un valor de 11,01%.

**Tabla 5.** Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 30 días posteriores a la siembra

| <b>F.V.</b>         | <b>SC</b>       | <b>GI</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>p-valor</b> |
|---------------------|-----------------|-----------|-----------|----------|----------------|
| <b>Tratamientos</b> | 12333,75        | 3         | 4111,25   | 173,11   | $<0,0001$      |
| <b>Error</b>        | 380,00          | 16        | 23,75     |          |                |
| <b>Total</b>        | <b>12713,75</b> | <b>19</b> |           |          |                |
| <b>CV (%)</b>       |                 |           |           |          | 11,01          |

La misma variable, también se refleja en la Figura 2, de la primera evaluación realizada a los 30 días de la siembra del experimento. En donde se puede notar que, el tratamiento que presentó el menor porcentaje de germinación fue el T2 (96 dS/m) quien obtuvo un 21% de semillas germinadas, a él le sigue T3 (78 dS/m) con un 28%, y a continuación, el T4 (50 dS/m) con el 43% de germinación; mientras el testigo T1 (0,15 dS/m) mostró el porcentaje más alto entre los tratamientos alcanzando un 85% de germinación. Estos tratamientos mostraron ser indicadores confiables de resistencia relativa de una planta a la toxicidad de las sales minerales como lo mencionó Galiana (2014).



**Figura 2.** Porcentaje de germinación de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) al día 30 de evaluación

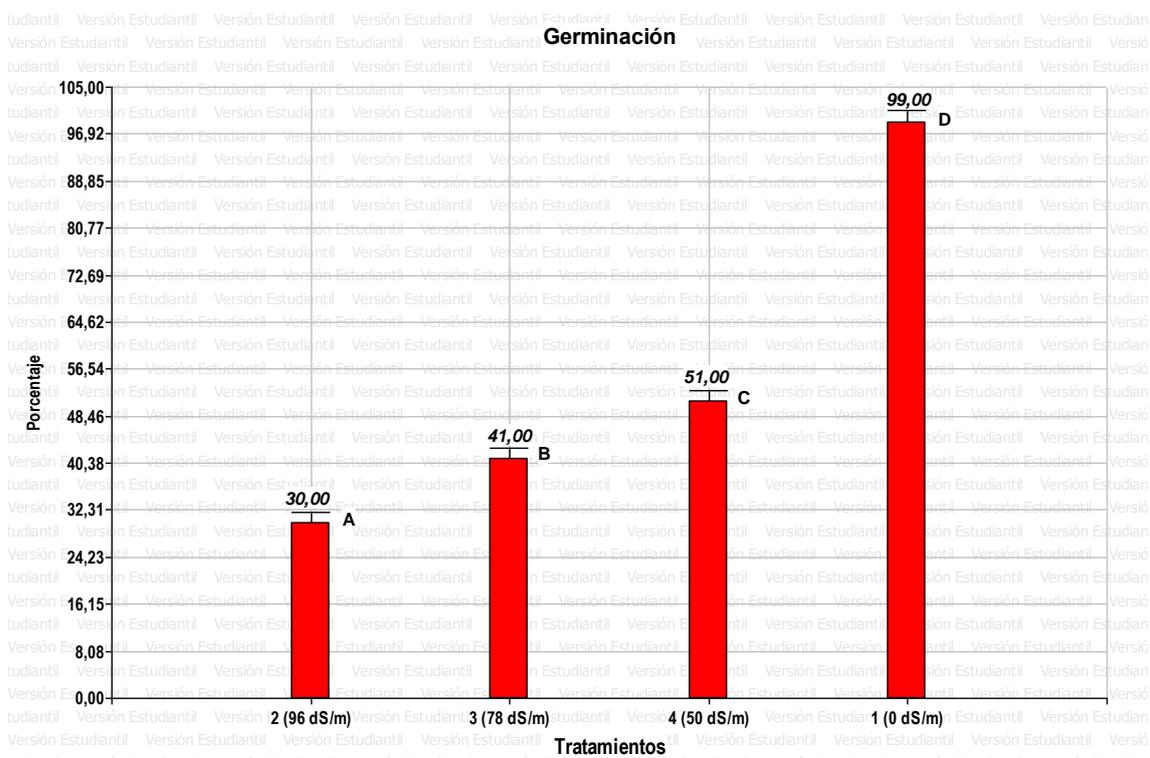
Según la Tabla 6 del ANOVA, se evidencia una diferencia altamente significativa entre los tratamientos a los 40 días de la evaluación, debido a la salinidad de las concentraciones, como se refleja en un p-valor de <0,0001. Además, en la misma tabla se aprecia un coeficiente de variación aceptable del 7,97% para el ambiente controlado del experimento.

**Tabla 6.** Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 40 días posteriores a la siembra

| F.V.                | SC              | GI        | CM      | F      | p-valor |
|---------------------|-----------------|-----------|---------|--------|---------|
| <b>Tratamientos</b> | 13863,75        | 3         | 4621,25 | 238,52 | <0,0001 |
| <b>Error</b>        | 310,00          | 16        | 19,38   |        |         |
| <b>Total</b>        | <b>14173,75</b> | <b>19</b> |         |        |         |
| <b>CV (%)</b>       |                 |           |         | 7,97%  |         |

En la Figura 3, se presentan los resultados a los 40 días de la evaluación. En ella, se destaca que el tratamiento T2 (96 dS/m) exhibió la menor tasa de germinación, alcanzando un 30%. Le siguió el T3 (78 dS/m) con un rendimiento ligeramente superior del 41%. Por otro lado, el T4 (50 dS/m) experimentó un incremento significativo, llegando al 51%, mientras que el control T1 registró el porcentaje más alto entre los tratamientos, alcanzando el 99%. Cabe destacar que el T1 completó su etapa de germinación, manteniendo un riego constante con

agua destilada pura, lo que contribuyó al óptimo desarrollo de las semillas a lo largo del tiempo.



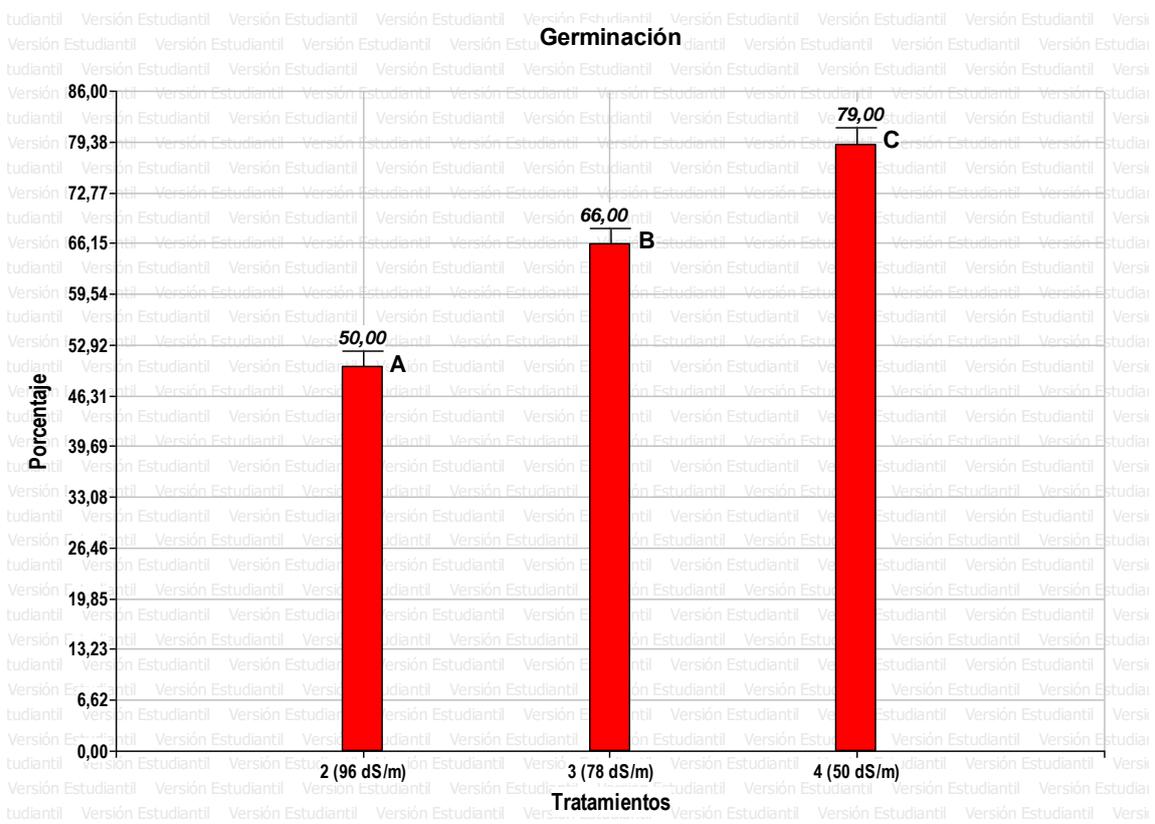
**Figura 3.** Porcentaje de germinación de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) al día 40 de evaluación

Según la Tabla 7, el análisis de varianza (ANOVA) a los 50 días de evaluación revela un efecto significativo en el porcentaje de germinación. Los diferentes tratamientos aplicados muestran diferencias estadísticas significativas entre sí, como se refleja en un p-valor de <0,0001. Además, se observa un coeficiente de variación apropiado para el entorno correspondiente, con un valor del 7,56%.

**Tabla 7.** Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 50 días posteriores a la siembra

| F.V.                | SC             | Gl        | CM      | F     | p-valor |
|---------------------|----------------|-----------|---------|-------|---------|
| <b>Tratamientos</b> | 2110,00        | 2         | 1055,00 | 43,66 | <0,0001 |
| <b>Error</b>        | 290,00         | 12        | 24,17   |       |         |
| <b>Total</b>        | <b>2400,00</b> | <b>14</b> |         |       |         |
| <b>CV (%)</b>       |                |           |         | 7,56% |         |

En la Figura 4, a los 50 días de la siembra de las semillas de café, el tratamiento T4 (50 dS/m) exhibió el mayor porcentaje de germinación, alcanzando el 79%. Le siguió el T3 (78 dS/m) con un incremento del 66%, mientras que el T2 (96 dS/m), a pesar de ser el tratamiento con mayor conductividad eléctrica, registró un valor del 50%, destacándose como un logro significativo en su germinación tras estar sometido al estrés de la salinidad. La variación en las condiciones eléctricas de los tratamientos ha demostrado tener un impacto considerable en la eficacia de la germinación, proporcionando información valiosa para optimizar las condiciones ideales para el desarrollo adecuado de las semillas.



