Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos naturales Renovables

Carrera de Agronomía

Efecto de tres fitorreguladores de crecimiento en el desarrollo de café (*Coffea arabica* L.) en la Argelia, bajo condiciones de invernadero.

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Richard Daniel Granda Robles

DIRECTOR:

Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 9 de agosto de 2023

Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

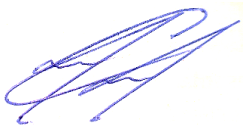
Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de tres fitorreguladores de crecimiento en el desarrollo de café (*Coffea arabica* L.) en la Argelia, bajo condiciones de invernadero**, de la autoría del estudiante **Richard Daniel Granda Robles** con **cédula de identidad Nro. 1105462475**, cada vez que el estudiante cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Firmado electrónicamente por:
MAX ENRIQUE
ENCALADA CORDOVA

Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Richard Daniel Granda Robles**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de este. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1105462475

Fecha: 05 de enero de 2024

Correo electrónico: richard.granda@unl.edu.ec

Teléfono: 0991569848

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Richard Daniel Granda Robles**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de tres fitorreguladores de crecimiento en el desarrollo de café (*Coffea arabica* L.) en la Argelia, bajo condiciones de invernadero.** como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrónomo**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de enero de dos mil veinticuatro.

Firma:

Autor: Richard Daniel Granda Robles

Cédula: 1105462475

Dirección: Loja - Pindal

Correo electrónico: richard.granda@unl.edu.ec

Teléfono: 0991569848

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular:

Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.

Dedicatoria

Quiero dedicar este Trabajo de Integración Curricular a Dios por iluminar mi sendero en todo momento, a mi mamá Luz María Delmira Robles Moncada quien me ha brindado su apoyo incondicional desde el inicio de esta travesía y nunca me ha faltado cuando más la he necesitado. A mi mis herman@s: Nancy, Jenny, Katty, Nathaly, Lidia, Yalmar y Osmar que siempre me han brindado sus palabras de aliento motivando mis acciones, a mi novia que ha estado conmigo desde los inicios de la carrera y siempre ha tenido unas palabras de aliento para inspirarme, dedico este Trabajo de Integración a mí, por el trabajo que se desarrolló durante estos últimos cuatro años y medio y aun que ha sido difícil puedo decir que siento una satisfacción muy grande con los resultados obtenidos durante todo este proceso.

Richard Daniel Granda Robles

Agradecimiento

Le doy gracias a la Universidad Nacional de Loja que me abrió sus puertas en el año 2018 para iniciar mi formación profesional y personal, le agradezco a la vida por haberme dado el honor de ser el hijo de mi madre, ella el principal pilar de mi vida, a mis amig@s y compañeros: Jorge Requelme, Cristian Gualán, Jonathan Cordero, Yamilex Armijos, Junior Contento, Alexis Lamas y más, que han formado parte de mi vida social y universitaria, a mi tutor de la tesis el Dr. Max Encalada por guiarme en este proceso de integración y motivación durante el proceso, a la planta docente de la cual he podido captar grandes conocimiento que me han ayudado a formar mi criterio profesional, quiero agradecer a mis amigos con los que pasé horas jugando en las sintéticas y siempre me recibían con una sonrisa muy agradable, agradezco a los técnicos de los laboratorios de la universidad que me han facilitado los distintos aparatos que utilicé para continuar con mi Trabajo de Integración Curricular.

Richard Daniel Granda Robles

Índice de contenidos

Portada ..... **i**
Certificación ..... **ii**
Autoría ..... **iii**
Carta de autorización ..... **iv**
Dedicatoria ..... **v**
Agradecimiento ..... **vi**
Índice de contenidos ..... **vii**
Índice de tablas x
Índice de figuras xi
Índice de anexos xii
1. Título **1**
2. Resumen **2**
Abstract 3
3. Introducción **4**
3.1. Objetivo General 6
3.2. Objetivos Específicos 6
4. Marco teórico **7**
4.1. El Cultivo de Café 7
4.1.1. Importancia económica 7
4.1.2. Cultivo de café en Loja 7
4.1.3. Taxonomía 8
4.1.4. Fenología del café 8
4.1.5. Condiciones edafoclimáticas 10
4.1.6. Requerimientos nutricionales del café 10
4.2. Fitorreguladores del Crecimiento 10

4.2.1. Concepto de fitorreguladores del crecimiento 10
4.2.2. Importancia de los fitorreguladores de crecimiento vegetal 11
4.2.3. Uso en la agricultura 11
4.2.4. Clasificación y su modo de acción 11
4.4. Fitorreguladores de crecimiento comerciales 12
5. Metodología 13
5.1. Localización de la zona de estudio 13
5.2. Metodología General 14
5.2.1. Tipo de investigación 15
5.3. Diseño experimental 15
5.4. Modelo Estadístico 17
5.5. Metodología para el primer objetivo específico "Medir variables morfológicas del café (*Coffea arabica* L.), con la aplicación de tres fitorreguladores en la Argelia bajo condiciones de invernadero" 17
5.5.1. Variables morfológicas no destructivas 17
5.5.2. Variables morfológicas destructivas 18
5.6. Metodología para el segundo objetivo específico "Evaluar indicadores fisiológicos en plántulas de Café (*Coffea arabica* L.) con la aplicación de tres fitorreguladores de crecimiento bajo condiciones de invernadero" 19
5.6.1. Variables Fisiológicas 19
6. Resultados 22
6.1. Variables Morfológicas 22
6.1.1. Variables morfológicas no destructivas 22
6.1.2. Variables morfológicas destructivas 24
6.2. Variables Fisiológicas 27
6.2.1. Estimación del contenido de clorofila en las hojas 27

Estimación del contenido de clorofila en las hojas (SPAD)..... 27

6.2.2. Densidad estomática e índice estomático. 27

6.2.3. Conductancia estomática. 28

7. Discusión 29

8. Conclusiones 35

9. Recomendaciones 36

10. Bibliografía. 37

11. Anexos 44

Índice de tablas:

Tabla 1. Datos de ubicación geográfica. 13

Tabla 2. Dosis unitaria de aplicación de los Fitorreguladores de crecimiento utilizados en los tratamientos, en consideración de la ficha técnica del producto. 14

Tabla 3. Diseño experimental del uso de fitorreguladores en plantas de café. 16

Tabla 4. Diámetro del tallo de plántulas de *Coffea arabica* L. a los 30, 60, 90, 120 y 150 DDA de 3 fitorreguladores, bajo condiciones de invernadero. 23

Tabla 5. Número de pares de hojas de plántulas de *Coffea arabica* L. a los 30, 60, 90, 120 y 150 DDA de 3 fitorreguladores, bajo condiciones de invernadero. 23

Tabla 6. Superficie foliar por planta en plántulas de *Coffea arabica* L. a los 30, 60, 90, 120 y 150 DDA de 3 fitorreguladores, bajo condiciones de invernadero. 24

Tabla 7. Biomasa aérea seca de la parte aérea de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero. 25

Tabla 8. Biomasa seca de raíces de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero. 26

Tabla 9. Índice de calidad de Dikson de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero. 26

Tabla 10. Estimación del contenido de clorofila en las hojas de *Coffea arabica* L. a los 30 y 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero. 27

Tabla 11. Densidad e índice estomático de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero. 28

Tabla 12. Conductancia estomática de *Coffea arabica* L. a los 30, 90 y 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero. 28

Índice de figuras:

Figura 1. Localización del sector "La Argelia" en el cantón Loja (ArcGis, 2023).....13

Figura 2. Esquema del DCA que se empleó en la investigación con 4 tratamientos (T) y 3 repeticiones (R) utilizando plántulas de café. 16

Figura 3. Altura de plántulas de *Coffea arabica* L. a los 30, 60, 90, 120 y 150 DDA de 3 fitorreguladores, bajo condiciones de invernadero.....22

Figura 4. Longitud de la raíz principal de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero. 24

Figura 5. Volumen de la raíz de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero. 25

Índice de anexos:

Anexo 1. Creación del sustrato de producciones 1;1;1 (Tierra de montaña, turba y arena). 44
Anexo 2. Desinfección del sustrato con (Tichotic). 44
Anexo 3. Trasplante de las plántulas de café *Coffea arabica* var. Oeiras. 45
Anexo 4. Trasplante de las plántulas de café *Coffea arabica* var. Oeiras. 45
Anexo 5. Fitorreguladores comerciales utilizados 46
Anexo 6. Aplicación de los tratamientos 46
Anexo 7. Toma de datos para la variable de contenido de clorofila con el dispositivo SPAD. ... 47
Anexo 8. Medición del diámetro de tallo de las plántulas de café var. Oeiras. 47
Anexo 9. Uso de la estufa y balanza de precisión para obtener la materia seca de las plántulas de café var. Oeiras. 48
Anexo 10. Medición de longitud y volumen radicular de las plántulas de café var. Oeiras. 48
Anexo 11. Conteo de numero de estomas y células epidérmicas en 1 mm^2 de las plántulas de café var. Oeiras. 49
Anexo 12. Certificado de la traducción del resumen al inglés. 50

1. Título

Efecto de tres fitorreguladores de crecimiento en el desarrollo de café (*Coffea arabica* L.) en la Argelia, bajo condiciones de invernadero.

2. Resumen

La producción cafetalera a nivel mundial resulta de gran importancias para los agricultores afines a esta, la provincia de Loja, mantiene una reputación de alta calidad en la tasa dorada a nivel nacional, por lo cual resulta clave un manejo óptimo del cultivo, en tanto que, el uso de fitorreguladores surge como una alternativa eficiente que apunta a potenciar su desarrollo y crecimiento, por lo cual, en la presente investigación se evaluó el efecto de tres fitorreguladores de crecimiento sobre variables morfo-fisiológicas en plántulas de café (*Coffea arabica* L.) var. Oeiras bajo condiciones de invernadero. Se utilizó un sustrato de proporciones 1:1:1 (Tierra de montaña, arena y turba), inoculado con *Trichoderma* spp. como agente antagonista de hongos fitopatógenos; una vez trasplantadas a fundas de polietileno con capacidad de 2 kg y aclimatadas las plántulas, se procedió a la primera de las cinco aplicaciones mensuales de los tratamientos, T1 Hormonagro [Auxinas: Ácido Naftalenacético (ANA) – 5ppm + Boro (B) 3 %]; T2 Cytokin [Citoquininas: Kinetina (KIN) – 0,2 ppm]; T3 New Gibb [Giberelinas: Ácido Giberélico (AG3) – 25 ppm]; T4 Testigo (Sin fitorregulador). Los resultados de las variables morfológicas registrados a los 150 días después de la aplicación (DDA) de los tratamientos, mostraron que T1 fue estadísticamente superior a T4 en las variables de altura de la planta, diámetro del tallo, pares de hojas, área foliar, longitud de la raíz e índice de calidad de Dikson con 27,30 cm, 5,57 mm, 11,87 pares, 1 449,90 cm^2, 30,09 cm y 1,35 respectivamente; mientras que, el tratamiento T2 resultó estadísticamente superior al testigo en la variable de volumen de la raíz con 16,6 cm^3. Al realizar la relación de la biomasa seca de la parte aérea con biomasa seca de la raíz, T1 mostró el valor mayor. Respecto a las variables fisiológicas evaluadas a los 150 DDA, el tratamiento T2 con 65,11 SPAD fue superior estadísticamente al testigo en la variable de contenido de clorofila, mientras que, para la variable de frecuencia estomática, índice estomático y conductancia estomática se identificó a T3 como el tratamiento que obtuvo los mejores promedios respecto al testigo, con 162,42 mm^2, 20,1 y 254,38 $mmol/m^2/s$, respectivamente, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Palabras clave: Plántulas, variables morfológicas, variables fisiológicas, auxinas, citoquininas, giberelinas, crecimiento.

