UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR EN OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

TEMA

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON N, P, y K SOBRE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS DE *Ochroma pyramidale* PRODUCIDA EN VIVERO MEDIANTE TECNOLOGÍA DE TUBETES.

AUTORES

WILSON RAMÓN VARGAS QUENAMÁ

OLMER ALEXANDER ROJAS ALVEAR

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. ARTEAGA CRESPO YASIEL

PASTAZA- ECUADOR

2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben, Wilson Ramon Vargas Quenamá con C.I. 2100758875, y Olmer Alexander Rojas Alvear con C.I. 1400949697, hecen constar que son autores del Trabajo de Integración Curricular titulado: **"Efecto de la fertilización con N, P, y K sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de *Ochroma pyramidale* producida en vivero mediante tecnología de tubetes"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr. Yasiel Arteaga Crespo. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 21 días del mes de julio del 2021.

Wilson Ramón Vargas Quenamá
C.I. 2100758875

Olmer Alexander Rojas Alvear
C.I. 1400949697

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación de Trabajo de Integración Curricular aprueba el proyecto de Investigación titulado: **"Efecto de la fertilización con N, P, y K sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de *Ochroma pyramidale* producida en vivero mediante tecnología de tubetes"**.

Firmado electrónicamente por:
CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA

Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
MAYRA CAROLINA HERAS HERAS

MSc. Mayra Carolina Heras Heras
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

Dr./MSc. Ricardo Vinicio Abril Saltos
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Certificado No. 220-SAU-UEA-2021

Puyo, 27 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los estudiantes: Olmer Alexander Rojas Alvear, con C.I. 1400949697 y Wilson Ramón Vargas Quenamá, con C.I. 2100758875, con el Tema: **"Efecto de la fertilización con N, P, Y K sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de *Ochroma pyramidale* producida en vivero mediante tecnología de tubetes.",** de la carrera, Ingeniaría Forestal. Director de la investigación, Dr. Yasiel Arteaga Crespo, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 5%, Informe generado con fecha 21 de julio de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ITALO MARCELO

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

CERTIFICADO DE POCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

Quien suscribe el presente Dr. Yasiel Arteaga Crespo con CI: 1757016256, certifica que el Trabajo de Investigación Curricular Titulado: **"Efecto de la fertilización con N, P, y K sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de *Ochroma pyramidale* producida en vivero mediante tecnología de tubetes"**, ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 5%.

En el cantón Pastaza, a los 21 días del mes de julio del 2021.

Firmado electrónicamente por:
YASIEL ARTEAGA

Dr. Yasiel Arteaga Crespo
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Wilson Ramón Vargas Quenamá y Olmer Alexander Rojas Alvear declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.





Wilson Ramón Vargas Quenamá
C.I. 2100758875

Olmer Alexander Rojas Alvear
C.I. 1400949697

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más, quien ha sido mi guía y fortaleza para día a día en el transcurso de mi vida seguir adelante hasta estos días.

A mi padre Carlos Rojas quien, con sus consejos, apoyo incondicional ha velado por mi durante este arduo camino, ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

A mi madre Blanca Alvear por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada, y así poder llegar a cumplir un sueño más en mi vida. Por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, dedicación y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios estará siempre en mi camino.

A mi novia Jazmina Chacha e hijo Jheidan Rojas por su apoyo y cariño incondicional durante este proceso, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre poder contar con ellos.

Finalmente, a mis docentes, familiares y amigos porque cada uno con sus valiosas aportaciones hicieron posible este proyecto.

Olmer Rojas

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa en mi vida.

Mi profundo agradecimiento a la UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA, a sus autoridades, docentes y todos aquellos quienes la conforman. Por abrirme sus puertas y permitirme realizar mi proceso universitario.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi padre por apoyarme en mi carrera, en mis logros, en todo, aunque estando lejos lo llevo siempre en mi corazón y mente, y sé que está orgulloso de la persona en quien me he convertido.