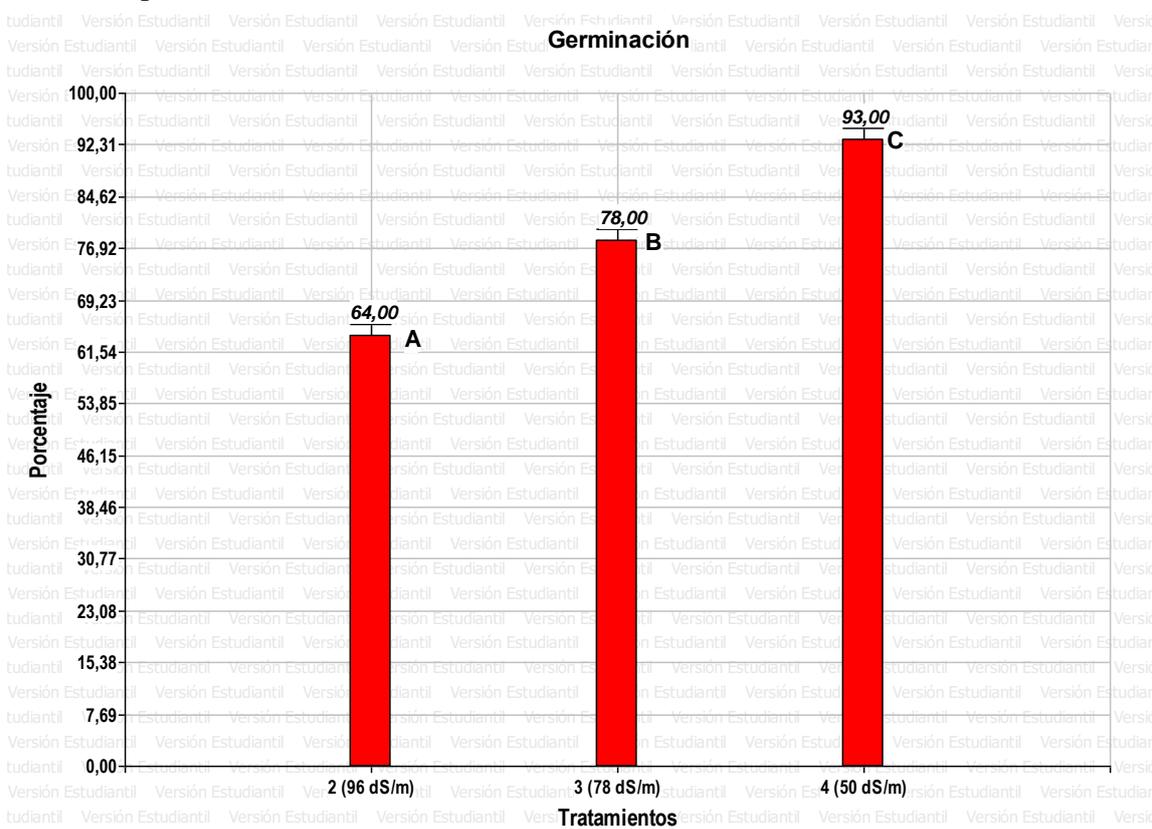
**Figura 4.** Porcentaje de germinación de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) al día 50 de evaluación

De acuerdo con la Tabla 8, en el análisis de varianza (ANOVA) de evaluación a los 60 días, se observa que existe un efecto significativo en el porcentaje de germinación, los diferentes tratamientos aplicados muestran diferencias estadísticas significativas entre sí, que se ve reflejado en p-valor igual a  $<0,0001$ . También podemos notar la presencia de un coeficiente de variación acorde al ambiente correspondiente con un valor de 4,94%.

**Tabla 8.** Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 60 días posteriores a la siembra

| F.V.                | SC             | GI        | CM      | F     | p-valor |
|---------------------|----------------|-----------|---------|-------|---------|
| <b>Tratamientos</b> | 2103,33        | 2         | 1051,67 | 70,11 | <0,0001 |
| <b>Error</b>        | 180,00         | 12        | 15,00   |       |         |
| <b>Total</b>        | <b>2283,33</b> | <b>14</b> |         |       |         |
| <b>CV (%)</b>       |                |           |         | 4,94  |         |

De acuerdo con la Figura 5, donde las semillas llegan a los 60 días de la evaluación de esta variable, nos podemos dar cuenta que, los tratamientos continúan presentando diferencias estadísticas significativa, así lo demuestra el T4 (50 dS/m) que se destaca al presentar el nivel más alto de germinación alcanzando el 93%, estos resultados indican una respuesta altamente positiva de las semillas de café robusta a las condiciones de salinidad.



**Figura 5.** Porcentaje de germinación de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) al día 60 de evaluación

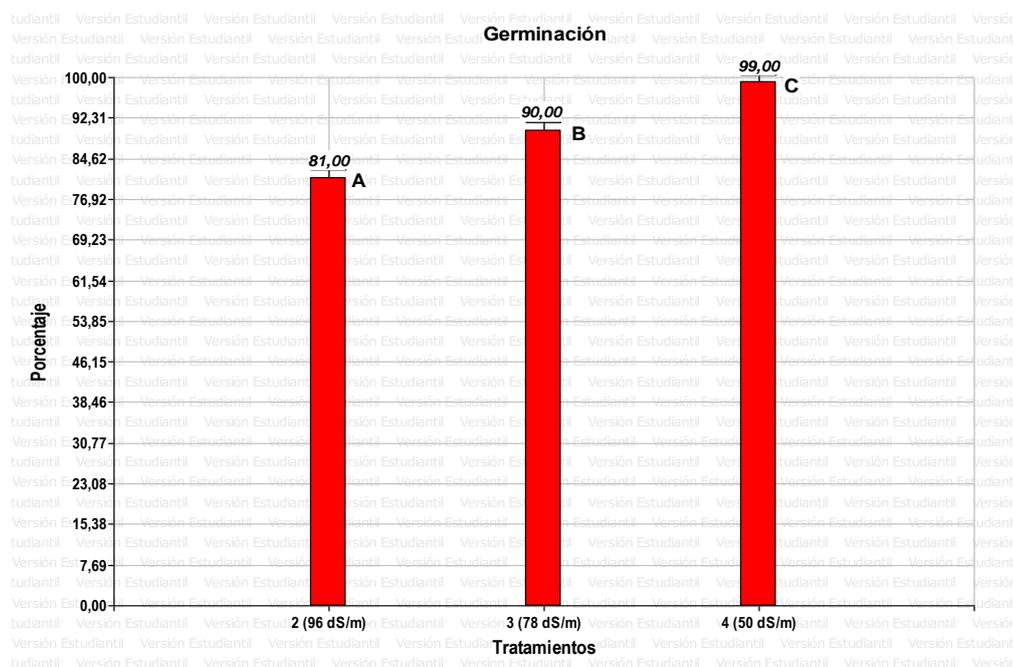
En contraste, el T3 (78 dS/m) muestra también una tasa de germinación considerable con un valor de 78%, por último el T2 (96 dS/m) exhibe la tasa más baja de germinación entre los tratamientos evaluados, registrando un 64%, pero a la vez significativo, por su incremento en más menos 10% hasta el día 60 de la valoración; revelando ser un indicador significativo de la capacidad de germinación bajo estrés salino.

Según la Tabla 9, el análisis de varianza (ANOVA) a los 70 días de evaluación revela un efecto significativo en el porcentaje de germinación. Los diferentes tratamientos aplicados con agua de mar muestran diferencias estadísticas significativas entre sí, como se refleja en un p-valor de <0,0001. Además, se observa un coeficiente de variación apropiado para el entorno controlado del presente experimento, con un valor del 3,80%.

**Tabla 9.** Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 70 días posteriores a la siembra

| F.V.                | SC            | Gl        | CM     | F     | p-valor |
|---------------------|---------------|-----------|--------|-------|---------|
| <b>Tratamientos</b> | 810,00        | 2         | 405,00 | 34,71 | <0,0001 |
| <b>Error</b>        | 140,00        | 12        | 11,67  |       |         |
| <b>Total</b>        | <b>950,00</b> | <b>14</b> |        |       |         |
| <b>CV (%)</b>       |               |           |        | 3,80  |         |

En la Figura 6, a los 70 días de la evaluación, se destaca que la conductividad más baja de 50 dS/m (T4) presenta la mayor tasa de germinación, alcanzando el 99%. Le sigue la conductividad de 78 dS/m (T3) con un 90%, logrando una germinación considerablemente alta. Simultáneamente, el tratamiento de la conductividad más alta de 96 dS/m (T2) ya muestra una tasa de germinación del 81%. Estos resultados subrayan la influencia de la variación en la conductividad en la eficacia de la germinación, proporcionando información valiosa para entender las condiciones óptimas de desarrollo de las semillas.



**Figura 6.** Porcentaje de germinación de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) al día 70 de evaluación

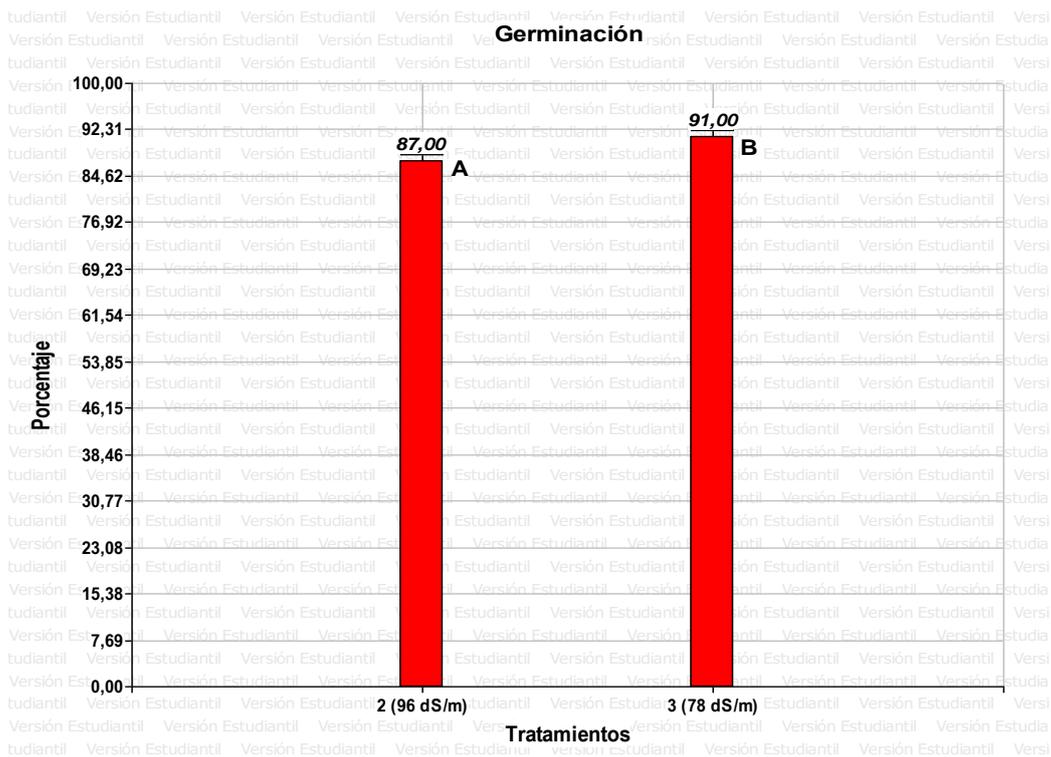
Estos resultados, se corroboran con los estudios realizados por Goykovic Cortés *et al.* (2014), quienes evidencian que, la germinación de semillas de tomate, puede experimentar impacto por el efecto de la salinidad, si se considera, que la capacidad de tolerancia varía entre especies y niveles de exposición. En este estudio específico, se observó que las poblaciones SIPN y Sper, sometidas a condiciones de salinidad con NaCl 150 mM y PEG 100, demostraron tasas de germinación del 98% y 95,2%, respectivamente, cifras similares a los controles. Estos resultados indican que estas poblaciones de tomate exhiben una relativa tolerancia a la salinidad. Este hallazgo puede tener valiosas implicaciones para el cultivo del café, sugiriendo que ciertas variedades pueden mostrar adaptabilidad similar frente a condiciones salinas, lo que podría ser esencial, para la selección de cultivos en regiones afectadas por la salinidad del suelo.