Abstract

Coffee production worldwide is of great importance for farmers related to this, Loja province, maintains a reputation for high quality in the golden rate at the national level, so it is key to optimal crop management, while the use of phyto-regulators emerges as an efficient alternative that aims to enhance their development and growth, therefore, in this research the effect of three phyto-regulators growth on morpho-physiological variables in coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) var. Oeiras under greenhouse conditions. A substrate of 1:1:1 proportions was used (mountain soil, sand and peat), inoculated with Trichoderma spp. as an antagonist agent of phytopathogenic fungi; once the seedlings were transplanted into polyethylene bags with a capacity of 2 kg and acclimatized, the first of the five monthly applications of the treatments, T1 Hormonagro [Auxins: Naphthaleneacetic Acid (NAA) - 5ppm + Boron (B) 3 %]; T2 Cytokin [Cytokinins: Kinetin (KIN) - 0.2 ppm]; T3 New Gibb [Gibberellins: Gibberellic Acid (GA3) - 25 ppm]; T4 Control (No phytoregulator). The results of the morphological variables recorded at 150 days after application (DDA) of the treatments showed that T1 was statistically superior to T4 in the variables of plant height, stem diameter, leaf pairs, leaf area, root length and Dikson quality index with 27.30 cm, 5.57 mm, 11.87 pairs, 1 449.90 cm2, 30.09 cm and 1.35 respectively; while the T2 treatment was statistically superior to the control in the root volume variable with 16.6 cm3. When the dry biomass of the aerial part was compared with the dry biomass of the root, T1 showed the highest value. Regarding the physiological variables evaluated at 150 DDA, the T2 treatment with 65.11 SPAD was statistically superior to the control in the variable of chlorophyll content, while for the variable of stomatal frequency, stomatal index and stomatal conductance, T3 was identified as the treatment that obtained the best averages with respect to the control, with 162.42 mm2, 20.1 and 254.38 mmol/m2/s, respectively; however, no statistically significant differences were found between the treatments.

Key words: *Seedlings, morphological variables, physiological variables, auxins, cytokinins, gibberellins, growth.*

3. Introducción

En Ecuador la agricultura aporta el 8 % del PIB, en donde la producción de café (*Coffea* spp.) alcanza un porcentaje significativo del mismo, ya que en el país se cultivan alrededor de 199 215 ha de esta plantación, siendo la provincia de Loja con 4 959 ha entre solas y asociadas (agroforestal) la que mayor porcentaje de superficie cultivada de café presenta en la Sierra del país (ESPAC, 2022).

Para inicios del nuevo siglo, el café ya representó un papel importante en las exportaciones del Ecuador, tal como mencionaron Delgado et al., (2002) que por el año 2001 el café grano de oro y otros derivados no petroleros representaron menos del 2 % de las divisas obtenidas de los $ 1,77 millones de dólares adquiridos en las ventas a los diferentes países del mundo, mientras que, actualmente las ventas de las exportaciones de café grano de oro y sus derivados produjeron la cantidad de $ 11,2 y $ 13,1 millones de dólares, esto solo durante los primeros trimestres de los años 2020 y 2021 respectivamente (BCE, 2021).

Tradicionalmente la obtención y desarrollo de plántulas de este cultivo se realiza en condiciones controladas, puesto que es una actividad delicada que necesita de ciertas condiciones estables, siendo así que la futura productividad del café es proporcional a la cantidad y calidad del desarrollo de las plantas. Robledo (2016) mencionó que un gran inconveniente en la obtención de plántulas es la aparición de enfermedades, en donde una de las más comunes es el mal del talluelo (*Damping-off*), la roya (*Hemileia vastatrix*) e incluso la presencia de insectos defoliadores y trozadores que se alimentan de los tejidos de las plantas a tal punto de terminar con la existencia de la misma, puesto que estos patógenos atacan principalmente a las hojas, dejando a la planta sin su principal recurso de procesamiento de nutrimentos, lo que impide obtener plántulas vigorosas y de rápido crecimiento para acortar y mejorar el proceso del desarrollo inicial del café.

Existe un gran número de fitorreguladores de crecimiento, que pueden promover o inhibir el desarrollo de los órganos de las plantas, pero la utilización de los mismos se realizará considerando los resultados que el productor quiera obtener, tal como sugirió Chichipe et al., (2021) sobre la utilización de ácido indol-3-butírico (AIB) para proporcionar estímulos en el crecimiento radicular, altura y números de hojas en las plántulas de café, afirmando que el ambiente del invernadero es el idóneo para la obtención de plántulas de café var. Typica de calidad.

De igual manera Gordillo et al., (2020) trabajaron con fitorreguladores de crecimiento como es el ácido salicílico (AS) relacionando su presencia con el desarrollo de las plántulas de café, ellos sostienen que las dosis bajas de AS estimulan el crecimiento inicial de plantas de café. Así mismo, González et al., (2015) sintetizaron tres fitohormonas en un solo producto que contiene ácido indol-3-acético (AIA), ácido indol-3-butírico (AIB) y ácido indol-3-propiónico (AIP), en donde han podido comprobar su efecto, destacando en las variables de altura promedio de las plántulas, diámetro del tallo, número de hojas y masa seca. Por su parte, Alcantara et al., (2019) mencionaron que el AIB es un promotor de la formación y elongación de tallos, producción de diferentes raíces adventicias y el aumento de la dominancia apical.

Considerando todo lo antes expuesto, en las diferentes investigaciones se han obtenido resultados muy prometedores en variedades comerciales como el Typica y Sidra, sin embargo, hay variedades menos estudiadas como la variedad Oeiras que es un cruce entre Caturra Rojo x Híbrido de Timor CIFC 832/1 que cuenta con ventajas de adaptabilidad para áreas secas, más calientes y para regiones montañosas o donde los tratamientos y la cosecha necesitan ser asistidos, además es recomendada para productores con menor nivel tecnológico, donde existe un difícil control de roya (MAG, 2018). Siendo así, esta variedad también requiere atención y por tanto se debe conocer cómo estos fitorreguladores pueden ayudar a su desarrollo.

La utilización de fitorreguladores de crecimiento podría proporcionar a las plántulas de café de esta variedad un estímulo en su desarrollo inicial bajo condiciones controladas, y así potencializar sus características tanto morfológicas como fisiológicas. Además, considerando que los agricultores constantemente requieren variedades de rápido desarrollo, la var. Oreiras junto a los fitorreguladores sería una buena opción para esta necesidad. Es por ello que en el sector la Argelia se realizó la presente investigación que se encuentra vinculada con el segundo objetivo de desarrollo sostenible de las naciones unidas (ODS 2) el cual se denomina “Hambre cero”, de igual manera se vincula con la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja denominada “Sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria” y con la línea de investigación de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Loja con el nombre de “Tecnologías para la producción y posproducción agrícola sostenible”.

3.1. Objetivo General

- Determinar los efectos de la aplicación de tres fitorreguladores de crecimiento durante el proceso de desarrollo de café (*Coffea arabica* L.) en la Argelia bajo condiciones de invernadero.

3.2. Objetivos Específicos

- Medir variables morfológicas del café (*Coffea arabica* L.) con la aplicación de tres fitorreguladores en la Argelia bajo condiciones de invernadero.
- Evaluar indicadores fisiológicos en plántulas de café (*Coffea arabica* L.) con la aplicación de tres fitorreguladores de crecimiento bajo condiciones de invernadero.

4. Marco teórico

4.1. El Cultivo de Café

4.1.1. Importancia económica

El cultivo de café (*Coffea* sp.) se encuentra en producciones considerables en tan solo 80 países alrededor del mundo, en donde el 90 % del café que se comercializa a nivel internacional es producido en la mayoría de países que se encuentran en "vías de desarrollo" tales como Brasil, Colombia, Guatemala, Costa Rica, Perú, Ecuador, México, Nicaragua entre otros, siendo los países desarrollados como Países Bajos, Estados Unidos, Noruega, etc., los que mayor cantidad de café importado consumen (Arreaga-Ronquillo et al., 2021).

En el Ecuador las principales provincias productoras de café son: Santo Domingo, Pichincha, Imbabura, Cotopaxi, Los Ríos, Guayas, Esmeraldas, Morona Santiago, Chimborazo, Galápagos, Loja, Carchi, Pastaza, Bolívar, Azuay, El Oro, Cañar, Zamora Chinchipe, y Manabí según León et al. (2020), siendo esta última la provincia con mayor concentración de producción de café, más específicamente en el cantón Jipijapa, considerado como referencia de las exportaciones internacionales (Arreaga-Ronquillo et al., 2021).

En el Ecuador del total de ha de café cultivadas, el 68 % pertenecen a la especie *Coffea arabica* y el 32 % restante a *Coffea canephora*, estando presente en las 23 de las 24 provincias del país. Para el 2015 la Organización Internacional del Café (ICO) posicionó el Ecuador en el puesto 19 del total de 20 mayores productores de café a nivel mundial, aportando el 0,49 % de la producción mundial equivalentes a 42.000 t, siendo así que el Ecuador estaría produciendo alrededor de 0,21 t o de 4 a 5 qq/ha (Venegas et al., 2018)**.**

4.1.2. Cultivo de café en Loja

Según el ESPAC (2022) la superficie de café actualmente que se está cultivando en la provincia de Loja es de 1 829 ha en el sistema de monocultivo y 3 130 ha en un sistema asociado o agroforestal, siendo así que de esta superficie se obtienen 221 Tn y 137 Tn respectivamente anualmente, con un promedio considerablemente bajo que va desde los 3 a 5 qq/ha.

4.1.3. Taxonomía

Taxonómicamente el café pertenece al Reino Plantae, División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Orden Gentianales, Familia Rubiaceae, Tribu Coffeae, Género *Coffea* y Especie *Coffea arabica* L. según (Herrera y Cortina, 2013).

4.1.4. Fenología del café

Según Vignola et al., (2018) el ciclo fenológico del cultivo de café (*Coffea* spp.) consta de 7 fases:

- Fase 0

Conocida también como la fase de germinación y almácigo, esta inicia con la presencia del agua estimulando al proceso de imbibición de la semilla, en donde la semilla debe poseer las propiedades de una germinación superior al 80 % para que esta sea considerada viable y de calidad, este proceso dura alrededor de 8 semanas para empezar el proceso de trasplante (Vignola et al., 2018).

- ❖ Fase 1

Denominada la fase de crecimiento vegetativo está claro que en el proceso de desarrollo vegetativo también está inmerso la germinación, pero se considera una nueva fase de la fenología del café desde el trasplante puesto que en esta parte se desenvuelve considerando su información genética y el ambiente en el que la planta se desenvuelve, finalizando esta etapa con la inducción de la floración del cultivo (Vignola et al., 2018).

- ❖ Fase 2

Conocida como el desarrollo del sistema foliar y el reposo de sus yemas foliares, se trata de un crecimiento de las yemas que se da justo en las axilas de las hojas, las ramas de los cafetos se llenan de estas yemas de donde saldrán los botones florales, durante este período del rebrote de yemas foliares, si existen condiciones de estrés hídrico o factores endógenos, las yemas entrarían a un periodo de latencia durante alrededor de 30 días (Vignola et al., 2018).

- ❖ Fase 3

Aquí se rompe la latencia de los brotes foliares, donde las lluvias provocan que la flor salga de su yema, un período considerablemente crítico para la obtención de la cantidad y calidad de los frutos, todo este proceso se efectúa durante 8 a 10 días con la apertura de la flor, de ahí la importancia de contar con una zona con una estación seca bien definida que estimule la floración, hablando de *Coffea arabica* L., posee una autofecundación en donde al momento de que la flor se abre completamente el porcentaje de fecundación es superior al 90 %, en promedio una flor es viable a fecundar durante los primero tres días después de que esta se abre en su totalidad (Vignola et al., 2018).

- Fase 4

Esta es la fase de llenado de los frutos; una vez efectuada la fecundación la planta, concentra la mayor cantidad de "asimilados" provenientes de las hojas más laterales de la planta hacia el endospermo para poder formar la semilla, y con ello finalmente se da el crecimiento máximo del fruto en estado verde. Durante todo este proceso la planta detiene sus procesos de crecimiento y desarrollo para enfocar sus recursos en el desarrollo del fruto (Vignola et al., 2018).

- Fase 5

Esta fase comprende el proceso de maduración del fruto, desde que este alcanza su punto máximo de crecimiento hasta que el mismo ha alcanzado el nivel de madurez deseado, este proceso es importante ya que la cantidad y calidad de la madurez es proporcional a la calidad de la taza de café que se obtenga. Al llegar el momento de la cosecha, considerando que los frutos nunca se maduran en un 100 % homogéneamente, se utiliza el criterio empírico del cosechador para seleccionar las cerezas que muestren un color rojizo, amarillas o verdes en dependencia de la variedad y que indiquen un estado avanzado de madurez (Vignola et al., 2018).