De acuerdo con la Tabla 10, en el análisis de varianza (ANOVA) de evaluación a los 80 días, se observa que existe un efecto significativo para los tratamientos, en el porcentaje de germinación, pues, los mismos, muestran entre ellos, diferencias estadísticamente significativas, corroborando este hecho con p-valor igual a  $<0,0001$ . Así también el ANOVA muestra el resultado del coeficiente de variación presentado en esta variable, y corresponde a un valor de 2,81%.

**Tabla 10.** Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en semillas de café robusta evaluada a los 80 días posteriores a la siembra

| <b>F.V.</b>         | <b>SC</b>    | <b>Gl</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>p-valor</b> |
|---------------------|--------------|-----------|-----------|----------|----------------|
| <b>Tratamientos</b> | 40,00        | 1         | 40,00     | 6,40     | 0,0353         |
| <b>Error</b>        | 50,00        | 8         | 6,25      |          |                |
| <b>Total</b>        | <b>90,00</b> | <b>9</b>  |           |          |                |
| <b>CV (%)</b>       |              |           |           | 2,81     |                |

En la Figura 7, se observa la evaluación final realizada a los 80 días de la siembra del experimento, donde se puede resaltar, los resultados obtenidos por el T3 (78 dS/m) con una media de germinación del 91% y también del T2 (96 dS/m) con la mayor conductividad eléctrica, logró obtener una germinación del 87%, marcando de esta manera una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos con el mayor estrés por salinidad.



**Figura 7.** Porcentaje de germinación de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) al día 80 de evaluación

Los resultados obtenidos en el presente estudio, están en desacuerdo, pero a la vez satisfactorios, con lo expresado por Bazzigalupi *et al.* (2008), quienes proponen que al llevar a cabo programas de selección basados en la germinación bajo estrés salino con NaCl, sería apropiado emplear potenciales inferiores a -0,62 MPa (12 dS/m-1), y sugieren que soluciones con -1 MPa (18 dS/m-1) serían adecuadas para obtener una presión de selección eficiente.

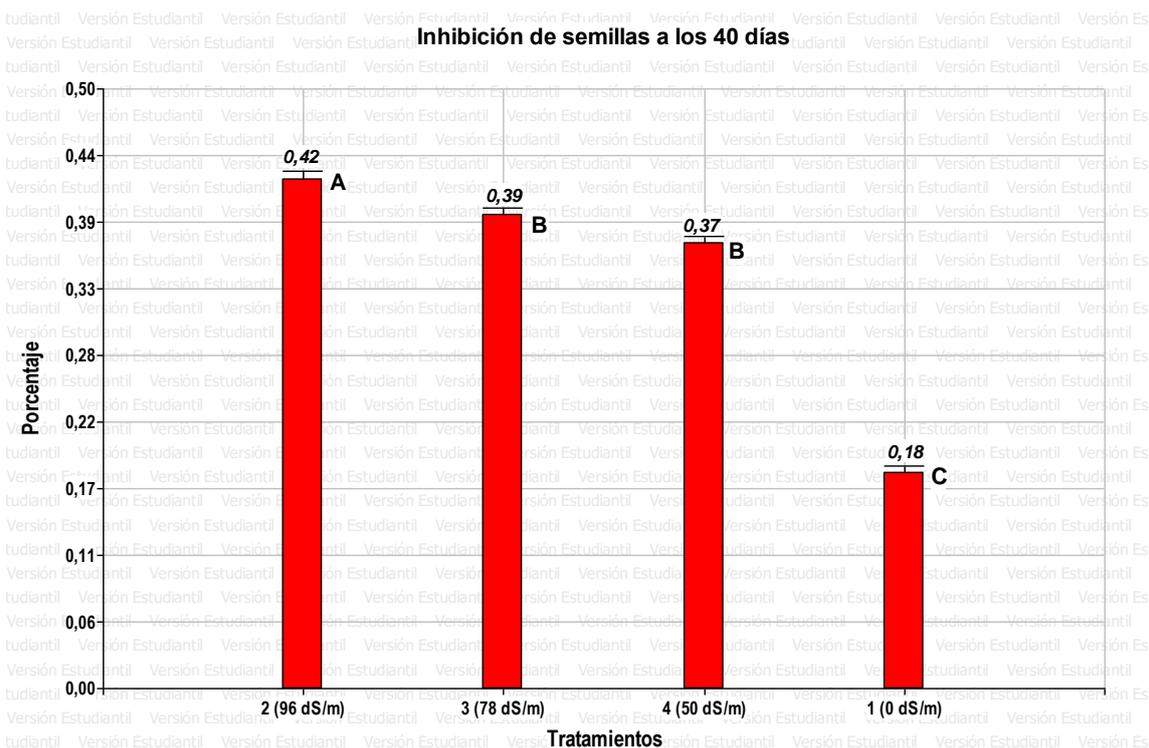
### Porcentaje de inhibición

Los resultados del análisis de varianza indican un efecto significativo de la salinidad del agua de mar en la inhibición del porcentaje de germinación de las semillas de café. La Tabla 11 presenta el análisis de varianza (ANOVA) de esta variable, evidenciando diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, respaldadas por un p-valor de <0,0001. Además, el ANOVA revela un coeficiente de variación en esta variable, con un valor de 3,98%.

**Tabla 11.** Análisis de varianza para la variable porcentaje de inhibición en semillas de café robusta evaluada a los 40 días posteriores a la siembra

| F.V.                | SC          | GI        | CM      | F      | p-valor |
|---------------------|-------------|-----------|---------|--------|---------|
| <b>Tratamientos</b> | 0,18        | 3         | 0,06    | 331,59 | <0,0001 |
| <b>Error</b>        | 3,0E-03     | 16        | 1,9E-04 |        |         |
| <b>Total</b>        | <b>0,19</b> | <b>19</b> |         |        |         |
| <b>CV (%)</b>       |             |           |         | 3,98   |         |

En la Figura 8, se muestran los resultados de la variable de inhibición de la semilla. Se observa que T1 exhibe la media más baja, con un 0,18% de inhibición, mientras que T2 (96 dS/m) presenta el mayor grado de inhibición, alcanzando un 0,42%. Los tratamientos T3 (78 dS/m) y T4 (50 dS/m) muestran porcentajes intermedios, con valores de 0,39% y 0,37%, respectivamente. A pesar de estas variaciones, el análisis de letras comunes no revela diferencias significativas entre las medias, sugiriendo que los tratamientos no difieren de manera significativa en relación con la variable medida.



**Figura 8.** Porcentaje de inhibición de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) al día 40 de evaluación

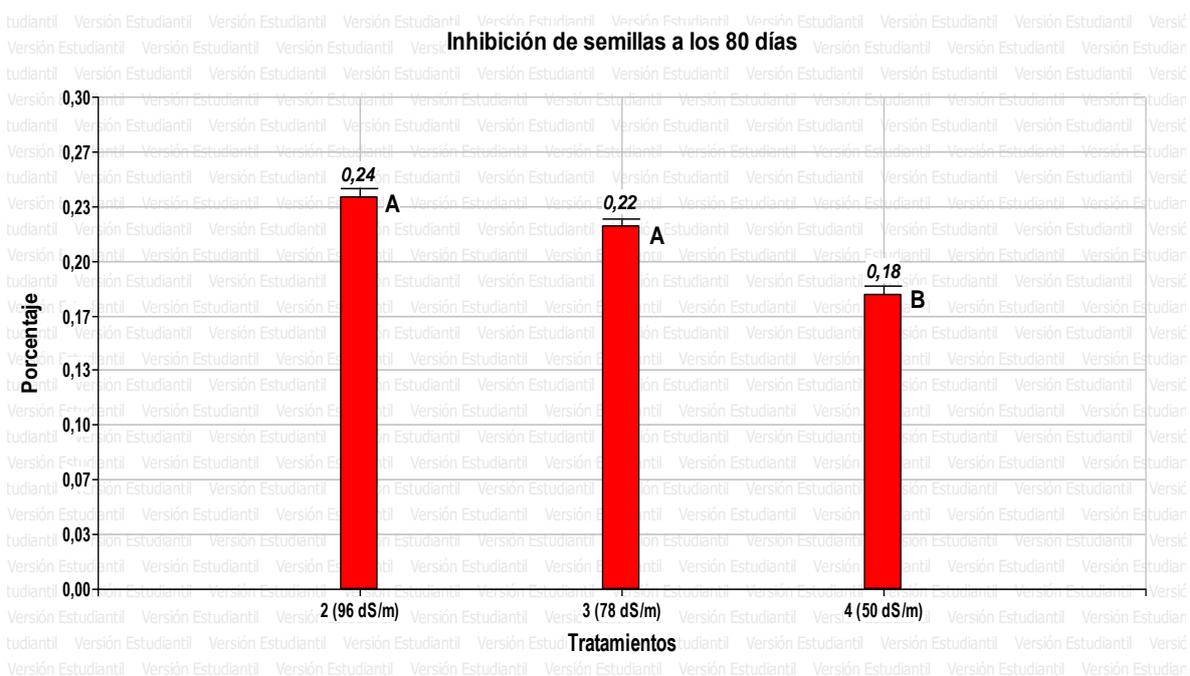
De acuerdo con la Tabla 12, en el análisis de varianza (ANOVA) de evaluación a los 80 días, se observa que existe un efecto significativo en el porcentaje de inhibición, considerando que los diferentes tratamientos con agua de mar, muestran diferencias estadísticas

significativas entre sí, lo que se ve reflejado en p-valor igual a  $<0,0001$ . También podemos notar la presencia de un coeficiente de variación acorde al ambiente controlado utilizado para el presente experimento, con un valor de 5,49%.

**Tabla 12.** Análisis de varianza para la variable porcentaje de inhibición en semillas de café robusta evaluada a los 80 días posteriores a la siembra

| F.V.                | SC      | Gl | CM      | F     | p-valor   |
|---------------------|---------|----|---------|-------|-----------|
| <b>Modelo</b>       | 0,01    | 2  | 4,6E-03 | 33,62 | $<0,0001$ |
| <b>Tratamientos</b> | 0,01    | 2  | 4,6E-03 | 33,62 | $<0,0001$ |
| <b>Error</b>        | 1,6E-03 | 12 | 1,4E-04 |       |           |
| <b>Total</b>        | 0,01    | 14 |         |       |           |

En la Figura 9, se muestran los resultados de la variable inhibición de la semilla, en la cual se puede notar que el T2 (96 dS/m) con esta CE, fue el tratamiento que provocó la mayor inhibición de la semilla con un valor 0,24%, seguido de T3 (78 dS/m) con un 0,22% de inhibición, pero se puede notar que ambos tratamientos fueron estadísticamente iguales, a diferencia de T4 (50 dS/m) quien presenta, una menor inhibición con un valor de 0,18%, provocando una diferencia estadística significativa en comparación con T2 y T3.



**Figura 9.** Porcentaje de inhibición de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) al día 80 de evaluación

Al respecto, en un estudio realizado por Vilorio & Natera (2011), en la Relación entre la conductividad eléctrica, pH del agua de remojo, germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo dos condiciones experimentales, las mediciones de conductividad eléctrica revelaron variaciones entre los lotes, y se observó una correspondencia entre valores elevados de CE y porcentajes más bajos de germinación en las pruebas de envejecimiento, especialmente en los lotes de Sefloarca 91 (2003), Himeca 95 (2002 y 2003), y Pioneer 3031 (2002 y 2003). En general, la germinación de las semillas disminuye a medida que aumenta la concentración de sal. Sin embargo, esta respuesta puede variar entre especies y dependiendo de otros factores ambientales (Ruiz M, 2012).