- Fase 6

Una vez realizada la cosecha, los cafetos entran en un período de "reposo", en donde la planta se encuentra altamente defoliada, es por ello que es aquí en donde se recomiendan realizar las podas considerando un período de varias cosechas entre cada poda o cuando las plantas lo requieran, esto para evitar que la planta caiga en un agotamiento productivo, considerando que en algunas plantaciones se pueden efectuar hasta dos cosechas anualmente; la cantidad de producción no va a

ser igual en un cafetal que se cosecha una vez al año ni tampoco la calidad del café obtenido, puesto que las plantas pasarían por un constante estrés (Vignola et al., 2018).

4.1.5. Condiciones edafoclimáticas

Estas condiciones están estrechamente relacionadas con la variedad de café y por tanto con la especie de donde procede esta, en el caso de *C. arabica*, las condiciones ambientales en las que mejor se desenvuelven las variedades existentes son en altitudes desde los 800 a 2000 m.s.n.m siendo óptima a los 1400, en donde las temperaturas oscilarían de los 18 a 22 °C, considerando que las temperaturas inferiores a los 18 °C regulan el crecimiento vegetativo mientras que temperaturas superiores a los 22°C estimulan el desarrollo vegetativo excesivo que afectaría a la época de floración (IICA, 2019).

El café es altamente demandante de agua, requiriendo lluvias de 1 600 a 1 800 mm/año con un período corto de sequía para estimular a la floración. Referente al fotoperiodo del cultivo éste es relativamente bajo, puesto que dependiendo de sistema agronómico en el que se encuentre el café (monocultivo o agroforestal) va a requerir entre 4 y 7 horas luz al día respectivamente, con una buena aireación que le permite secar sus tejidos vegetativos y con una humedad relativa buena entre el 70 y 85 % (IICA, 2019).

4.1.6. Requerimientos nutricionales del café

El requerimiento nutricional del café por ha va a estar estrechamente relacionado con la cantidad de plantas por ha, el tipo de variedad, la cantidad de cosechas/año, el tipo de suelo en el que se encuentre la plantación, etc., sin embargo, si consideramos que queremos alcanzar una producción de 1 000 kg o 22,4 qq, los requerimientos nutricionales estimados en los macronutrientes serían: 547 kg/ha de N, 51 kg/ha de P, 508 kg/ha de K, 234 kg/ha de Ca y entre 59 y 117 kg/ha de Mg integrados al cultivo durante 1 año y considerando que la planta necesita mayor cantidad de alimento previo a la floración y el cuajado del fruto (Sadeghian, 2013).

4.2. Fitorreguladores del Crecimiento

4.2.1. Concepto de fitorreguladores del crecimiento

Son productos sintéticos, pueden ser obtenidos de organismos como bacterias, hongos o plantas que dosificados en las dosis correctas pueden contribuir a procesos de desarrollo de las plantas, mientras que las hormonas de crecimiento o fitohormonas producidos internamente por las

plantas pueden de igual manera estimular o disminuir el desarrollo de los órganos vegetativos. Se debe considerar que todos estos procesos se realizan a una escala celular, esto permite manipular la presencia o ausencia de estos en la planta (Alcantara et al., 2019).

4.2.2. Importancia de los fitorreguladores de crecimiento vegetal

Estos fitorreguladores de crecimiento son considerablemente importantes puesto que intervienen en los procesos de desarrollo no solo vegetativos sino también reproductivos, en donde se pueden estimular órganos como las raíces, hojas, tallos y de manera importante considerando su importancia en la economía una mayor cantidad de flores y los procesos de fructificación (Alcantara et al., 2019).

4.2.3. Uso en la agricultura

Los reguladores del crecimiento son utilizados en la agricultura para estimular, ralentizar, o disminuir los procesos del desarrollo vegetativo en las plantas, por ello es que, dependiendo del tipo de hormona, la dosis de las mismas y el tipo de cultivo en el que estas son aplicadas, se obtendrá un efecto característico de la acción hormonal, en tal caso se puede estimular la germinación, el crecimiento vegetativo, la floración (inducción o restricción), la respuesta a tropismos, las condiciones de estrés, la formación de los frutos y otros (Castro et al., 2019).

4.2.4. Clasificación y su modo de acción

A continuación, se citan algunas de las fitohormonas clasificadas como fitorreguladores que son más frecuentes en el uso de la agronomía.

- **Auxinas**

Se ven implicadas en los procesos de división y elongación celular, la diferenciación celular, la promoción de la división celular meristemática, además aumenta el contenido osmótico celular, la permeabilidad celular, la producción proteica, disminuye la presión de la pared celular, e induce la formación y elongación de tallos, la producción de diferentes raíces adventicias y el aumento de la dominancia apical (Alcantara et al., 2019).

- **Giberelinas**

Aumenta el desarrollo de tejidos de manera constante, la elongación de raíces, número de hojas jóvenes, la floración, el alargamiento de segmentos nodales, además, participan en procesos

de iniciación floral lo que es vital en fertilidad de plantas masculinas y femeninas e Induce la germinación de semillas (Alcantara et al., 2019).

- **Citoquininas**

Inducen la iniciación y elongación de raíces, además activan la senescencia de las hojas estimulando el desarrollo fotomorfogénico vegetal, estimulan la generación de brotes axilares a nivel vegetal, también pueden sustentar e iniciar la proliferación de tejidos vegetales madre y permiten producir una alta proliferación y división celular. Las citoquininas se producen con mayor abundancia en las células de los ápices radiculares (Alcantara et al., 2019).

- **Ácido abscísico**

Regula y mantiene la dormancia de las semillas, además de que estimula la maduración de semillas, puede inhibir el proceso de germinación vegetal, regula la traspiración celular. Puede inducir la senescencia y floración (Alcantara et al., 2019).

4.4. Fitorreguladores de crecimiento comerciales

- **New Gibb**

Es un Fitorregulador de crecimiento de tipo comercial, a base de ácido giberélico como ingrediente activo al 10 %, éste es extraído mediante una fermentación biológica del hongo *Gibberella fujikauroi,* utilizado para estimular el crecimiento celular y radicular de las plantas especialmente en un estado inicial, éste producto es fácilmente soluble en el agua, mientras que su aplicación se realiza de manera edáfica (Ecuaquímica, 2023b).

- **Hormonagro**

Es un Fitorregulador de crecimiento de tipo comercial, éste tiene como base el ingrediente activo Ácido alfa-naftalenacético al 0,40 %, soluble en agua, muy utilizado en todo tipo de cultivos durante sus primeras etapas fenológicas, ya que estimula el enraizamiento y pronto crecimiento de las plántulas en el almácigo o vivero (Agroactivo, 2023).

- **Cytokyn**

Es un Fitorregulador de crecimiento de tipo comercial, éste tiene como base el ingrediente activo Citoquininas al 0.01 %, conocido por su poder de enraizamiento. Es utilizado para etapas iniciales de los cultivos, es soluble en el agua y por lo general se recomienda su aplicación de manera edáfica (Ecuaquímica, 2023a).

5. Metodología

5.1. Localización de la zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en la estación experimental docente "La Argelia" más específicamente en el Banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la parroquia San Sebastián de la provincia y cantón Loja. Según los datos reportados por la estación meteorológica "La Argelia", la temperatura media anual es de 17 °C y la temperatura máxima es de 28 °C, con una humedad relativa máxima de 80 % y una humedad relativa mínima del 72 % (SINAGAP, 2013). Los datos de ubicación geográfica fueros proporcionados por el software ArcGIS v10.5.1 y se presentan en la Tabla 1 y Figura 1.

Tabla 1. Datos de ubicación geográfica.

Datos	Descripción
Sitio	Quinta experimental la Argelia (Banco de germoplasma)
Latitud	4° 2' 1.20"S
Longitud	79° 11' 57.38" O
Altitud (m.s.n.m)	2141

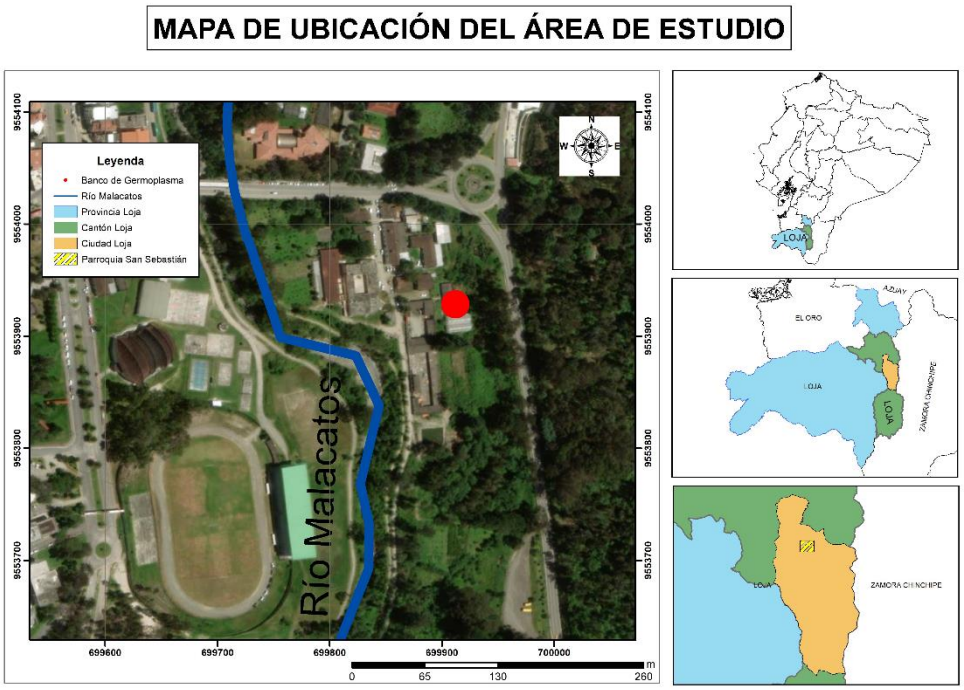


Figura 1. Localización del sector "La Argelia" en el cantón Loja (ArcGis, 2023).

5.2. Metodología General

Para dar cumplimiento a la presente investigación se utilizaron plántulas de café de la variedad Oeiras que fueron adquiridas en un vivero de la Universidad Nacional de Loja ubicado en el sector Zapotepamba. Considerando que se seleccionó el material vegetal más homogéneo posible (plántulas con 4 a 5 pares de hojas) con un estado fenológico entre la fase F0 y F1. El sustrato en el que llegaron las mismas no era el ideal para el estudio, se procedió a despojar a las raíces de este, para luego ser trasplantadas en un sustrato previamente preparado.

Una de las primeras actividades que se realizó durante la investigación fue la elaboración del sustrato, el cual se conformó por las proporciones 1:1:1 (tierra de montaña, arena de mina y turba) recomendado por Encalada et al., (2018) y que luego fue colocado en fundas de polietileno con un peso de 2 kg, una vez enfundado, se inoculó aplicando 1 g/L de agua de *Trichoderma* spp de la marca comercial "Trichotic", el cual ha sido utilizado de manera preventiva como antagonista sobre hongos fitopatógenos (FARMAGRO, 2023). Se procuró dejar reposar el sustrato desinfectado durante 20 días que fue el mismo tiempo que tuvieron las plantas para adaptarse al invernadero antes de ser trasplantadas.

Una vez establecidos los tratamientos en su respectivo diseño, se realizaron riegos cada 6 días colocando alrededor de 250 ml de agua/planta en cada uno de los riegos o cuánto la planta necesitó. A los 16 días del trasplante se realizó la primera aplicación de los tratamientos y se siguieron aplicando 1 vez al mes con un total de 5 aplicaciones y 5 evaluaciones de ciertas variables durante toda la investigación, las variables fueron medidas luego de 30 días realizada cada aplicación de los tratamientos respectivamente. Las aplicaciones de los fitorreguladores se realizaron de manera edáfica tipo drench, aplicándolo directamente al sustrato.

Tabla 2. Dosis unitaria de aplicación de los Fitorreguladores de crecimiento utilizados en los tratamientos, en consideración de la ficha técnica del producto.