### **Longitud radicular**

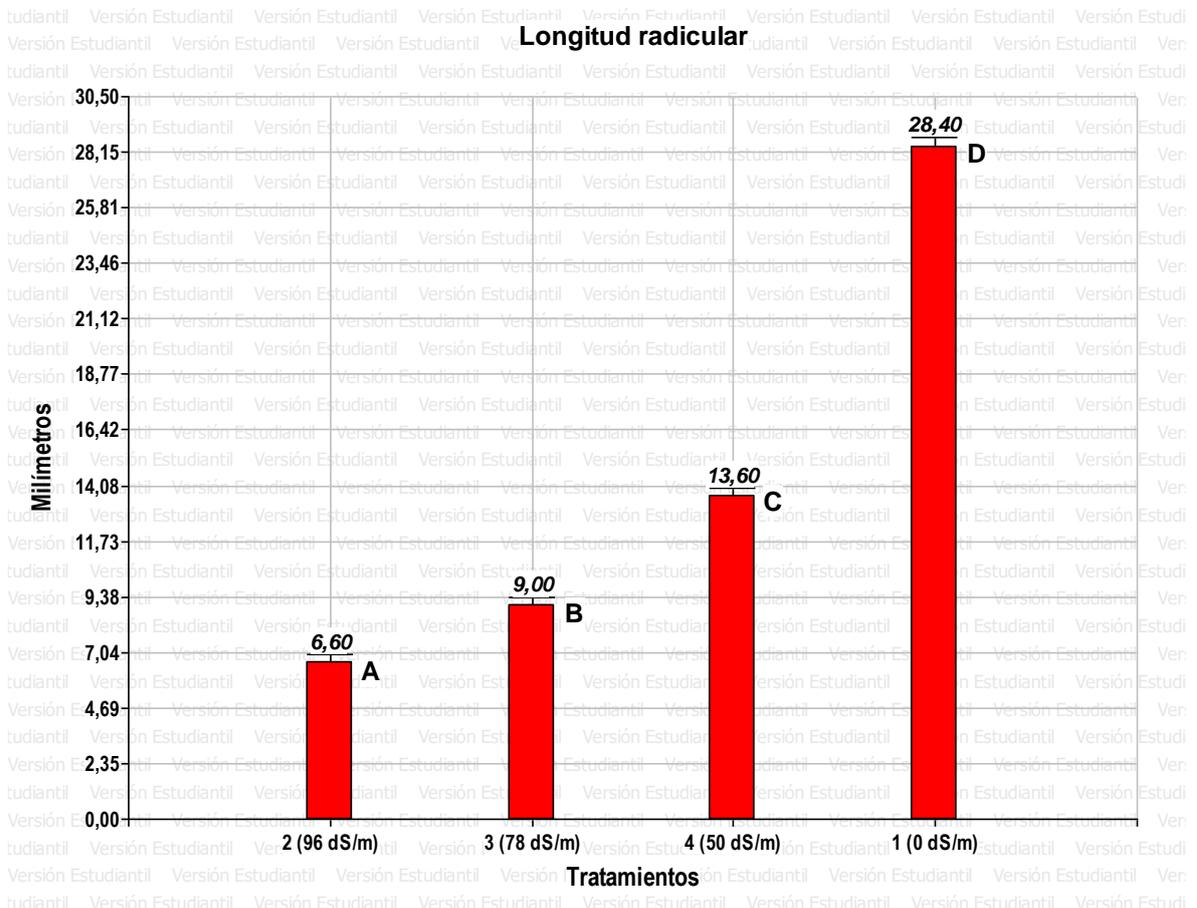
El análisis de varianza de la longitud de la raíz bajo diferentes niveles de conductividades eléctricas exhibió diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, con un p-valor de <0,0001, según se detalla en la Tabla 7. Además, en el ANOVA se presenta el coeficiente de variación con un valor de 5,38%.

**Tabla 13.** Análisis de varianza de longitud radicular evaluado hasta 80 días posteriores a la siembra

| <b>F.V.</b>         | <b>SC</b>      | <b>Gl</b> | <b>CM</b> | <b>F</b>     | <b>p-valor</b> |
|---------------------|----------------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| <b>Tratamientos</b> | 1433,20        | 3         | 477,73    | 796,22       | <0,0001        |
| <b>Error</b>        | 9,60           | 16        | 0,60      |              |                |
| <b>Total</b>        | <b>1442,80</b> | <b>19</b> |           |              |                |
| <b>CV(%)</b>        |                |           |           | <b>5,38%</b> |                |

En la Figura 4, se presenta la longitud radicular de las semillas de café robusta, la cual se vio notablemente afectada por las variaciones en las conductividades eléctricas investigadas. Los resultados revelan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. En detalle, las longitudes radiculares más reducidas fueron registradas en los tratamientos con 96 dS/m (T2), con un valor de 6,6 mm, seguido por 78 dS/m (T3) con 9 mm de longitud. Por otro lado, los tratamientos con las longitudes radiculares más extensas fueron 50 dS/m (T4), con 13,6 mm, y el testigo (0 dS/m), que presentó la mayor longitud radicular con un valor de

28,40 mm. Estos resultados ofrecen una base sólida para la comprensión y discusión del impacto de las condiciones salinas en el desarrollo radicular de las semillas de café.



**Figura 10.** Longitud radicular de semillas de café robusta (*Coffea canephora*) evaluadas hasta los 80 días posteriores a la siembra

Lo obtenido en la variable longitud de raíz, coincide con el estudio realizado por García *et al.* (2015), quienes examinaron cómo la salinidad impactó en la acumulación de biomasa en las raíces y hojas de los siete genotipos de cebolla estudiados. Se observó que la salinidad afectó de manera más significativa a la acumulación de biomasa, más en las raíces que en las hojas, y se identificó que los genotipos 'Texas 502' y 'Granex 429' exhibieron la mayor y menor susceptibilidad al estrés salino, respectivamente. Sin embargo, en la investigación llevada a cabo por Goykovic *et al.*, (2014), los resultados indican que, aunque las sales suelen afectar negativamente la longitud radicular, los tratamientos con 38,1 dS/m y 23,2 dS/m mostraron impactos positivos. En particular, el tratamiento con 38,1 dS/m reveló un crecimiento radicular de 16,75 mm, mientras que el de 23,2 dS/m mostró una longitud de

75,81 mm, estos resultados sugieren que ciertas concentraciones de sales podrían favorecer el crecimiento radicular.

### **Días de germinación**

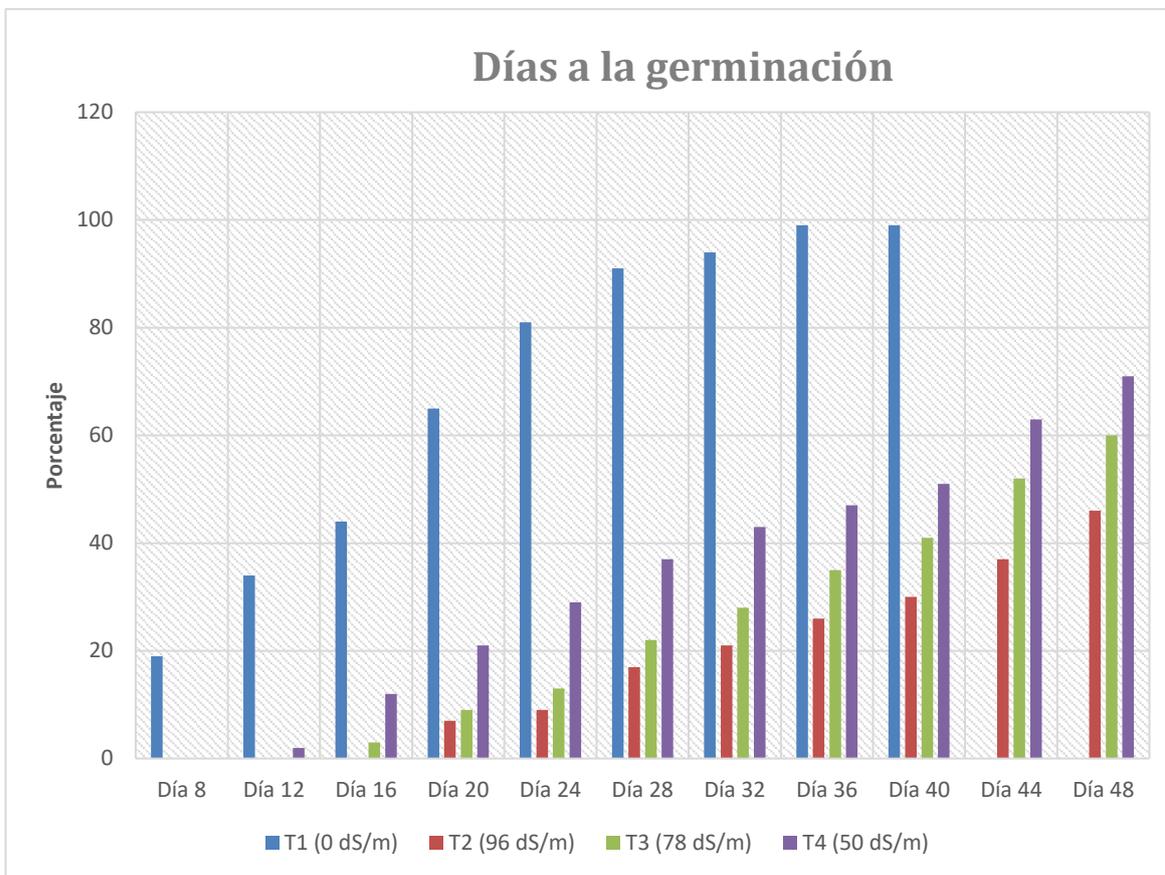
Explorando los días de germinación en relación con los distintos tratamientos, la Figura 11 resalta una variabilidad considerable en los tiempos necesarios para la emergencia de plántulas. El tratamiento T1, con una conductividad eléctrica (CE) de 0 dS/m y riego exclusivo con agua destilada, mostró un patrón de germinación más rápido, con plántulas emergiendo alrededor del día 8 y estabilizándose en el día 28. Este resultado sugiere que la ausencia de sales y minerales adicionales en el agua destilada podría haber proporcionado un entorno óptimo para la germinación temprana y uniforme.

En contraste, el T4, con una CE de 50 dS/m y una composición de riego compuesta por un 60% de agua marina y un 40% de agua destilada, también demostró una germinación rápida. Las plántulas en este tratamiento comenzaron a emerger en el día 12 y se estabilizaron en el día 32. Este resultado es intrigante, ya que la combinación de agua marina y agua destilada parece haber favorecido condiciones propicias para la germinación, a pesar de una CE relativamente alta.

En cambio, los tratamientos T3 y T2, con CE de 78 dS/m y 96 dS/m, respectivamente, presentaron una germinación más lenta. T3, compuesto por un 70% de agua marina y un 30% de agua destilada, mostró una progresión gradual con estabilización alrededor del día 40. T2, con un 80% de agua marina y un 20% de agua destilada, exhibió un patrón similar, estabilizándose en el día 44, sugiriendo una posible inhibición de la germinación en presencia de mayores concentraciones de sales y minerales.

La influencia de la conductividad eléctrica en los días de germinación revela un patrón interesante; aunque el agua destilada (T1) y la combinación específica de agua marina (T4) estimularon una germinación más rápida, las formulaciones con niveles más elevados de sales y minerales (T3 y T2) mostraron periodos de germinación prolongados. Los resultados obtenidos en este estudio enfatizan la relevancia de la composición del agua de riego en el proceso de germinación de las semillas de café Robusta y destacan la importancia de

consideraciones específicas de la CE en las prácticas agronómicas para optimizar este proceso.



**Figura 11.** Días a la germinación de las semillas de café robusta

### Índice de velocidad de germinación

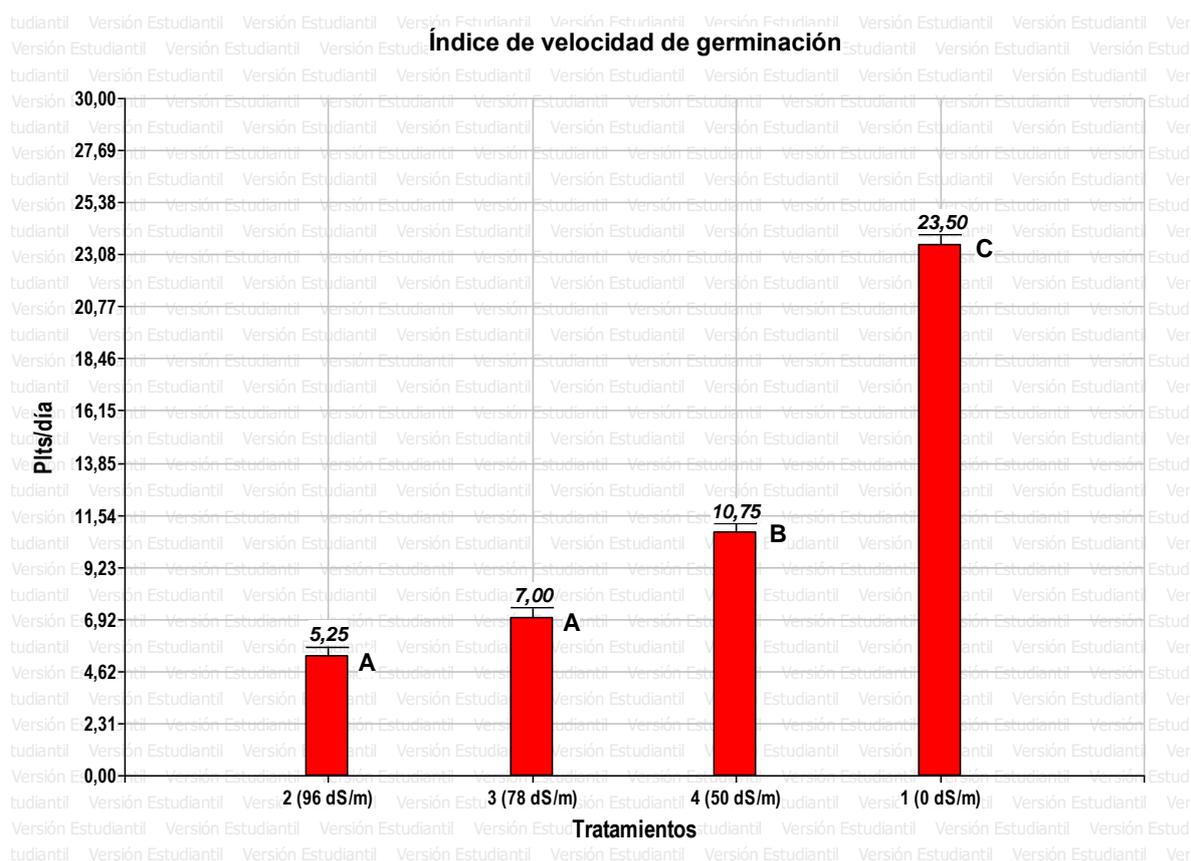
Según la Tabla 14, el análisis de varianza revela diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en relación con el índice de velocidad de germinación. El ANOVA también determinó un coeficiente de variación del 8,50%. Los resultados encontrados sugieren firmemente que las variadas conductividades eléctricas ejercen un efecto sustancial en la velocidad de germinación del café.

**Tabla 14.** Análisis de varianza para la variable índice de velocidad de germinación evaluado hasta 80 días posteriores a la siembra

| F.V.         | SC      | Gl | CM     | F      | p-valor |
|--------------|---------|----|--------|--------|---------|
| Tratamientos | 1019,06 | 3  | 339,69 | 347,84 | <0,0001 |

|              |              |    |      |
|--------------|--------------|----|------|
| <b>Error</b> | 15,63        | 16 | 0,98 |
| <b>Total</b> | 1034,69      | 19 |      |
| <b>CV(%)</b> | <b>8,50%</b> |    |      |

La Figura 12, respaldada por el Test de Tukey con un nivel de significancia del 0,05, proporciona detalles sobre las disparidades entre los tratamientos. Las medias de los Tratamientos 2 (96 dS/m) y 3 (78 dS/m), con velocidades de germinación promedio de 5,25 y 7,00 plts/día, respectivamente, no exhiben diferencias significativas entre sí. Sin embargo, en comparación con el testigo, se observa una notable desaceleración en la velocidad, con diferencias de 18.25 y 16.50 plts/día, respectivamente. Estos resultados evidencian claramente cómo ciertas conductividades eléctricas favorecen tasas de germinación similares, mientras que otras conducen a resultados significativamente diferentes.



**Figura 12.** Índice de velocidad de germinación del café robusta (*Coffea canephora*) evaluado al día 30 de la siembra del experimento

Comparando estos resultados con los obtenidos por Ortiz (2022), en su estudio de ‘Efecto de diferentes conductividades eléctricas en la germinación de semillas de maíz (*Zea mays*)’,

nos damos cuenta que sus resultados no revelan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, pero se puede resaltar la relevancia de las conductividades eléctricas en el proceso de germinación. Este autor destaca que la exposición a niveles elevados de conductividad eléctrica podría potencialmente fortalecer la resistencia de las semillas ante condiciones de salinidad del suelo. Estos hallazgos poseen una implicación significativa para la agricultura en zonas con suelos salinos, ya que la exposición a altas conductividades eléctricas podría mejorar la capacidad de las semillas para germinar y prosperar en dichas condiciones adversas. Mientras que, De La Rosa (2022), sostiene que la conductividad eléctrica (CE) influyó de manera notable en el porcentaje de germinación como en la supervivencia de las semillas. Se evidenció que a medida que la conductividad eléctrica aumentaba, se registraba una disminución en el índice de velocidad de germinación (IVG).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### *Conclusiones*

Según los objetivos establecidos, se concluye que:

- Los tratamientos con conductividades eléctricas de 50 dS/m y 78 dS/m se destacaron por las tasas de germinación más altas alcanzando un 91 y 87% de germinación a los 80 días de la evaluación, evidenciando una notable resistencia al estrés salino.
- La conductividad eléctrica que reveló el mejor desarrollo embrionario y radicular fue 50 dS/m que alcanzó 13,60 mm a los 80 días de evaluación, destacando el aspecto del desarrollo embrionario bajo la incidencia de altas concentraciones salinas.
- Los resultados del índice de velocidad de germinación señalan que las conductividades eléctricas de 50 dS/m y 78 dS/m lograron una velocidad de germinación de 10.75 y 7.00 plts/día, pero debemos destacar que 96 dS/m logró una velocidad de 5.25 plts/día.

### *Recomendaciones*

- En base a los resultados de este estudio, se recomienda utilizar una CE de 50 dS/m para lograr una germinación de 91% y un desarrollo radicular de 13,60 mm a los 80 días de evaluación, además porque se logra una inhibición de 0,18% en semillas de café robusta.
- Se sugiere realizar más estudios para comprender mejor los mecanismos por los cuales la semilla de café logra germinar en conductividades eléctricas de 96 dS/m.
- Vincular los resultados obtenidos en esta investigación a los agricultores cafetaleros de la Provincia de Santa Elena.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta García, D. V., 2017. Adaptación de dos variedades de café robusta (*Coffea canephora*) con fuentes diferentes de fertilizantes en el primer año del cultivo.. *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR - QUITO*, pp. 17 - 65.
- Anacafé, 2015. El cafetal la revista del caficultor. *Anacafé*, Issue 41.

Arcila P., J., 1990. VII CURSO REGIONAL SOBRE FUNDAMENTOS DE LA CAFICULTURA MODERNA. En: *Aspectos fisiológicos de la producción de café*. Catie, Turrialba, Costa Rica: IICA - PROMECAFE, pp. 4-160.

Arcila P., J. y otros, 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. *FNC - Cenicafé*, pp. 88-94.

Bazzigalupi, O., M. Pistorale, S. & N. Andrés, A., 2008. Tolerancia a la salinidad durante la germinación de semillas provenientes de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *Ciencia e Investigación AGRARIA*, Issue 35(3): 277-285. , pp. 1-9.

Arizaleta, M. and Montilla, J. (2005) 'Efecto del almacenamiento de las semillas de cafeto (*Coffea arabica* L. var. Catuai amarillo) sobre la emergencia', *Rev. Fac. Agron.* [Preprint].

Busso, C., 2018. Botánica experimental. Germinación de cuatropastos bajo condiciones de estrés salino. *Botánica experimental*, Volumen 87, p. 2.

Café, A. N. D., 2016. Manual técnico para la producción de café robusta. *Anacafé*, pp. 14 - 19.

Cañón Hernández, M., 2018. DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS EN UN CULTIVO DE CAFÉ, EN ETAPA PRODUCTIVA, CON BASE EN EL CONOCIMIENTO DEL BALANCE HÍDRICO.. *Cohorte XII*, pp. 5 - 76.

Calderón Escudero, D.S. (2017) *Incremento de la producción y consumo del café robusta en Colombia*. Fundación Universidad de América.

Campos, N.A., Panis, B. and Carpentier, S.C. (2017) 'Somatic Embryogenesis in Coffee: The Evolution of Biotechnology and the Integration of Omics Technologies Offer Great Opportunities', *Frontiers in Plant Science*, 8. Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01460> (Accessed: 14 January 2024).

Castillo, C. et al. (2022) *Análisis de los efectos del estrés salino por uso excesivo de fertilizantes de síntesis química en el cultivo de café (coffea arabica L.) mediante una recopilación bibliográfica*. Universidad de Cundinamarca. Available at: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-cundinamarca/genetica-vegetal/pis-salinidad-cafe/30493037> (Accessed: 15 January 2024).

Cortijo, J. D., 2017. *Infocafés*. [En línea] Available at: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/cafe.pdf> [Último acceso: 02 Diciembre 2022].

Cuenca Cabrera, E. A., 2020. *Fenología del cafeto (Coffea arabica L.) en tres sitios de producción cafetalera de Malacatos, Chaguarpamba y Zapotepamba de la provincia de Loja*, Loja - Ecuador: Dspace.

Cun Sarez, M.G. (2021) ‘Evaluación de la adaptabilidad de café robusta variedad conilón “coffea canephora pierre ex froenher” en la granja experimental santa inés”’. Available at: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16551> (Accessed: 15 January 2024).

De La Rosa Bejeguen, A.L. (2022) *Evaluación de semillas de Café Robusta Ecurobusta 01 en diferentes concentraciones de agua de Mar Bajo condiciones controladas*. BachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2022. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8815> (Accessed: 15 January 2024).

Eira, M.T.S. *et al.* (2006) ‘Coffee seed physiology’, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), pp. 149–163. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100011>.

Farfan Valencia, F., 2013. Establecimiento de sistemas agroforestales con café. *Cenicafé*, 2(18), pp. 44 - 63.

Fernández , F., 2017. Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo del cultivo de café robusta (*Coffea canephora*). *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)*, pp. 55-140.