Tratamientos	Nombre comercial	Ingrediente Activo (IA)	Dosis / 4 L	Dosis/aplicación (ppm)	Dosis total acumulada (ppm)
1	Hormonagro	ANA	5 g	5	25
2	Citokyn	KIN	8 ml	0,2	1
3	New Gibb	AG3	1 g	25	125
4	Testigo	Testigo	0	0	0

5.2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo es una investigación de carácter experimental, en donde se determinó la influencia de tres fitorreguladores sobre el desarrollo de plántulas de café bajo condiciones de invernadero, así mismo, el enfoque de la presente investigación fue de carácter cuantitativo debido a que se realizaron diferentes mediciones numéricas de las diferentes variables morfológicas y fisiológicas, durante desarrollo de la investigación, con un alcance de la experimental de forma descriptiva.

5.3. Diseño experimental

Se consideró un diseño completamente al azar (DCA), en donde se distribuyeron 4 tratamientos (3 fitorreguladores + 1 testigo) con 3 repeticiones cada uno, cada unidad experimental se conformó por 16 plántulas y de estas fueron 5 las que se consideraron durante todo el período de evaluación y medición de variables (Figura 2, Tabla 2).

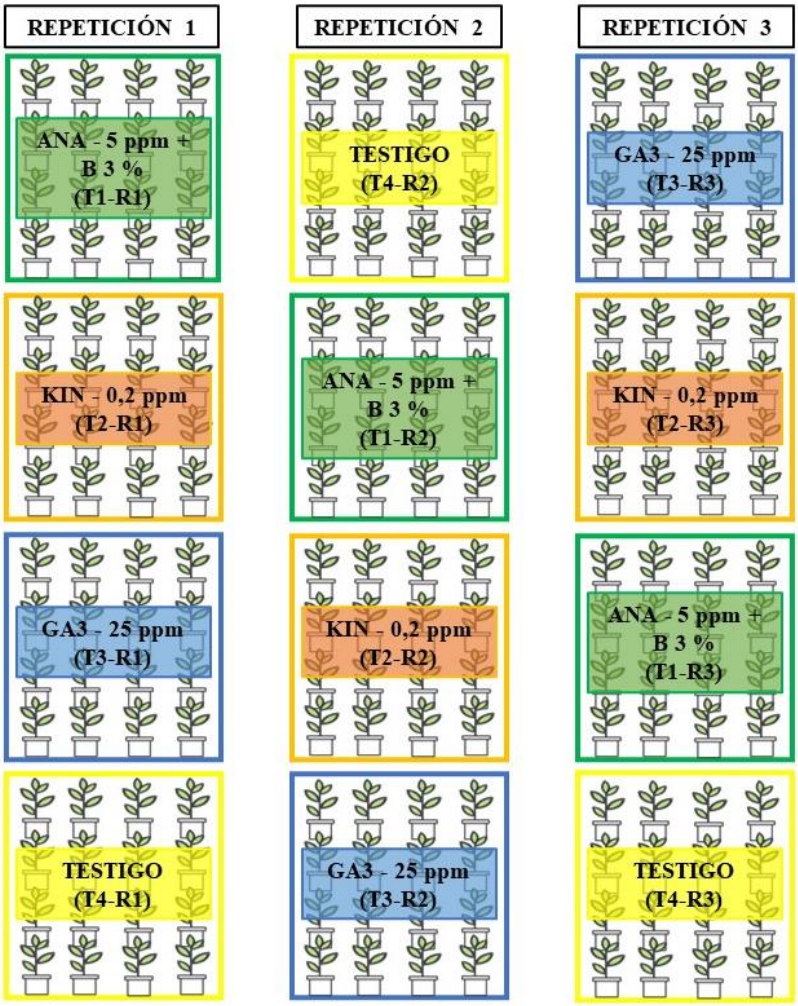


Figura 2. Esquema del DCA que se empleó en la investigación con 4 tratamientos (T) y 3 repeticiones (R) utilizando plántulas de café.

Tabla 3. Diseño experimental del uso de fitorreguladores en plantas de café.

	Descripción	N° de plantas a utilizar
Tratamientos	Ácido naftalenacético "ANA" + B 3% (T1)	48
	Citoquininas de tipo kinetina "KIN" (T2)	48
	Ácido giberélico "AG3" (T3)	48
	Testigo (T4)	48
Unidad experimental (UE)		16

5.4. Modelo Estadístico

Al utilizar un diseño completamente al azar, se empleó el siguiente modelo matemático, además de identificar las variables dependientes e independientes de la investigación (Mellado Bosque, 2013).

$$Yij = \mu + \pi + \varepsilon ij$$

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij-esima unidad experimental

μ = Media general del ensayo

π_j = Efecto fijo del fitorregulador

ε_{ij}= Error experimental asociado a la i-esima unidad experimental

5.5. Metodología para el primer objetivo específico "Medir variables morfológicas del café (*Coffea arabica* L.), con la aplicación de tres fitorreguladores en la Argelia bajo condiciones de invernadero"

Para dar cumplimiento a éste primer objetivo, y poder dar seguimiento al crecimiento de las plantas de café, se midieron las siguientes variables:

5.5.1. Variables morfológicas no destructivas

Las siguientes variables de carácter no destructivas fueron registradas a los 30, 60, 90, 120 y 150 días después de la primera aplicación de los tratamientos.

5.5.1.1. Altura de la planta.

Se midió la altura de la planta desde la base del tallo hasta la yema apical, para ello se utilizó una regla de 50 cm (Zapata y Jiménez, 2016).

5.5.1.2. Diámetro del tallo.

Se midió el diámetro del tallo, tomando en cuenta el grosor que se encontraba debajo del primer par de hojas verdaderas, para esto se utilizó un calibrador o pie de rey (Zapata y Jiménez, 2016).

5.5.1.3. Promedio de Pares de hojas.

Esta variable se evaluó contando el número de pares de hojas presentes en las plántulas seleccionadas, en cada una de las repeticiones y tratamientos de la investigación (Zapata y Jiménez, 2016).

5.5.1.4. Superficie foliar por planta.

Se midió el ancho y largo de 5 hojas al azar por planta y se consideraron 5 plántulas a evaluar por UE, esto se realizó con la ayuda de una regla de 30 cm, al momento de tabular los datos se utilizó una fórmula como lo plantea Encalada et al (2018), es propicio decir que se consideró una de las hojas gemelas por nudo, además se consideró el número de hojas totales en la planta multiplicado por el área foliar promedio de las hojas (Zapata y Jiménez, 2016).

$$\textbf{Área Foliar} = (\text{Ancho} * \text{Largo}) * 0{,}64 + 0{,}49$$

5.5.2. Variables morfológicas destructivas

Una vez transcurridos los 6 meses de investigación, se realizó un análisis destructivo de las 5 mismas plantas que se utilizaron para la toma de datos en las variables morfológicas no destructivas, siendo las siguientes:

5.5.2.1. Longitud de la raíz principal.

Se extrajeron completamente las raíces de las plantas de café y se midió la longitud de esta en cm, considerando la medición desde la base del tallo hasta la parte el ápice de la raíz principal, haciendo uso de una regla de 40 cm (Uribe y Rodríguez, 2018).

5.5.2.2. Volumen de la raíz.

Para determinar el volumen de las raíces, se extrajeron las muestras (raíces) de cada planta, posteriormente se lavó dicha muestra y se dejó secar al ambiente durante 1 hora, se colocaron las raíces en una probeta milimetrada de 250 cm^3 que se encontraba llena de agua hasta los 150 cm^3, siendo la cantidad de agua que se desplazó al sumergir las raíces como el volumen de éstas (Uribe y Rodríguez, 2018).

5.5.2.3. Biomasa aérea seca.

Para obtener la masa seca de la parte aérea, se despojó a las plantas de sus raíces para posteriormente guardar las estructuras del, tallo, ramas y hojas en fundas de papel, una vez

etiquetadas, fueron llevadas a una estufa de laboratorio a 65 °C durante 48 horas, transcurrido este tiempo se procedió al pesaje de estas en una balanza de precisión (Uribe y Rodríguez, 2018)

5.5.2.4. Biomasa seca de raíces.

Para obtener la masa seca de la parte radical, se despojó a las plantas de sus hojas, tallo y ramas, para posteriormente guardar las raíces en fundas de papel, una vez etiquetadas, fueron llevadas a una estufa de laboratorio a 65 °C durante 2 días, transcurrido este período se procedió al pesaje de estas en una balanza electrónica de precisión de la serie LTM-J 203 (Chamorro y Tamagno, 2005).

5.5.2.5. Índice de calidad de Dickson.

Para obtener el índice de calidad de Dickson (ICD), primero se evaluaron ciertas variables de cada planta y que relacionadas entre sí arrojaron un valor que entre más elevado a "1" demuestra que la calidad de la planta es mayor, estas variables son: masa seca total (g), altura (cm), diámetro (mm), masa seca de la parte aérea (g) y peso seco de raíz (g), todas estas integradas en la siguiente fórmula (Villalón-Mendoza, 2016):

$$\mathbf{ICD} = \frac{\text{Masa seca total (g)}}{\frac{\text{Altura del tallo (cm)}}{\text{Diámetro del tallo (mm)}} + \frac{\text{Masa seca aérea (g)}}{\text{Masa seca de la raíz (g)}}}$$

5.6. Metodología para el segundo objetivo específico "Evaluar indicadores fisiológicos en plántulas de Café (*Coffea arabica* L.) con la aplicación de tres fitorreguladores de crecimiento bajo condiciones de invernadero".

5.6.1. Variables Fisiológicas

La medición de las variables fisiológicas que se evaluaron en la presente investigación fueron las siguientes:

5.6.1.1. Estimación del contenido de clorofila en las hojas.

Se utilizó el dispositivo SPAD (Konica-Minolta, Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus) el cual realizó lecturas instantáneas en unidades SPAD basadas en la cuantificación de la intensidad de la luz, por ende, entrega una aproximación cercana de la concentración de N en la planta, se consideraron 5 plantas de las cuales se evaluaron 5 hojas de cada planta por UE, considerando una

hoja por nudo, los registros de los datos de esta variable se tomaron a los 30 y 150 días después de la primera aplicación de los tratamientos (Rodríguez et al., 1998).

5.6.1.2. Densidad estomática

Se realizaron y recolectaron impresiones con esmalte transparente, aplicando una ligera película de esmalte en el envés foliar de 1 hoja del tercer nudo, la impresión se recolectó en la parte media de la hoja, debajo de la nervadura principal, se consideraron las 4 primeras plantas de cada una de las repeticiones de los tratamientos, se dejó secar aproximadamente 120 segundos, para remover la película se utilizaron unas pinzas, luego la muestra fue colocada en un portaobjetos y un cubreobjetos obteniendo una impresión epidérmica de la hoja, una vez realizado éste procedimiento y su posterior rotulación, se contaron los estomas bajo un microscopio de laboratorio con el lente 10 X y campo visual de 1 mm^2 (León-Serrano et al., 2020).

5.6.1.3. Índice estomático (IE)

El cálculo del índice estomático se basó en el conteo del número de estomas y células epidérmicas, observadas a través de un microscopio óptico con un campo de observación de 10 X en 1 mm^2, esto considerando la densidad estomática previamente obtenida de la hoja en 4 plantas por repetición y utilizando la fórmula del índice estomático (Álvarez y Reynaldo, 2015).

$$\mathbf{IE} = \frac{\text{°N estomático x } 100}{\text{°N estomático} + \text{°N de células epidérmicas}}$$

5.6.1.4. Conductancia estomática

Para determinar la conductancia estomática se utilizó un Porómetro (SC-1 de METER Group), realizando tres mediciones, a los 30, 90 y 150 días después de la primera aplicación de los tratamientos, se consideraron 3 hojas por planta (parte baja, media y alta de la planta) con ello se midió el flujo de vapor de agua sobre la superficie de la hoja en ($mmol/m^2/s$) (Uribe y Rodríguez, 2018).

5.6.1.5. Análisis Estadístico

Al finalizar la investigación se realizó un análisis de varianza ANOVA ($p<0,05$), junto con sus respectivas pruebas de supuestos de normalidad (Shapiro Wilks) y homogeneidad (Levene), además de utilizar la prueba de Tukey al 95 % (0,05) de confianza, para identificar las diferencias que existen entre los tratamientos, esto para cada una de las variables registradas a lo largo de la

misma, siendo así que se utilizó el software “InfoStat” versión 2020 para procesar los datos estadísticamente.