Fernández, R. (2019) ‘Del mar al campo: El potencial del agua de mar para el riego de cultivos’, *Agroecology SL*, 15 May. Available at: <https://agroecologysl.com/del-mar-al-campo-el-potencial-del-agua-de-mar-para-el-riego-de-cultivos/> (Accessed: 15 January 2024).

Flórez Ramos, C. P. y otros, 2013. Estructura y funcionamiento de la planta de café. *El cafetero*, Volumen I, pp. 123 - 168.

García, G., García, M. and Ramirez, H. (2015) ‘Comportamiento de siete cultivares de *Allium cépa* L. ante diferentes niveles de estrés salino’, 27(2), pp. 93–102.

Gómez , G., 2020. CULTIVO Y BENEFICIO DEL CAFÉ. *Revista de Geografía Agrícola*, Issue 45, pp. 103 - 193.

Gómez, C., González, R. & Viruela, R., 2010. CONDUCTIVIDAD DE LAS DISOLUCIONES ELECTROLITICAS. *UNIVERSIDAD DE VALENCIA*, pp. 2-8.

González Montenegro, C. E., 2020. *Efecto de diferentes concentraciones de agua de mar en el crecimiento y germinación de semillas híbridas de melón (Cucumis melo L.)*. [En línea] Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5691/1/UPSE-TIA-2021->

0010.pdf

[Último acceso: 2023].

Goykovic Cortés, V., Nina Alanoca, P. and Calle Llave, M. (2014) 'Efecto de la salinidad sobre la germinación y crecimiento vegetativo de plantas de tomate silvestres y cultivadas', *Interciencia*, 39(7), pp. 551–517.

Intagri (2017) *Bioestimulación de la Floración en Cultivos Hortofrutícolas*. Available at: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bioestimulacion-de-la-floracion-en-cultivo-hortofruticolas> (Accessed: 15 January 2024).

IICA, 2019. Manual de producción sostenible de café en la Republica Dominicana. *IICA*, Volumen IV, p. 104.

Jativa Reyes, M., 2014. Manejo de café robusta en la zona amazónica. *INIAP*, Issue 27.

Lamz Piedra, A. & González Cepero, M. C., 2013. LA SALINIDAD COMO PROBLEMA EN LA AGRICULTURA: LA MEJORA VEGETAL UNA SOLUCIÓN INMEDIATA. *Cultivos tropicales*, Vol. 34(4), pp. 31 - 42.

Morales Quilumbaquin, R. R., 2013. RESPUESTA DE DOS FITOHORMONAS EN TRES TIPOS DE SUSTRATO. *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL* , pp. 25-105.

Ortiz Zambrano, R.C. (2022) *Efecto de diferentes conductividades eléctricas en la germinación de semillas de maíz Zea mays en Santa Elena, Ecuador*. BachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2022. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8775> (Accessed: 15 January 2024).

Paredes, G., Peña, C. and Jadán, M. (2013) 'Obtención de embriones en fase cotiledonar de Café Robusta (*Coffea canephora*) con el empleo de un sistema de inmersión temporal, mediante la técnica de embriogénesis somática a partir de segmentos foliares', *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 34(1–2), pp. 63–83. Available at: <https://doi.org/10.26807/remcb.v34i1-2.236>.

Ramírez Builes, V. H., 2014. *La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones*. Manizales, Caldas, Colombia : Centro Nacional de Investigaciones de café - Cenicafé.

Riviello Cogco, E. *et al.* (2021) 'Maduración y germinación de embriones somáticos de *Coffea arabica* CV. Colombia', *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(2), p. 161. Available at: <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.161>.

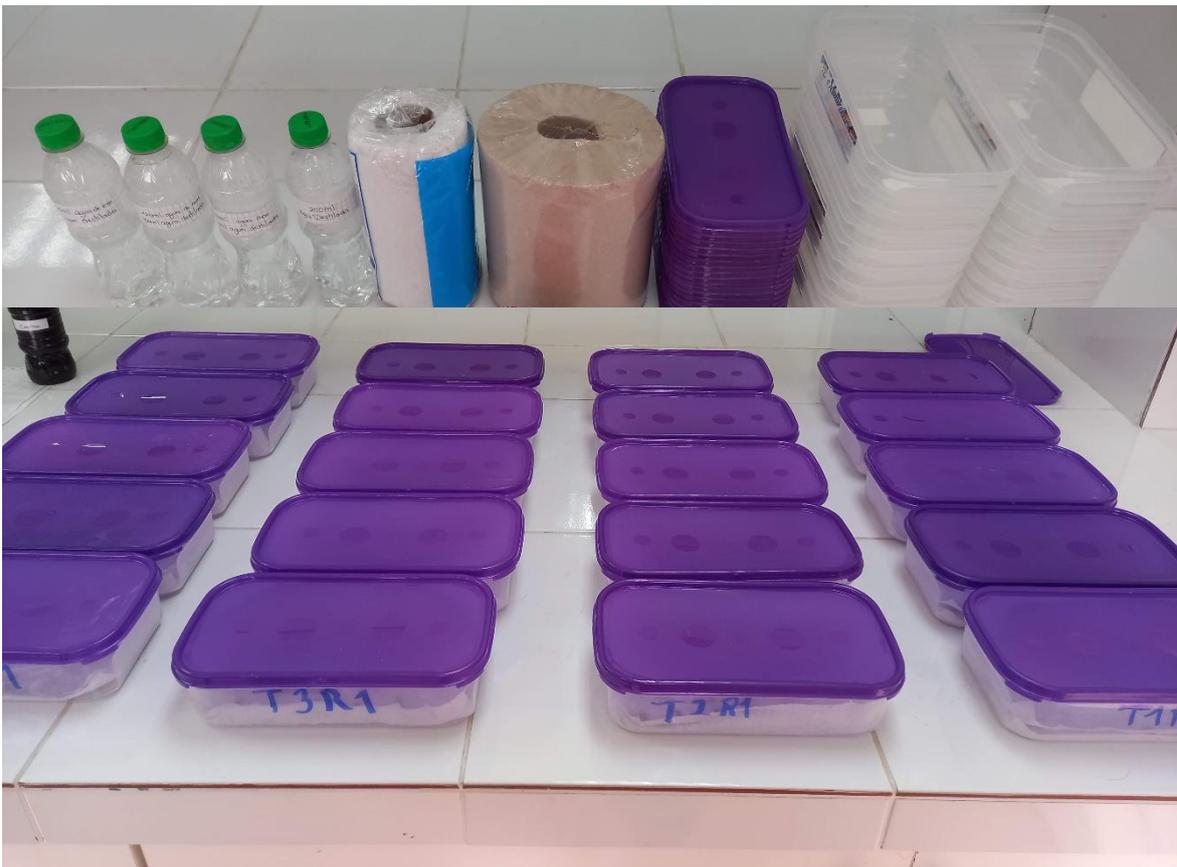
Rojo Jiménez, E., 2014. Café I (G. *Coffea*). *Reduca*, Issue 113-132, pp. 2 - 20.

- Ruiz M, O.T. (2012) ‘Germination of four grasses under salt stress’, *Phyton*, 81(1), pp. 169–176. Available at: <https://doi.org/10.32604/phyton.2012.81.169>.
- Sadeghian, S., 2021. Nutrición de cafetales. *Cenicafé*, Volumen III, pp. 2-16.
- Sánchez Guano, J.C. (2020) *Evaluación del rendimiento productivo de cinco clones de café robusta (Coffea canephora) en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA), Arosemena Tola*. BachelorThesis. Universidad Estatal Amazónica. Available at: <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/733> (Accessed: 14 January 2024).
- Sánchez Jhong, K.J., Cabrera Pintado, R. and D, J.J. (2019) ‘Inducción de embriogénesis somática a partir de explantes foliares en tres variedades de café’, *Scientia Agropecuaria*, 10(2), pp. 259–264. Available at: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.11>.
- Sánchez Tomalá, R.D. (2022) *Estudio de enmiendas aplicadas al agua de riego, para ser utilizada en café robusta Coffea canephora, en la etapa de vivero en Manglaralto, Santa Elena*. BachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8807> (Accessed: 15 January 2024).
- Tomalá Ramírez, J.L. (2017) *Análisis económico de la producción de café robusta (Coffea canephora p) en el centro de prácticas Manglaralto a partir del primer año de producción*. BachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2017. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/3961> (Accessed: 14 January 2024).
- Velásquez O., R. A., 2019. Guía de variedades de café Guatemala. *Asociación Nacional del Café, Anacafé*, Volumen II, p. 48.
- Vera Veintimilla, R.I. (2022) *Comportamiento agronómico de materiales de café robusta, Coffea canephora, tolerantes al estrés hídrico bajo condiciones de marchitez permanente*. BachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7575> (Accessed: 15 January 2024).
- Vignola, R. et al. (2018) ‘Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de café en Costa Rica’. CATIE.
- Viloria, H. and Méndez Natera, J.R. (2011) ‘Relación entre la conductividad eléctrica, pH del agua de remojo, germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (Zea mayz L.) bajo dos condiciones experimentales’, *Scientia Agropecuaria*, 2(4), pp. 123–228.

## ANEXOS



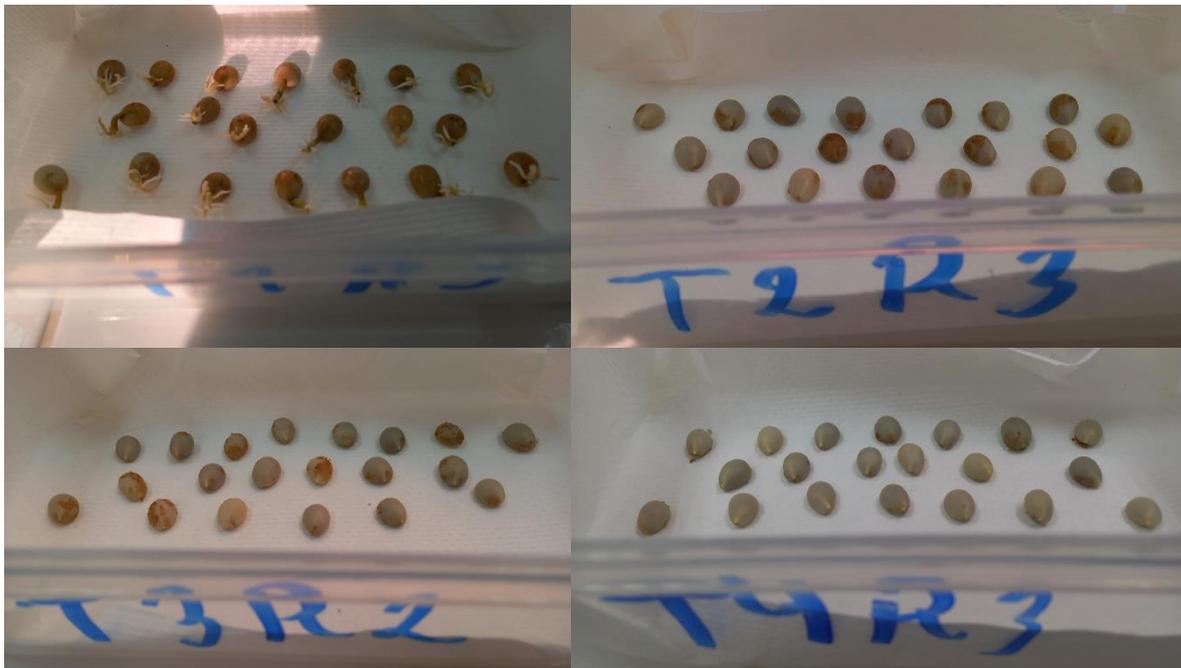
**Imagen 1A.** Desinfección de semillas y esterilización de materiales



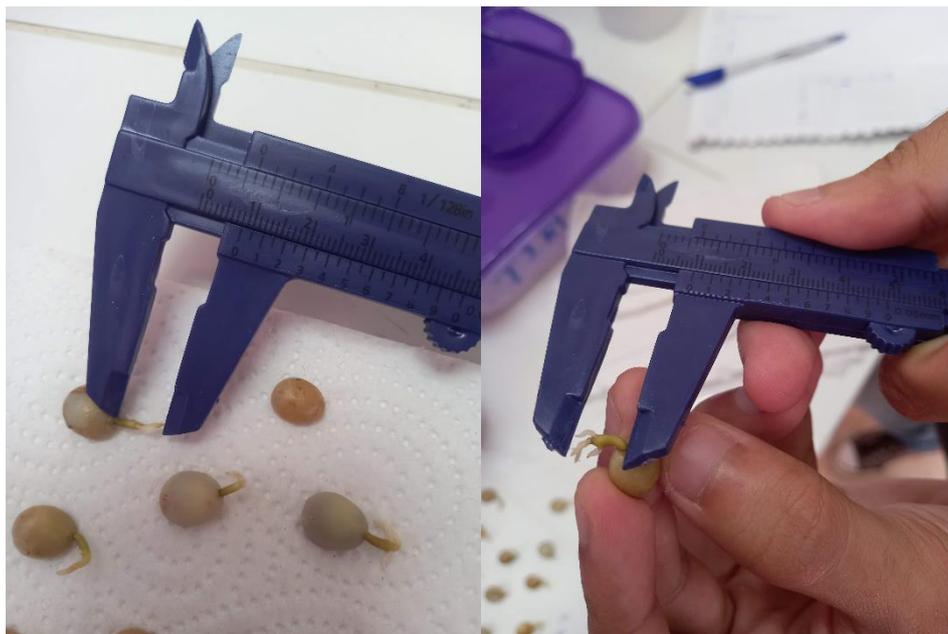
**Imagen 2A.** Establecimiento de las semillas en las tarrinas herméticas



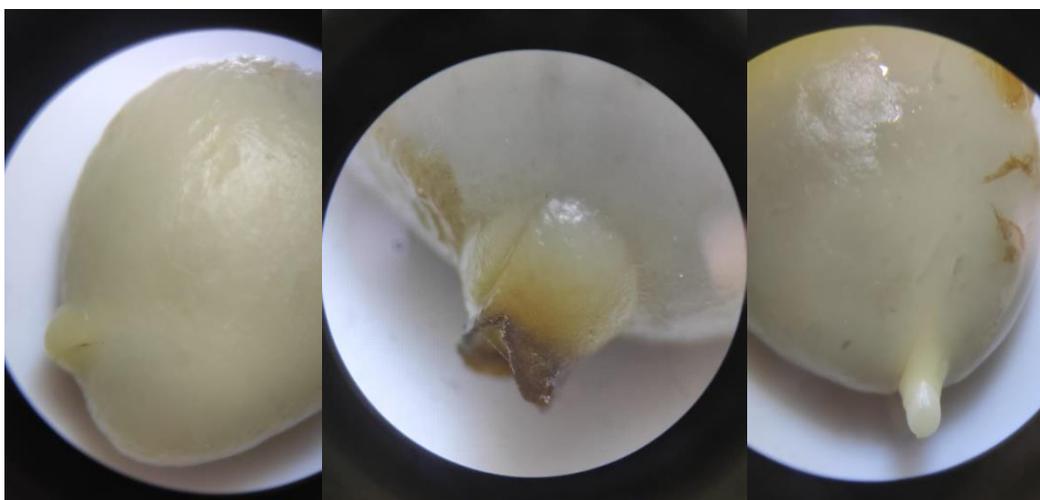
**Imagen 4A.** Riego de semillas con 10 ml de cada solución correspondiente al tratamiento



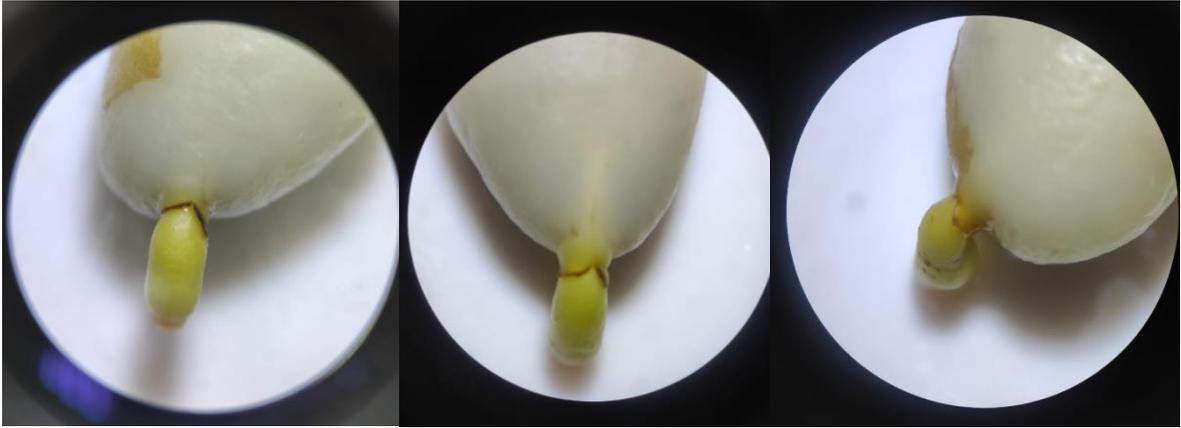
**Imagen 3A.** Evaluación de la germinación de cada tratamiento y repetición



**Imagen 5A.** Evaluación de la longitud radicular en semillas del T1



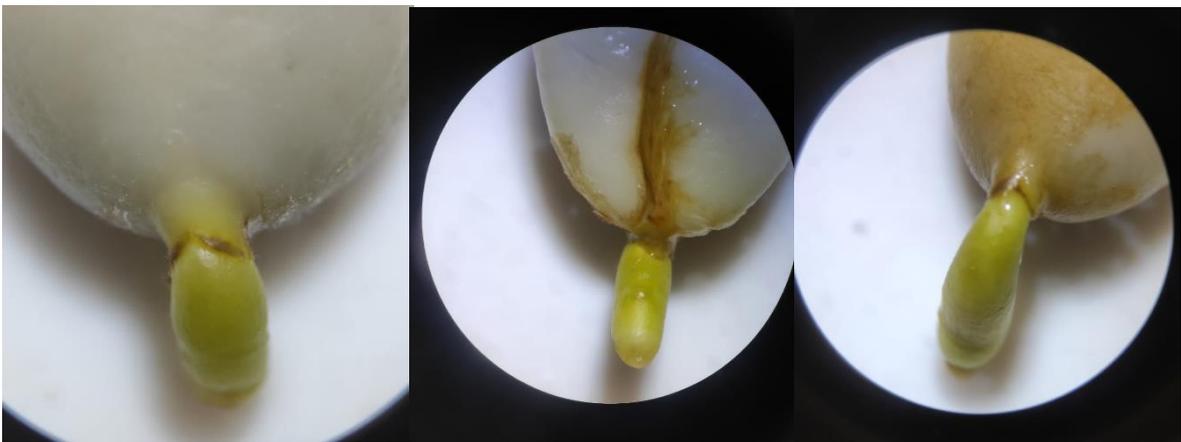
**Imagen 6A.** Proceso de germinación del Tratamiento 2 (96 dS/m) a los 25 días de evaluación



**Imagen 7A.** Proceso de germinación del Tratamiento 2 (96 dS/m) a los 50 días de evaluación



**Imagen 8A.** Proceso de germinación del Tratamiento 3 (78 dS/m) a los 35 días de evaluación



**Imagen 9A.** Proceso de germinación del Tratamiento 3 (78 dS/m) a los 80 días de evaluación



**Imagen 10A.** Proceso de germinación del Tratamiento 4 (50 dS/m) a los 50 días de evaluación



**Imagen 11A.** Proceso de germinación del Tratamiento 4 (50 dS/m) a los 80 días de evaluación



**INFORME DE ANALISIS DE AGUAS**

| DATOS DEL PROPIETARIO |                   | DATOS DE LA PROPIEDAD |             | PARA USO DEL LABORATORIO |            |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------|--------------------------|------------|
| Nombre :              | CLEOTILDE ANDRADE | Nombre :              |             | Reporte Laborat. No. :   | 0          |
| Dirección :           | SANTA ELENA       | Provincia :           | Santa Elena | Responsable Muestreo :   | Cliente    |
| Ciudad :              | Santa Elena       | Cantón :              | Santa Elena | Fecha muestreo :         | 05/01/2023 |
| Teléfono :            | N/E               | Parroquia :           | Santa Elena | Fecha Ingreso :          | 20/01/2023 |
| Fax :                 | N/E               | Ubicación :           | Ancón       | Latitud :                |            |
|                       |                   |                       |             | Factura No. :            | 0          |
|                       |                   |                       |             | Fecha Análisis :         | 20/01/2023 |
|                       |                   |                       |             | Fecha Emisión :          | 25/01/2023 |
|                       |                   |                       |             | Longitud :               |            |

| N° Muest. Laborat. | Identificación del Lote | rnS/cm  |     | mg/l   |         |         |         |                 |                  |    |                 |    |  | (U.T.F.) Turbidéz | pH | (meq/l) <sub>2</sub> RAS | mg/l Dureza | CLASE |
|--------------------|-------------------------|---------|-----|--------|---------|---------|---------|-----------------|------------------|----|-----------------|----|--|-------------------|----|--------------------------|-------------|-------|
|                    |                         | CE      | TSD | Ca     | Mg      | Na      | K       | CO <sub>3</sub> | HCO <sub>3</sub> | Cl | SO <sub>4</sub> | Fe |  |                   |    |                          |             |       |
| 84                 | 200ml agua destilada    |         |     |        |         | 1.0 N   |         |                 |                  |    |                 |    |  |                   |    |                          |             |       |
| 85                 | 120ml agua de mar       | 50.0 R  |     | 27.0 N | 310.0 R | 3000. R | 175.0 R |                 |                  |    |                 |    |  |                   |    |                          | < L.C. N    |       |
| 86                 | 140ml agua de mar       | 78.0 R  |     | 46.0 N | 384.0 R | 3100. R | 190.0 R |                 |                  |    |                 |    |  |                   |    |                          | 70.50 R     |       |
| 87                 | 160ml agua de mar       | 96.0 R  |     | 55.0 N | 440.0 R | 3600. R | 218.0 R |                 |                  |    |                 |    |  |                   |    |                          | 84.70 R     |       |
| 88                 | 200ml agua de mar       | 120.0 R |     | 81.0 N | 632.0 R | 0600 R  | 323.0 R |                 |                  |    |                 |    |  |                   |    |                          | 83.90 R     |       |
|                    |                         |         |     |        |         |         |         |                 |                  |    |                 |    |  |                   |    |                          | 86.20 R     |       |