6. Resultados

6.1. Variables Morfológicas

6.1.1. Variables morfológicas no destructivas

6.1.1.1. Altura de la planta

En la figura 3 se muestran los resultados de la altura de las plántulas de café, donde el tratamiento T1 (ANA – 5 ppm) presentó el valor mayor de altura con 27,30 cm, esto a los 150 DDA, mientras que el tratamiento resultante con el valor menor fue el T4 (Testigo) con un promedio de 21,33 cm, con diferencias estadísticamente significativas entre estos dos tratamientos mencionados. Los tratamientos empezaron a diferenciarse a partir de los 90 DDA, manteniéndose con ese comportamiento hasta los 150 DDA.

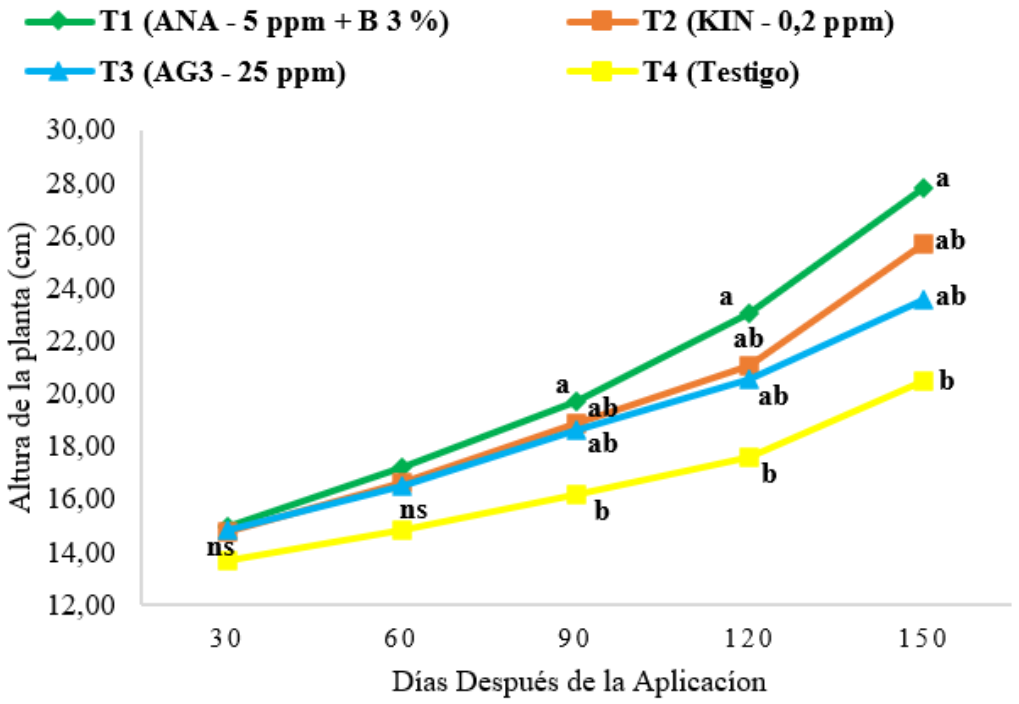


Figura 3. Altura de plántulas de *Coffea arabica* L. a los 30, 60, 90, 120 y 150 DDA de 3 fitorreguladores, bajo condiciones de invernadero.

6.1.1.2. Diámetro del tallo.

Dentro del diámetro del tallo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, donde T1 (ANA – 5 ppm) y T3 (GA3 – 25 ppm) con 5,57 y 5,53 mm

respectivamente, fueron los que mayores valores reflejaron, mientras que el T4 (Testigo) es el que menor valor reflejó, a los 150 DDA (Tabla 3).

Tabla 4. Diámetro del tallo de plántulas de *Coffea arabica* L. a los 30, 60, 90, 120 y 150 DDA de 3 fitorreguladores, bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Diámetro del tallo (mm)				
	Días después de la aplicación				
	30	60	90	120	150
	ns	**	**	***	***
T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %)	2,95	3,57 [a]	4,19 [a]	4,55 [a]	5,57 [a]
T3 (GA3 - 25 ppm)	3,01	3,63 [a]	4,24 [a]	4,53 [a]	5,53 [a]
T2 (KIN - 0,2 ppm)	2,79	3,16 [b]	3,50 [b]	3,76 [b]	5,17 [ab]
T4 (Testigo)	2,85	3,10 [b]	3,39 [b]	3,54 [b]	4,90 [b]

ns = no significativo; p<0.05 significativo (*); p<0.01 muy significativo (**); p<0.001 altamente significativo (***)

6.1.1.3. Número de pares de hojas.

En el número de pares de hojas que se muestran en la Tabla 4, los tratamientos T1 (ANA – 5 ppm) y T3 (GA3 – 25 ppm) mostraron diferencias estadísticamente significativas, donde T1 con 11,87 resultó el valor mayor, siendo el T4 el que menor promedio resultó, a los 150 DDA.

Tabla 5. Número de pares de hojas de plántulas de *Coffea arabica* L. a los 30, 60, 90, 120 y 150 DDA de 3 fitorreguladores, bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Número de pares de hojas				
	Días después de la aplicación				
	30	60	90	120	150
	ns	ns	ns	**	***
T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %)	4,40	5,27	6,27	7,40 [a]	11,87 [a]
T3 (GA3 - 25 ppm)	4,67	5,00	5,80	7,00 [a]	9,67 [b]
T2 (KIN - 0,2 ppm)	4,60	5,13	6,00	6,67 [ab]	8,20 [c]
T4 (Testigo)	4,33	4,73	5,33	6,07 [b]	7,53 [c]

ns = no significativo; p<0.05 significativo (*); p<0.01 muy significativo (**); p<0.001 altamente significativo (***)

6.1.1.4. Superficie foliar por planta.

Dentro de la superficie foliar por planta se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento T1 (ANA – 5 ppm) con el valor mayor de 1 449,90 cm^2 y T3 (AG3 – 25 ppm) con 1 280,27 cm^2, diferenciándose con los tratamientos T2 (KIN – 0,2 ppm) con el valor de 824,88 cm^2 y T4 (Testigo) que resultó ser el menor valor con 611,42 cm^2 a los 150 DDA (Tabla 5).

Tabla 6. Superficie foliar por planta en plántulas de *Coffea arabica* L. a los 30, 60, 90, 120 y 150 DDA de 3 fitorreguladores, bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Superficie foliar por planta (cm^2)				
	Días después de la aplicación				
	30	60	90	120	150
	ns	ns	ns	ns	***
T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %)	225,51	391,40	469,22	589,40	1449,90 [a]
T3 (GA3 - 25 ppm)	219,71	316,93	369,16	465,41	1280,27 [a]
T2 (KIN - 0,2 ppm)	238,59	324,98	380,34	452,05	824,88 [b]
T4 (Testigo)	204,71	222,43	251,32	295,57	611,42 [b]

ns = no significativo; p<0.05 significativo (*); p<0.01 muy significativo (**); p<0.001 altamente significativo (***)

6.1.2. Variables morfológicas destructivas

6.1.2.1. Longitud de la raíz principal.

En la Figura 4 se muestran los resultados pertenecientes a la longitud de la raíz principal, el T1 (ANA – 5 ppm) presentó el mayor valor con 30,09 cm y T2 (KIN – 0,2 ppm) con 28,87 cm, resultandos superiores estadísticamente al tratamiento T4 (Testigo), siendo este último el que menor valor reflejó.

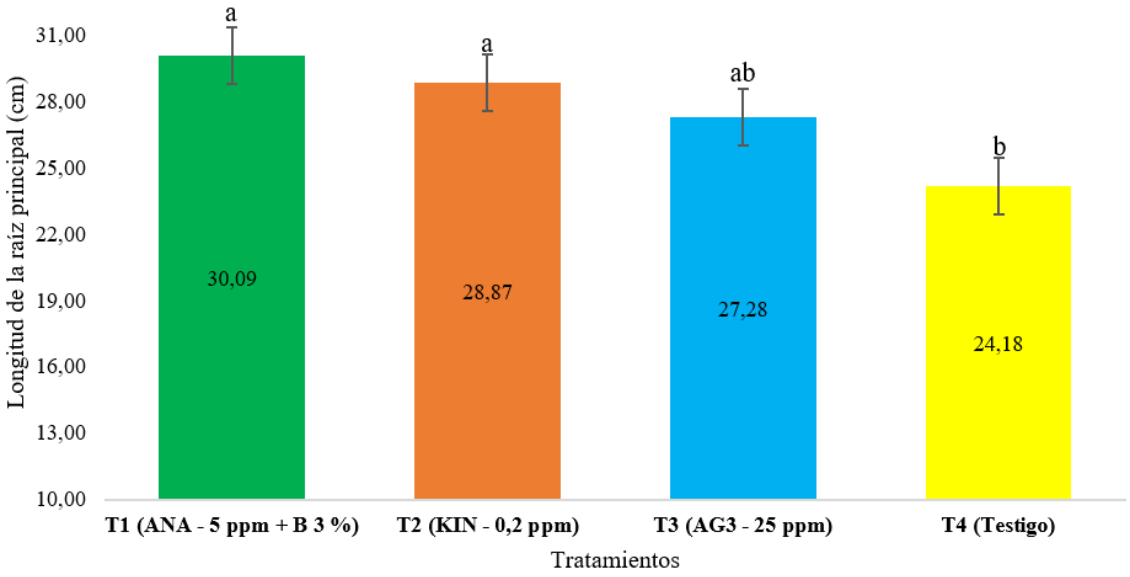


Figura 4. Longitud de la raíz principal de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero.

6.1.2.2. Volumen de la raíz.

El tratamiento T2 (KIN – 0,2 ppm), T1 (ANA – 5 ppm) y T3 (AG3 – 25 ppm) con 16,60, 15,47 y 14,80 cm^3 respectivamente, resultaron estadísticamente superiores al T4 (Testigo) que resultó con el valor menor de 16,60 cm^3. (Figura 5).

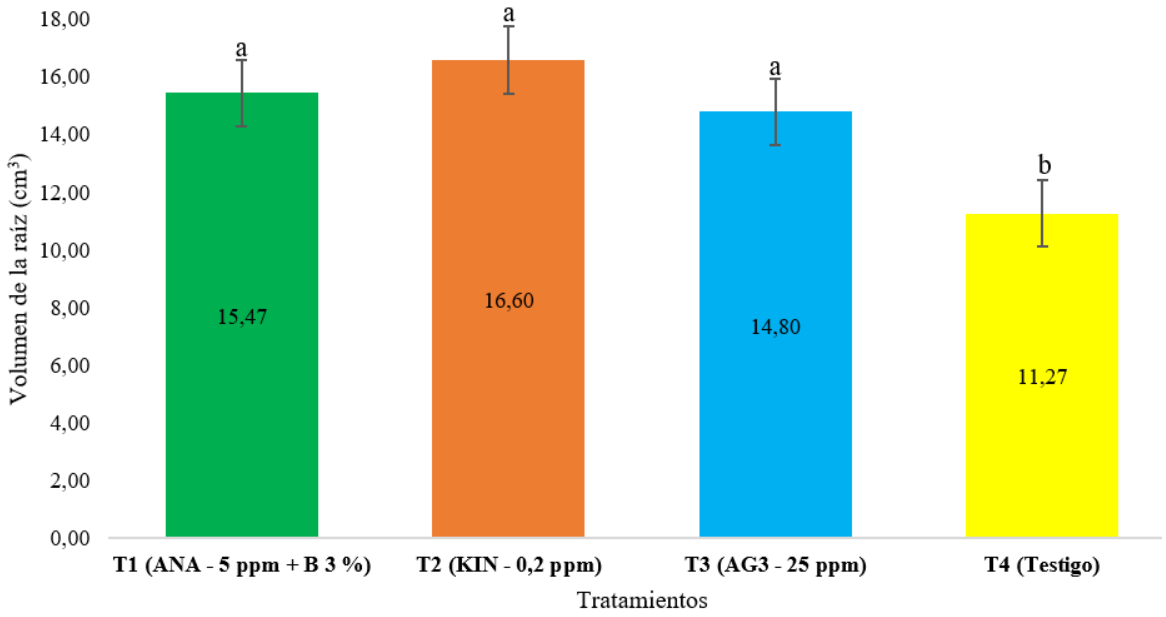


Figura 5. Volumen de la raíz de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero.

6.1.2.3. Biomasa aérea seca.

Dentro de la biomasa seca de la parte aérea, el tratamiento T1 (ANA – 5 ppm) presentó el valor mayor de 8,57 g, resultando estadísticamente diferente a los demás tratamientos (Tabla 6).