**OBSERVACIONES:**

- En el caso de la: Conductividad eléctrica, Ca, Mg, K (de la muestra No. 84) su valor es = 0 (cero), aclaración que se realiza puesto que el Fertigrama no lo registra en el informe de resultados impreso.
- Por configuración del sistema y al tratarse de muestras atípicas, se reportan en cuadro anexo algunos parámetros:

| MUESTRA No. | RAS  | PSI  | Na (ppm) |
|-------------|------|------|----------|
| 84          | 0    | 0.0  | 1        |
| 85          | 70.5 | 51.1 | 6000     |
| 86          | 84.7 | 55.6 | 8100     |
| 87          | 83.9 | 55.4 | 8600     |
| 88          | 86.2 | 56.1 | 10600    |

| Patrones de Interpretación |          |                 |         |
|----------------------------|----------|-----------------|---------|
| CE                         | 0 - 3    | Cl              | 0 - 540 |
| TSD                        | 0 - 2000 | SO <sub>4</sub> | 0 - 960 |
| Ca                         | 0 - 200  | NO <sub>3</sub> | 0 - 31  |
| Mg                         | 0 - 61   | Fe              | 0 - 0   |
| Na                         | 0 - 69   | B               | 0 - 2   |
| K                          | 0 - 7    | pH              | 6 - 8   |
| CO <sub>3</sub>            | 0 - 3    | RAS             | 0 - 6   |
| HCO <sub>3</sub>           | 0 - 180  | Dureza          | 17 - 51 |

| INTERPRETACION      |  |
|---------------------|--|
| N                   | = Normal (Sin Restricciones en el uso)       |
| R                   | = Puede Causar Restricciones en el uso       |
| S                   | = pH<4.5 ó pH>8 Severa Restricción en el uso |
| <b>Para Dureza:</b> |  |
| B                   | = Blanda                                     |
| MoD                 | = Moderadamente Dura                         |
| MD                  | = Muy Dura                                   |

| Determinación: | Metodología       |
|----------------|-------------------|
| pH, CE         | Electrométrica    |
| K, Ca, Na, Mg  | Absorción Atómica |

| INTERPRETACION                       |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>Aguas Salinas</b>                 | <b>Aguas Sódicas</b>                         |
| C1 - Aguas de salinidad baja         | S1 - Aguas de contenido bajo de sodio        |
| C2 - Aguas de salinidad moderada     | S2 - Aguas medianas en sodio                 |
| C3 - Aguas de salinidad mediana alta | S3 - Aguas de contenido alto de sodio        |
| C4 - Aguas de salinidad alta         | S4 - Aguas de muy alto de contenido de sodio |
| C5 - Aguas de salinidad muy alta     |  |
| C6 - Aguas de salinidad excesiva     |  |

Responsable Dpto. Manejo de Suelos y Aguas

GRANJA EXPERIMENTAL CHUQUIPATA  
 Laboratorio de Suelos y Aguas  
 Responsable Laboratorio

NE: No Entrega  
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo  
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se ve a copiar que sea en su totalidad

**Imagen 12A.** Resultados del análisis de las distintas soluciones utilizadas en el experimento

## Porcentaje de germinación al día 30 de evaluación

### Análisis de la varianza

| Variable      | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------------|----|----------------|-------------------|-------|
| % Germinación | 20 | 0,97           | 0,96              | 11,01 |

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.         | SC       | Gl | CM      | F      | p-valor |
|--------------|----------|----|---------|--------|---------|
| Modelo       | 12333,75 | 3  | 4111,25 | 173,11 | <0,0001 |
| Tratamientos | 12333,75 | 3  | 4111,25 | 173,11 | <0,0001 |
| Error        | 380,00   | 16 | 23,75   |        |         |
| Total        | 12713,75 | 19 |         |        |         |

### Tratamientos

| <i>Tratamientos</i> | <i>Repeticiones</i> | <i>% Germinación a los 30 días</i> |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1                   | 1                   | 80                                 |
| 1                   | 2                   | 85                                 |
| 1                   | 3                   | 80                                 |
| 1                   | 4                   | 85                                 |
| 1                   | 5                   | 95                                 |
| 2                   | 1                   | 20                                 |
| 2                   | 2                   | 15                                 |
| 2                   | 3                   | 25                                 |
| 2                   | 4                   | 20                                 |
| 2                   | 5                   | 25                                 |
| 3                   | 1                   | 30                                 |
| 3                   | 2                   | 30                                 |
| 3                   | 3                   | 25                                 |
| 3                   | 4                   | 30                                 |
| 3                   | 5                   | 25                                 |
| 4                   | 1                   | 40                                 |
| 4                   | 2                   | 45                                 |
| 4                   | 3                   | 45                                 |
| 4                   | 4                   | 35                                 |
| 4                   | 5                   | 50                                 |

## Porcentaje de germinación al día 40 de evaluación

### Análisis de la varianza

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R<sup>2</sup></u> | <u>R<sup>2</sup> Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| % Germinación   | 20       | 0,98                 | 0,97                    | 7,97      |

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u>  | <u>SC</u> | <u>Gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo       | 13863,75  | 3         | 4621,25   | 238,52   | <0,0001        |
| Tratamientos | 13863,75  | 3         | 4621,25   | 238,52   | <0,0001        |
| Error        | 310,00    | 16        | 19,38     |          |                |
| Total        | 14173,75  | 19        |           |          |                |

### Tratamientos

| <i>Tratamientos</i> | <i>Repeticiones</i> | <i>% Germinación a los 40 días</i> |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1                   | 1                   | 100                                |
| 1                   | 2                   | 100                                |
| 1                   | 3                   | 95                                 |
| 1                   | 4                   | 100                                |
| 1                   | 5                   | 100                                |
| 2                   | 1                   | 30                                 |
| 2                   | 2                   | 25                                 |
| 2                   | 3                   | 35                                 |
| 2                   | 4                   | 30                                 |
| 2                   | 5                   | 30                                 |
| 3                   | 1                   | 45                                 |
| 3                   | 2                   | 40                                 |
| 3                   | 3                   | 40                                 |
| 3                   | 4                   | 35                                 |
| 3                   | 5                   | 45                                 |
| 4                   | 1                   | 45                                 |
| 4                   | 2                   | 50                                 |
| 4                   | 3                   | 55                                 |
| 4                   | 4                   | 45                                 |
| 4                   | 5                   | 60                                 |

## Porcentaje de germinación al día 50 de evaluación

### Análisis de la varianza

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R<sup>2</sup></u> | <u>R<sup>2</sup> Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| % Germinación   | 15       | 0,88                 | 0,86                    | 7,56      |

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u>  | <u>SC</u> | <u>Gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo       | 2110,00   | 2         | 1055,00   | 43,66    | <0,0001        |
| Tratamientos | 2110,00   | 2         | 1055,00   | 43,66    | <0,0001        |
| Error        | 290,00    | 12        | 24,17     |          |                |
| Total        | 2400,00   | 14        |           |          |                |

### Tratamientos

| <i>Tratamientos</i> | <i>Repeticiones</i> | <i>% Germinación a los 50 días</i> |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| 2                   | 1                   | 45                                 |
| 2                   | 2                   | 45                                 |
| 2                   | 3                   | 55                                 |
| 2                   | 4                   | 50                                 |
| 2                   | 5                   | 55                                 |
| 3                   | 1                   | 65                                 |
| 3                   | 2                   | 65                                 |
| 3                   | 3                   | 70                                 |
| 3                   | 4                   | 65                                 |
| 3                   | 5                   | 65                                 |
| 4                   | 1                   | 70                                 |
| 4                   | 2                   | 75                                 |
| 4                   | 3                   | 85                                 |
| 4                   | 4                   | 80                                 |
| 4                   | 5                   | 85                                 |

## Porcentaje de germinación al día 60 de evaluación

### Análisis de la varianza

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R<sup>2</sup></u> | <u>R<sup>2</sup> Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| % Germinación   | 15       | 0,92                 | 0,91                    | 4,94      |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.         | SC      | Gl | CM      | F     | p-valor |
|--------------|---------|----|---------|-------|---------|
| Modelo       | 2103,33 | 2  | 1051,67 | 70,11 | <0,0001 |
| Tratamientos | 2103,33 | 2  | 1051,67 | 70,11 | <0,0001 |
| Error        | 180,00  | 12 | 15,00   |       |         |
| Total        | 2283,33 | 14 |         |       |         |

**Tratamientos**

| <i>Tratamientos</i> | <i>Repeticiones</i> | <i>% Germinación a los 60 días</i> |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| 2                   | 1                   | 55                                 |
| 2                   | 2                   | 65                                 |
| 2                   | 3                   | 65                                 |
| 2                   | 4                   | 70                                 |
| 2                   | 5                   | 65                                 |
| 3                   | 1                   | 75                                 |
| 3                   | 2                   | 80                                 |
| 3                   | 3                   | 75                                 |
| 3                   | 4                   | 80                                 |
| 3                   | 5                   | 80                                 |
| 4                   | 1                   | 90                                 |
| 4                   | 2                   | 90                                 |
| 4                   | 3                   | 95                                 |
| 4                   | 4                   | 95                                 |
| 4                   | 5                   | 95                                 |

**Porcentaje de germinación al día 70 de evaluación****Análisis de la varianza**

| Variable      | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|---------------|----|----------------|-------------------|------|
| % Germinación | 15 | 0,85           | 0,83              | 3,80 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.         | SC     | Gl | CM     | F     | p-valor |
|--------------|--------|----|--------|-------|---------|
| Modelo       | 810,00 | 2  | 405,00 | 34,71 | <0,0001 |
| Tratamientos | 810,00 | 2  | 405,00 | 34,71 | <0,0001 |
| Error        | 140,00 | 12 | 11,67  |       |         |
| Total        | 950,00 | 14 |        |       |         |

**Tratamientos**

| <i>Tratamientos</i> | <i>Repeticiones</i> | <i>% Germinación a los 70 días</i> |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| 2                   | 1                   | 75                                 |
| 2                   | 2                   | 80                                 |
| 2                   | 3                   | 80                                 |
| 2                   | 4                   | 85                                 |
| 2                   | 5                   | 85                                 |
| 3                   | 1                   | 90                                 |
| 3                   | 2                   | 95                                 |
| 3                   | 3                   | 85                                 |
| 3                   | 4                   | 90                                 |
| 3                   | 5                   | 90                                 |
| 4                   | 1                   | 100                                |
| 4                   | 2                   | 95                                 |
| 4                   | 3                   | 100                                |
| 4                   | 4                   | 100                                |
| 4                   | 5                   | 100                                |

**Porcentaje de germinación al día 80 de evaluación****Análisis de la varianza**

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R<sup>2</sup></u> | <u>R<sup>2</sup> Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| % Germinación   | 10       | 0,44                 | 0,38                    | 2,81      |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| <u>F.V.</u>  | <u>SC</u> | <u>Gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo       | 40,00     | 1         | 40,00     | 6,40     | 0,0353         |
| Tratamientos | 40,00     | 1         | 40,00     | 6,40     | 0,0353         |
| Error        | 50,00     | 8         | 6,25      |          |                |
| Total        | 90,00     | 9         |           |          |                |

**Tratamientos**

| <i>Tratamientos</i> | <i>Repeticiones</i> | <i>% Germinación a los 80 días</i> |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| 2                   | 1                   | 85                                 |
| 2                   | 2                   | 85                                 |
| 2                   | 3                   | 85                                 |

|   |   |     |
|---|---|-----|
| 2 | 4 | 90  |
| 2 | 5 | 90  |
| 3 | 1 | 90  |
| 3 | 2 | 95  |
| 3 | 3 | 90  |
| 3 | 4 | 90  |
| 3 | 5 | 90  |
| 4 | 1 | 100 |
| 4 | 2 | 95  |
| 4 | 3 | 100 |
| 4 | 4 | 100 |
| 4 | 5 | 100 |