Tabla 7. Biomasa aérea seca de la parte aérea de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Biomasa aérea seca (g)
	150 días después de la aplicación
	*
T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %)	8,57 [a]
T3 (GA3 - 25 ppm)	5,50 [b]
T2 (KIN - 0,2 ppm)	4,60 [b]
T4 (Testigo)	4,12 [b]

ns = no significativo; p<0.05 significativo (*); p<0.01 muy significativo (**); p<0.001 altamente significativo (***).

6.1.2.4. Biomasa seca de raíces

La biomasa seca de raíces mostró diferencias significativas entre los tratamientos, donde el T1 (ANA – 5 ppm) resultó con el valor mayor de 2,69 g, mientras que el tratamiento T4 (Testigo) presentó el menor valor d 2,01 g (Tabla 7).

Tabla 8. Biomasa seca de raíces de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Biomasa seca de raíces (g)
	150 días después de la aplicación
	*
T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %)	2,69 [a]
T2 (KIN – 0,2 ppm)	2,45 [ab]
T3 (AG3 - 25 ppm)	2,26 [ab]
T4 (Testigo)	2,01 [b]

ns = no significativo; p<0.05 significativo (*); p<0.01 muy significativo (**); p<0.001 altamente significativo (***)

- **Relación proporcional de la materia seca de la parte aérea y parte radical.**

En la proporción de la masa seca aérea sobre la masa radical, T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) resultó con el valor mayor de 3,53, mientras que el tratamiento T2 (KIN – 0,2 ppm) con 1,93 fue el que resultó con el menor valor.

6.1.2.5. Índice de Calidad de Dikson.

En la Tabla 8 se evidencia el índice de calidad de Dikson, donde T1 (ANA – 5 ppm) presentó el mayor valor con 1,35, mientras que el tratamiento T4 (Testigo) resultó ser el que menor valor presentó con 0,98.

Tabla 9. Índice de calidad de Dikson de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Índice de calidad de Dikson
	150 días después de la aplicación
T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %)	1,35
T3 (GA3 - 25 ppm)	1,14
T2 (KIN - 0,2 ppm)	1,02
T4 (Testigo)	0,98

ns = no significativo; p<0.05 significativo (*); p<0.01 muy significativo (**); p<0.001 altamente significativo (***)

6.2. Variables Fisiológicas.

6.2.1. Estimación del contenido de clorofila en las hojas

El contenido de clorofila en unidades SPAD a los 150 DDA, mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, donde T2 (KIN - 0,2 ppm) resultó ser el valor mayor con 65,1 SPAD, mientras que el tratamiento T4 (Testigo) resultó con el valor menor de 51,65 (Tabla 9).

Tabla 10. Estimación del contenido de clorofila en las hojas de *Coffea arabica* L. a los 30 y 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Estimación del contenido de clorofila en las hojas (SPAD)	
	Días después de la aplicación	
	30	150
	*	**
T2 (KIN - 0,2 ppm)	53,55 [a]	65,11 [a]
T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %)	53,58 [a]	62,15 [ab]
T3 (GA3 - 25 ppm)	51,50 [ab]	58,43 [ab]
T4 (Testigo)	50,60 [b]	51,65 [b]

ns = no significativo; p<0.05 significativo (*); p<0.01 muy significativo (**); p<0.001 altamente significativo (***).

6.2.2. Densidad estomática e índice estomático.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, el tratamiento T3 (AG3 - 25 ppm) resultó con el mayor valor en la densidad estomática con 162,42 estomas/mm^2, mientras que el tratamiento T4 (Testigo) presentó el promedio menor con 108,75 estomas/mm^2, de igual manera, T3 resultó con el mayor promedio del índice estomático con 20,41, siendo el tratamiento T4 el que menor índice presentó con 15,04 (Tabla 10).

Tabla 11. Densidad e índice estomático de *Coffea arabica* L. a los 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Número de estomas en 1 mm^2	Número de células epidérmicas en 1mm^2	Índice estomático en 1 mm^2
	150 días después de la aplicación		
	Ns	ns	ns
T3 (GA3 - 25 ppm)	162,42	634,08	20,41
T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %)	118,50	618,17	16,05
T2 (KIN - 0,2 ppm)	116,33	620,83	15,65
T4 (Testigo)	108,75	608,75	15,04

ns = no significativo; p<0.05 significativo (*); p<0.01 muy significativo (**); p<0.001 altamente significativo (***)

6.2.3. Conductancia estomática.

Dentro de la presente variable no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, no obstante, el T3 (AG3 - 25 ppm) presentó el promedio mayor con 254,38 mmol/m^2/s, mientras que el tratamiento T4 (Testigo) resultó ser el menor promedio con 221,86 mmol/m^2/s, a los 150 DDA (Tabla 11)

Tabla 12. Conductancia estomática de *Coffea arabica* L. a los 30, 90 y 150 DDA de los tratamientos, bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Conductancia estomática (mmol/m^2/s)		
	DDA		
	30	90	150
	Ns	ns	ns
T3 (GA3 - 25 ppm)	199,91	215,40	254,38
T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %)	208,51	208,23	251,56
T2 (KIN - 0,2 ppm)	205,89	212,88	229,71
T4 (Testigo)	201,60	204,41	221,86

ns = no significativo; p<0.05 significativo (*); p<0.01 muy significativo (**); p<0.001 altamente significativo (***).

7. Discusión

En la presente investigación el tratamiento T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) fue superior estadísticamente al tratamiento T4 Testigo, en la variable de altura de la planta, los resultados concuerdan con González Vega et al. (2015) quienes evaluaron un producto biológico compuesto por diferentes tipos de auxinas bajo condiciones controladas, cuando las plántulas obtuvieron su primer par de hojas, donde la dosificación media del producto resultó ser estadísticamente superior al tratamiento control. Así mismo, Huaman (2023) utilizó ácido indolacético (AIA), ácido naftalenacético (ANA), ácido indolbutírico (AIB) y su testigo, en donde los tratamientos auxínicos obtuvieron diferencias superiores estadísticamente significativas, respecto al tratamiento control absoluto en la variable de altura de la planta.

Matamoros-Quesada et al., (2020) concluyeron que se debe utilizar recursos hormonales como las auxinas en complementariedad con nutrimentos, para estimular la altura de las plántulas en fase de vivero, ellos obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento T3 (Hormona + multiminerales) y el T10 (testigo), esto a los 120 días después del trasplante. La teoría apunta a que una de las principales acciones de las auxinas es la división y elongación celular en el ápice del tallo, estimulando su crecimiento, lo que se traduce a la elongación de la yema apical reflejado en la altura de la planta (Borjas-Ventura et al., 2020).

Referente a la variable de diámetro del tallo, en donde el tratamiento T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) mostró diferencias estadísticamente significativas y de superioridad frente al tratamiento T4 Testigo; esto concuerda con la investigación de González et al. (2015) en la cual, su bioproducto a base de auxinas presentó valores que resultaron ser estadísticamente superiores al tratamiento testigo en la variable del diámetro del tallo. La teoría señala que las auxinas mantienen un papel importante en la diferenciación del cambium vascular, es decir, que estas participan en la diferenciación de las células que dan origen al floema y al xilema, el número de elementos xilemáticos presentes en el tallo es proporcional a la cantidad de auxinas presentes en la planta Jordán y Casaretto, (2006), al momento de darse la elongación y división celular de estos meristemos se está produciendo un crecimiento secundario reflejado en el diámetro del tallo (Megías et al., 2023).

El transporte a largas distancias de las auxinas es importante para el desarrollo de la planta, cumpliendo un papel fundamental en la ramificación del tallo Garay-Arroyo et al. (2014), Como

tal, en la presente investigación no existe una influencia directa de las auxinas sobre el número de pares de hojas en el café, pero si existe una influencia en la ramificación de este, y por tanto al tener *Coffea arabica* un tipo de crecimiento ortotrópico en donde a medida que va creciendo la planta, sus ramas se van diferenciando de dos en dos y esta a su vez a medida que se van alejando del tallo, van obteniendo un nuevo par de hojas cada una, provocando que se vea reflejado un incremento en el número de pares de hojas. En la presente investigación, el tratamiento T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) presentó un promedio estadísticamente superior en dicha variable respecto al tratamiento T4 Testigo, como una respuesta indirecta por la influencia de las auxinas sobre el estímulo de la ramificación del tallo, esto en concordancia con González et al., (2015) quienes a los siete meses después del trasplante, también obtuvieron resultados favorables en café sobre el número de hojas, en los que el tratamiento auxínico resultó ser estadísticamente superior al testigo.

En un estudio realizado por Brito et al. (2016) utilizaron paclobutrazol como ingrediente activo para inhibir la síntesis de giberelinas en las plantas, los resultados mostraron que a mayor cantidad del producto, el área foliar tiende a disminuir hasta un 27 % respecto al testigo, mientras que en la presente investigación se evidencia como el tratamiento T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) es superior en promedio del T3 (GA3 - 25 ppm) en la variable de área foliar y superior estadísticamente al tratamiento T4 Testigo, pero esta variable se encuentra influenciada en función del número de pares de hojas, en donde el tratamiento auxínico resultó ser superior a los demás tratamientos y por tanto influyó sobre la superficie foliar total de la planta, siendo así, en un estudio realizaron diferentes aplicaciones de giberelinas a plantas de tomate, en donde la variable del largo y ancho de la hojas resultó ser estadísticamente superior en las tres dosificaciones del producto respecto al testigo, concluyendo que a mayor dosis de giberelinas mayor es el largo y ancho de la hoja (Ortega-Martínez et al. (2013); esto se debe a que las giberelinas promueven la división y elongación celular en las hojas jóvenes según Alcantara et al. (2019) lo que se traduce al ensanchamiento e incremento en el área foliar (Silva et al., 2016).

En la variable de longitud de la raíz principal de la presente investigación, el tratamiento T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) resultó ser estadísticamente superior al tratamiento T4 Testigo, estos resultados concuerdan con (Huaman, 2023) quien enraizó estaquillas de café para comprobar el efecto de ciertas auxinas como el AIA, AIB y ANA sobre dicho material vegetal, en la variable de longitud de la raíz el tratamiento de ANA presentó un promedio estadísticamente superior al

tratamiento control, de igual manera Mejía (2022), en su estudio realizado en Santa Elena, resultó con promedios superiores sobre la longitud de la raíz, al utilizar ANA para propagar esquejes de café, resultando estadísticamente superior al testigo, así mismo Aleaga (2022) obtuvo resultados favorables en tomate al utilizar AIA, ANA y AIB sobre la longitud de la raíz, mientras que el tratamiento control mostró los valores más bajos.

En la presente investigación los resultados de la variable del volumen de la raíz, mostraron que el tratamiento T2 (KIN - 0,2 ppm) resultó estadísticamente superior al tratamiento T4 Testigo, esto concuerda con los resultados obtenidos en un estudio realizado en Jipijapa-Ecuador, en donde (Cantos et al., 2018) injertaron estacas de *Coffea arabica* sobre patrones de *C. canephora*, evaluado los injertos a los 180 días después de la injertación, aplicaron citoquininas de tipo Kinetina con su respectivo control, en la variable de volumen de la raíz, se evidenciaron que los promedios de las injertaciones acompañadas con el fitorregulador mostraron valores estadísticamente superiores a los tratamientos sin este, de igual manera Pinargote y Tigua (2019) obtuvieron promedios superiores al utilizar Kinetinas por encima de los tratamientos control, esto en la variable de volumen de la raíz en café. La teoría de Alcantara et al., (2019) señala que una de las razones por la que el volumen radicular es elevado por las Kinetinas, es por su inducción a la división y elongación celular a nivel radicular y a la iniciación de nuevas raíces.

Castro y Gadea (2022) utilizaron diferentes productos hormonales para identificar los efectos morfológico sobre *Psychotria ipecacuana*, en donde los tratamientos T2 (ANA + AIB) y T3 (AIB) resultaron estadísticamente superiores al T1 Testigo en la variable de masa seca de la parte superior, incluso siendo estadísticamente superiores a tratamientos con otras hormonas como giberelinas y citoquininas, De igual manera Mendoza, (2007) extrajo la materia seca de los brotes injertados de cacao, en donde 120 días antes había aplicado diferentes dosificaciones de ácido indol butírico, obteniendo valores estadísticamente superiores en los tratamientos auxínicos sobre el tratamiento control, éstos resultados se asemeja a los de la presente investigación, en donde el tratamiento T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) provocó un estímulo en la ramificación aérea y la dominancia apical de las plantas sometidas a su efecto, siendo así que al momento de extraer el peso de la biomasa seca aérea, el valor del tratamiento del T1 resultó estadísticamente superior sobre los demás tratamientos, esto como efecto secundario por la mayor acumulación de materia seca que se encuentra abundante en el tallo y su ramificación (Riaño-Herrera et al., 2004).

La variable de biomasa seca de las raíces de la presente investigación mostró resultados estadísticamente superiores en el tratamiento T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) por encima del T4 Testigo, esto concuerda con una investigación realizada para identificar la eficiencia de diferentes enraizantes sobre *Coffea canephora* en donde Mejía (2022) extrajo la materia seca de la raíz de plántulas de café, resultando el tratamiento T1 (Hormonagro-ANA) estadísticamente superior al tratamiento testigo sin hormona. De igual manera Castroy Gadea (2022) también extrajeron la materia seca de la parte radical de sus plantas de *Psychotria ipecacuanha* siendo los tratamientos auxínicos quienes resultaron estadísticamente superiores al tratamiento testigo, así mismo, Mendoza 2007 informó que los niveles elevados de AIB proporcionan el incremento de la materia seca en las raíces, en donde las diferentes dosificaciones de esta hormona obtuvieron valores estadísticamente superiores al tratamiento control absoluto.

Encalada et al., (2018) utilizó diferentes tipos de sustratos en café bajo invernadero, mismos que proporcionaron diferentes estímulos en la masa seca de las plántulas, en donde el tratamiento T10 resultó con el valor mayor de 3,51, esto quiere decir que por cada 1 gramo de la masa seca de la parte radicular existen 3,51 g de la masa seca de la parte aérea, en la presente investigación, la relación que existe entre la masa seca de la parte aérea y la masa seca de la parte radical, fue superior en el T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) debido a la influencia de este tratamiento sobre las variables morfológicas de la parte aérea, mientras que el tratamiento T2 (KIN - 0,2 ppm) presentó el menor valor, debido a la influencia del mismo sobre la parte radicular.

Jordán y Casaretto (2006) mencionan que las auxinas en general son empleadas a la hora de obtener plántulas de alta calidad en la agricultura forestal, productiva y ornamental, así mismo (Barbat, 2006) señala la importancia de auxinas como el AIA, AIB, y ANA para la obtención de resultados favorables en características como la materia seca, altura de la planta y diámetro del tallo, mismos parámetros que consideró Dickson et al., (1960) a la hora de obtener su índice de calidad. En la investigación el tratamiento T1 (ANA - 5 ppm + B 3 %) ha destacado entre los demás tratamientos en la mayoría de las variables morfológicas, es por ello por lo que al considerar el índice de calidad de Dikson, los resultados demuestran la superioridad de este tratamiento sobre los demás y en especial sobre el tratamiento T4 Testigo, mismo que resultó el valor menor de dicha variable.

En el presente trabajo los valores de la estimación del contenido de clorofila al finalizar los 150 DDA de los tratamientos ha resultado mayor en el tratamiento T2 (KIN - 0,2 ppm) siendo estadísticamente superior al tratamiento T4 (Testigo), esto concuerda con un estudio realizado por Piotrowska y Czerpak (2009) en donde analizaron diferentes dosis de citoquininas correlacionándolas con un mayor contenido de clorofila en *Chlorella vulgaris*, obteniendo resultados de entre 1,5 y 2 veces mayores por parte del fitorregulador por encima del testigo, por su parte Jordán y Casaretto (2006) mencionan que las citoquininas aportan al retraso la senescencia de las hojas aumentado considerablemente los niveles de clorofila en las mismas, concordando con Silva (2022);Divo de Sesar, (2004); quienes afirman que las citoquininas elevan los contenidos clorofila en las hojas.

Saibo et al. (2003) en su investigación sobre el papel que cumple el ácido giberélico sobre la división celular, la agrupación y número de estomas, afirman que las giberelinas son necesarias para la aparición de estomas, en donde los niveles medios de dicho regulador, aumenta la presencia de estomas en las hojas, así mismo Alcantara et al., (2019) menciona la importancia de la giberelina para la obtención de un área foliar más grande, y a su vez esto provocaría un efecto involuntario de la giberelinas sobre el número de estomas, ya que en una área foliar más grande provoca que el metabolismos de la misma planta se acelere creando nuevos y más estomas en las hojas; Mientras que en la variable del número de estomas de la presente investigación, obtenida al cumplirse los 150 DDA de los tratamientos, el T3 (GA3 - 25 ppm) demostró un promedio superior al testigo, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre estos, debido al corto periodo de evaluación y a la edad de las hojas, es decir que plantas de mayor edad mantienen mayor número de estomas, debido a que el metabolismo de las hojas es constante llegando a su punto más alto mientras más se acerque la senescencia foliar. La elongación celular ha jugado un papel importante, puesto una célula más grande ocupa relativamente mayor espacio en 1 mm^2.

El índice estomático (IE) es la relación que existe entre el número de estomas y la cantidad de células epidérmicas por mm^2 según Han et al., (2018). Siendo así, en la presente investigación el tratamiento T3 (GA3 - 25 ppm) ha mostrado su superioridad en los promedios de la variable en cuestión respecto al T4 (Testigo), pero sin diferencias estadísticamente significativas entre estos, al cumplirse los 150 DDA, esto debido a la influencia de un promedio relativamente elevado del número de células epidérmicas, considerando esto, al momento de utilizar la fórmula del IE el

promedio del número de estomas en relación con las células epidérmicas provocaron que la variable en cuestión obtenga un mayor índice en el T3, esto concuerda con (Wilkinson, 1979) en donde su fórmula está diseñada para que a mayor cantidad de células epidérmicas provoque una disminución en el índice estomático, mientras que un promedio relativamente mayor en el número de estomas, provoca un incremento en el índice estomático.

En la variable de la conductancia estomática no se identificaron diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos en cuanto a los promedios de la presente investigación. La teoría de Oliveros y Caicedo (2023) menciona que esto sucede debido a que esta variable se encuentra estrechamente relacionada a la apertura y cierre de los estomas, en donde el número de estomas sí es importante, pero si estos se encuentran cerrados no influyen directamente sobre la conductancia estomática, más bien son elementos como el K^{+} y Ca^{++} los encargados de apertura de los estomas, de igual manera Melgarejo (2010); Cai et al., (2017) mencionan la importancia de fitorreguladores como el ácido abscísico (ABA) sobre la apertura y cierre de estomas, siendo crucial bajo ciertas condiciones de carencias hídricas, de igual manera Toral (2023) menciona que el ABA no interfiere en procesos de cierre de estomas en condiciones de inundaciones, puesto que la planta reprime su presencia y así incrementar su evapotranspiración.

8. Conclusiones

- A los 90, 120 y 150 días después de la aplicación de los fitorreguladores de crecimiento, los mejores resultados se presentaron con el T1 (ANA – 5 ppm) en la mayoría de las variables morfológicas, encontrándose diferencias estadísticamente significativas respecto al testigo.
- Los fitorreguladores no mostraron diferencias estadísticamente significativas respecto al testigo en las variables fisiológicas, a excepción de la estimación del contenido de clorofila en las hojas, en donde el T2 (KYN – 2 ppm) resultó superior a los demás tratamientos.
- El cultivo de café puede tener un óptimo crecimiento en su desarrollo inicial con la aplicación de fitorreguladores de crecimiento, puesto que estos provocan estímulos a órganos como raíz, tallo y hojas en la planta para alentar su crecimiento.

9. Recomendaciones

- Realizar una medición cero de las variables, previo a la aplicación de los tratamientos para tener una idea de cómo llegan las plántulas al diseño.
- Alargar el período de medición, puesto que cinco meses no es tiempo suficiente para obtener datos que ayuden a diferenciar todos los efectos en cada uno de los tratamientos en todas las variables.
- Evaluar otros reguladores de crecimiento importantes para la fisiología de las plantas como el ácido abscísico (ABA).
- Utilizar estos mismos fitorreguladores para evaluar características referentes a la producción y rendimiento en plantaciones de café.
- Realizar pruebas del efecto de estos mismos fitorreguladores en platas de café bajo condiciones de campo.

10. Bibliografía.

Agroactivo. (2023). *Estimulante radicular Hormonagro 1*. https://agroactivocol.com/producto/sanidad-vegetal-alimentos-saludables/coadyuvantes-y-reguladores-fisiologicos/estimulante-radicular-hormonagro-1/

Alcantara Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., & Sánchez Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA, 17*, 109–129.

Aleaga Villacís, P. I. (2022). Influencia de fitohormonas en la regeneración in vitro de Solanum tuberosum L. vía organogénesis directa. Universidad Técnica de Ambato.

Álvarez Bello, I., & Reynaldo Escobar, I. M. (2015). Efecto del pectimorf® en el índice estomático de plantas de frijol (Phaseolus vulgaris L.). *Cultivos Tropicales, 36*(3), 82–87. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193242312021

Arreaga-Ronquillo, E., Quezada-Campoverde, J., Barrezueta-Unda, S., Cervantes-Alava, A., & Prado-Carpio, E. (2021). Impacto económico generado por la producción cafetalera en Ecuador en el periodo 2016- 2019. *593 Digital Publisher CEIT*, *6*(6), 83–91. https://doi.org/10.33386/593dp.2021.6.732

Banco Central del Ecuador [BCE]. (2021). Cuenta corriente registra superávit de USD 726,8 millones en primer trimestre de 2021. Boletín de prensa.

Barbat, T. (2006). La multiplicación de las plantas. *Viveros II*.

Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A., & Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, *8*(2), 150–164. https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150

Brito, C., Matsumoto, S., Santos, J., Gonçalves, D., & Ribeiro, A. (2016). Efeito do paclobutrazol no desenvolvimento de plantas de girassol ornamental. *Revista de Ciências Agrárias*, *39*(1), 153–160. https://doi.org/10.19084/RCA15044

Cai, S., Chen, G., Wang, Y., Huang, Y., Marchant, D. B., Wang, Y., Yang, Q., Dai, F., Hills, A., Franks, P. J., Nevo, E., Soltis, D. E., Soltis, P. S., Sessa, E., Wolf, P. G., Xue, D., Zhang,

G., Pogson, B. J., Blatt, M. R., & Chen, Z.-H. (2017). Evolutionary Conservation of ABA Signaling for Stomatal Closure. *Plant Physiology*, *174*(2), 732–747. https://doi.org/10.1104/pp.16.01848

Cantos Cevallos, G., Pinargote Choéz, J., & Palma Ponce, R. (2018). Influencia de la fitohormona kinetina en el crecimiento de plántulas de *Coffea arábiga* L. injertadas sobre patrón robusta en vivero. . *Revista Cubana De Ciencias Forestales*, *6*(2). https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/327

Castro Castillo, R. A., & Gadea Rivas, A. (2022). Efecto de promotores de rizogénesis sobre el crecimiento de esquejes terminales de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en San Carlos, Costa Rica. . *Revista AgroInnovación En El Trópico Húmedo*, *3*(2), 19–28.

Castro Ramos, J. J., Solís Oba, M. M., Castro Rivera, R., & Calderón Vázquez, C. L. (2019). Minireview: Uso de fitorreguladores en el manejo de cultivos agrícolas. *Frontera Biotecnológica*.

Chamorro, A. M., & Tamagno, L. N. (2005). Producción de materia seca aérea y radical de colza primaveral (*Brassica napus* L. ssp oleifera forma annua). *Revista de la Facultad de Agronomía*, *105*(2), 53–62.

Chichipe Oyarce, J., Camacho, A., Bobadilla, L. G., Vigo, C. N., Vásquez, H. V., & Silva Valqui, G. (2021). Clonal Propagation of *Coffea arabica* with Indole Butyric Acid and Acclimatization Conditions in Amazonas, Peru. *International Journal of Agronomy*, *2021*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2021/8590590

Delgado, P., Larco, A. M., García, C. E., Alcívar, R., William, M., Chilán, P., Patiño, M., & Manta -Ecuador, C. (2002). *Informe de Terminación de Proyecto Manejo Integrado de la Broca del Café*.

Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. Horticom.

Divo de Sesar, M. D. (2004). Integración de estudios fisiológicos, histológicos y bioquímicos del proceso de enraizamiento, rustificación y crecimiento posterior de especies de importancia

agronómica suplementadas con citoquininas [Universidad de Nuevos Aires]. http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n4316_DivodeSesar

Ecuaquímica. (2023a). *Citokyn*. Ficha técnica. http://www.ecuaquimica.com.ec/producto/cytokin/

Ecuaquímica. (2023b). *Ficha técnica Newgibb 10 %*. http://www.ecuaquimica.com.ec/producto/newgibb-90-ps/

Mejía, Á. L. (2022). Eficacia de enraizantes en la clonación de genotipos de Coffea canephora Pierre. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, *4*(5), 164–171.

Encalada, M., Fernández, P., Jumbo, N., Alejo, A., & Reyes, L. (2018). Evaluación del crecimiento de plántulas de *Coffea arabica* L.c.v. caturra en condiciones de vivero con diferentes sustratos yrecipientes. *Bosques Latitud Cero*, *8*(1), 70–84.

Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua [ESPAC]. (2022). *Tabulados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2022*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/

FARMAGRO. (2023). *Trichotic - 100GR*. Producto ficha técnica. https://www.farmagro.com/detalle-producto/trichotic-100gr-1

Garay-Arroyo, A., De la Paz Sánchez, M., García-Ponce, B., Álvarez-Buylla, E. R., & Gutiérrez, Crisanto. (2014). La Homeostasis de las Auxinas y su Importancia en el Desarrollo de *Arabidopsis Thaliana*. *REB. Revista de educación bioquímica*, *22*, 13–12.

González Vega, M. E., Rosales Jenqui, P., Castilla Valdés, Y., Lacerra Espino, J. Á., & Ferrer Viva, M. (2015). Efecto del bioenraiz ® como estimulante de la germinación y el desarrollo de plántulas de cafeto (*Coffea arabica* L.). *Cultivos Tropicales*, *36*(1), 73–79. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193237111009

Google Earth. (2023). Datos Geográficos del banco de Germoplasma de la Universidad de Loja (v2023).

Gordillo, A., Rodríguez, L., Salas, M., & Rosales, M. (2020). Effect of salicylic acid on the germination and initial growth of coffee (*Coffea arabica* L. var. Costa Rica 95). *Revista de*

la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, *38*(1), 43–59. https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n1.03

Han, X., Hu, Y., Zhang, G., Jiang, Y., Chen, X., & Yu, D. (2018). Jasmonate Negatively Regulates Stomatal Development in Arabidopsis Cotyledons. *Plant Physiology*, *176*(4), 2871–2885. https://doi.org/10.1104/pp.17.00444

Herrera Pinilla, J. C., & Cortina Guerrero, H. A. (2013). Taxonomía y clasificación del café. *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*, *1*, 117–121. https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4320/1/cenbook-0026_07.pdf

Huaman Quispe, A. E. (2023). Efecto de tres auxinas en la propagación asexual de tres variedades de *Coffea arabica* l. en vivero. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO (IEE), & MAGAP (SINAGAP). (2013). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Escala 1: 25 000" geomorfología*. https://www.geoportaligm.gob.ec/descargas_prueba/loja.html

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2019). *Manual de producción sostenible de café*. IICA. http://www.iica.int

Jordán, M., & Casaretto, J. (2006). Capítulo XV Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. 15.

León-Serrano, L. A., Matailo-Pinta, A. M., Romero-Ramón, A. A., & Portalanza-Chavarría, C. A. (2020). Ecuador: producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Revista Científica UISRAEL*, *7*(3), 97–114. https://doi.org/10.35290/rcui.v7n3.2020.324

Matamoros-Quesada, A., Mesén-Sequeira, F., & Jiménez-Alvarado, L. D. (2020). Efecto de fitohormonas y fertilizantes sobre el enraizamiento y crecimiento de mini-estaquillas de híbridos F1 de café (*Coffea arabica*). *Revista de Ciencias Ambientales*, *54*(1), 58–75. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070594004

Megías, M., Molist, P., & Pombal, MA. (2023). *Atlas de histología vegetal y animal*. http://mmegias.webs.uvigo.es/inicio.html.

Melgarejo, L. M. (2010). *Experimentos en fisiología vegetal* (1a ed.). Charlie´s impresores Ltda.

Mellado Bosque, J. A. (2013). *Diseño completamente al azar Partes de la varianza*. http://www.uaaan.mx/~jmelbos/cursoma/made6.pdf

Mendoza Reynaga, W. H. (2007). Efecto de dos tipos de sustrato y tres concentraciones de acido indolbutirico en la propagacion por estacas del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Universidad Agraria de la Selva.

Ministerio de Agricultura Y Ganadería [MAG]. (2018). *Variedades cafés PNCC Brasil*.

Oliveros Díaz, M., & Caicedo Vera, J. A. (2023). La conductancia estomática (gs), importancia función y factores de influencia. Medición de la conductancia estomática (gs) a través del porómetro de difusión estable en diferentes cultivos.

Ortega-Martínez, L. D., Ocampo Mendoza, J., Martínez Valenzuela, C., Pérez Serrano, A., & Sánchez Olarte, J. (2013). Efecto de las giberelinas sobre el crecimiento y calidad de plántulas de tomate. *Biotecnia*, *15*(3), 56–60. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971124009

Pinargote Chóez, J., & Tigua Gutiérrez, L. E. (2019). Efectos de la fitohormona kinetina en el crecimiento de plántulas de la especie arábiga injertadas sobre patrón robusta en vivero. Universidad Estatal del Sur de Manabú.

Piotrowska, A., & Czerpak, R. (2009). Cellular response of light/dark-grown green alga *Chlorella vulgaris* Beijerinck (Chlorophyceae) to exogenous adenine- and phenylurea-type cytokinins. *Acta Physiologiae Plantarum*, *31*(3), 573–585. https://doi.org/10.1007/s11738-008-0267-y

Riaño-Herrera, N. M., Arcila-Pulgarín, J., Jaramillo-Robledo, Á., & Chaves-Córdoba, B. (2004). Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central (Vol. 55, Número 4).

Robledo D'Angelo, O. (2016). Enfermedad de marchitamiento fúngico en plántulas delechuga: un modelo didáctico-experimental para la enseñanza de los postulados de Koch. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *13*(3), 680–685. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92046968012

Rodríguez Mendoza, Ma. de las N., Alcántar González, G., Aguilar Santelises, A., Etchevers Barra, J. D., & Santizó Rincón, J. A. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoamericana*, *16*(2), 135–141. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57316204

Sadeghian Khalajabadi, S. (2013). Nutrición del café en la etapa de almácigo. *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*, *2*, 22–26. https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4328/1/cenbook-0026_16.pdf

Saibo, N. J. M., Vriezen, W. H., Beemster, G. T. S., & Van Der Straeten, D. (2003). Growth and stomata development of *Arabidopsis* hypocotyls are controlled by gibberellins and modulated by ethylene and auxins. *The Plant Journal*, *33*(6), 989–1000. https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.2003.01684.x

Silva Agurto, C. L. (2022). Establecimiento in vitro de un banco de plantas donantes de Solanum tuberosum Var. Cecilia. Universidad Técnica de Ambato.

Silva Garza, M. A., Gámez González, H. Z., García, F., Cuevas Hernández, B., & Rojas Garcidueñas, M. (2016). Efecto de cuatro fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. *Ciencia UANL*, *4*(1), 69–75.

Toral, M. (2023). Ácido abscísico y etileno no influyen en el cierre estomático y tolerancia de coffea canephora a la inundación (p. 167).

Uribe Alonso, R., & Rodríguez Díaz, E. (2018). Evaluación del efecto de tres tratamientos de fertilización (más un testigo DAP) en el desarrollo aéreo y radicular de colinos de café variedad castillo. *Revista Matices Tecnológicos*, *10*, 32–37. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8994022&info=resumen&idioma=SPA

Venegas Sánchez, S., Orellana Bueno, D., & Pérez Jara, P. (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *RECIMUNDO*, 72–91. https://doi.org/10.26820/recimundo/2.(2).2018.72-91

Vignola, R., Watler, W., Poveda, K., Céspedes, A., Aguilar, M., Rivera, P., Coordinadora, V., & Morales, M. (2018). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de café en costa rica*.

Villalón-Mendoza, H. (2016). Indicadores de calidad de la planta de Quercus canby Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, *12*(1), 46–52.

Wilkinson, H. (1979). *The plant superface (mainly leaf)*. Oxford, Claredon Press.

Zapata, O., & Jiménez, J. (2016). Evaluación agromorfológica de dos variedades de café arábiga (*Coffea arábiga* l.) En tres localidades del cantón caluma, provincia bolívar, ecuador. Avances. *Revista de Investigación Talentos*, *3*(2). https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/62

11. Anexos

Anexo 1. Creación del sustrato de producciones 1;1;1 (Tierra de montaña, turba y arena).

Anexo 2. Inoculación de *Trichoderma* spp al sustrato (*Tichotic).*

Anexo 3. Trasplante de las plántulas de café *Coffea arabica* var. Oeiras.

Anexo 4. Trasplante de las plántulas de café *Coffea arabica* var. Oeiras.

Anexo 5. Fitorreguladores comerciales utilizados

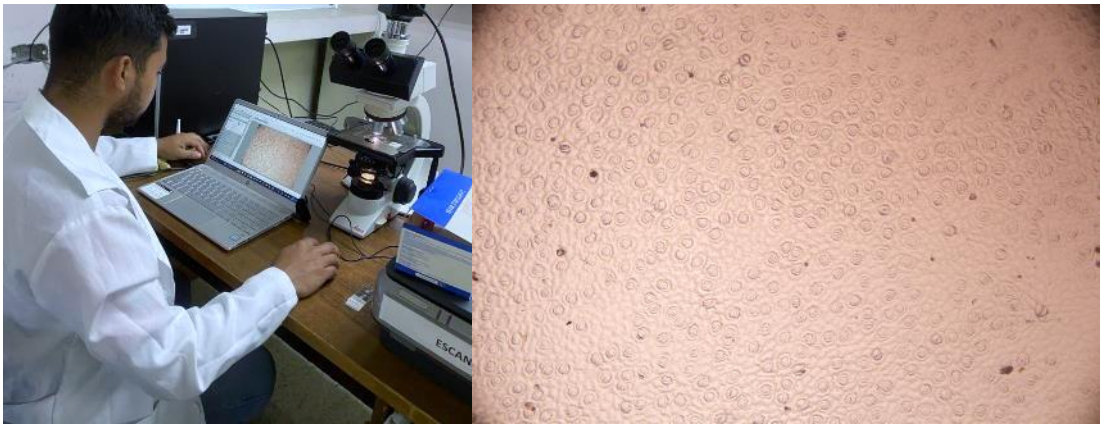
Anexo 6. Aplicación de los tratamientos

Anexo 7. Toma de datos para la variable de contenido de clorofila con el dispositivo SPAD.

Anexo 8. Medición del diámetro de tallo de las plántulas de café var. Oeiras.

Anexo 9. Uso de la estufa y balanza de precisión para obtener la materia seca de las plántulas de café var. Oeiras.

Anexo 10. Medición de longitud y volumen radicular de las plántulas de café var. Oeiras.



Anexo 11. Conteo de numero de estomas y células epidérmicas en 1 mm^2 de las plántulas de café var. Oeiras.

Anexo 12. Certificado de la traducción del resumen al inglés.

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

andrea.s.carrion@unl.edu.ec

Loja-Ecuador

Loja, 28 de noviembre del 2023

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR** (registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463), **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**, a petición de la parte interesada y en forma legal.

CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por el señor: **Richard Daniel Granda Robles** con cédula de ciudadanía **No. 1105462475**, cuyo tema de investigación se titula: **"Efecto de tres fitorreguladores de crecimiento en el desarrollo de café *(Coffea arabica* L.*)* en la Argelia, bajo condiciones de invernadero."** ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. Docente de Educación Superior en la enseñanza del inglés como lengua extranjera.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

ANDREA STHEFANIA CARRION FERNANDEZ

Firmado digitalmente por ANDREA STHEFANIA CARRION FERNANDEZ
Fecha: 2023.11.28 19:02:01 -06'00'

Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.

English Professor