A mi novia que durante todos estos años de carrera ha sabido apoyarme para continuar y nunca renunciar, gracias por su amor incondicional y por su ayuda en mi carrera universitaria.

Finalmente quiero expresar mi sincero agradecimiento al Dr. Yasiel Arteaga tutor, maestro y amigo quien con su dirección, conocimiento y experiencia me brindó todo su apoyo para poder desarrollar y llevar a cabo este proyecto.

Olmer Rojas

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado primeramente a Dios, por regalarme la vida, salud, y una familia maravillosa, por estar siempre conmigo y nunca abandonarme, por dotarme de suficiente sabiduría y corazón para culminar una meta más en mi vida.

También, este trabajo lo dedico a mis padres Santiago Vargas y Clementina Quenamá por guiarme, apoyarme y motivarme alcanzar mis metas, a pesar de las adversidades que se presenta en la vida. A mis hermanos quienes siempre han creído en mí y me han brindado todo su apoyo y confianza.

A mi esposa Verónica Andi e hijo Maykel Vargas quienes son uno de los pilares fundamentales en mi vida, ya que siempre han estado ahí, brindándome su apoyo y amor incondicional, cuidándome y motivando a culminar uno de mis sueños como es graduarme de Ingeniero Forestal, para lo cual ha sido necesario mucha dedicación, valor, paciencia, compromiso y perseverancia.

Asimismo, quiero nombrar a mis suegros, quienes me brindaron su ayuda a lo largo de estos años de estudio de manera desinteresada, impulsándome siempre hacia adelante dando un ejemplo de dedicación y superación.

Finamente quiero dedicarle este trabajo a toda mi familia, amigos y docentes de la "Universidad Estatal Amazónica" y todas las personas que hicieron posible la finalización de este trabajo y la culminación de mi carrera.

Wilson Vargas

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a la Universidad Estatal Amazónica por haberme aceptado y abierto las puertas, para estudiar y adquirir los conocimientos necesarios para mi vida profesional; asimismo quiero agradecer a todos los docentes de esta noble institución, que sin esperar algo a cambio compartieron sus conocimientos, enseñanzas, experiencias que me motivaron alcanzar mis metas y lograr ser un gran profesional.

De igual manera, quiero agradecer a mi compañera de vida Verónica Andi, a mi hijo Maykel Vargas, quienes han estado a mi lado durante todo el transcurso de mi vida y de mi estudio, brindándome su apoyo incondicional. Igualmente, quiero agradecer a mis padres por su apoyo y compresión incondicional que me han ayudado en los momentos difíciles de mi vida, ya que sin ellos no hubiese llegado a cumplir todas mis metas propuestas hasta este punto de mi vida. Mi familia ha sido y será el motor esencial para llegar a cumplir todos los propósitos durante el transcurso de mi vida profesional.

Agradezco, también a mi tutor Dr. Yasiel Arteaga Crespo, quien durante este tiempo del proyecto de investigación me supo ayudar, oriental, dedicando su valioso tiempo y conocimientos haciendo posible este logro del proyecto de investigación.

Finalmente agradezco infinitamente a los miembros del tribunal quienes con sus amplios conocimientos y experiencia supieron guiar correctamente la elaboración y presentación del proyecto final.

Wilson Vargas

RESUMEN

Ochroma pyramidale (balsa) es una especie de alto valor económico y ecológico, sin embargo, existen pocas evidencias de su manejo en viveros para su producción. El objetivo de la presente investigación es evaluar el efecto de la fertilización con N, P y K sobre los parámetros morfológicos y fisiológicos de *O. pyramidale* producida en viveros mediante tecnología de tubetes. Para el experimento se emplearon plantas de tres meses de edad con características morfológicas semejantes. El sustrato empleado consistió en una mezcla de humus de lombriz y cascarilla de arroz (90:10%). La caracterización química del sustrato se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica. La composición se encontró dentro de los intervalos sugeridos para su empleo. Se aplicaron dosis de N, P y K entre 75 mg L^{-1} y 150 mg $^{L-1}$ a partir de un diseño, de superficie respuesta, donde además se consideró una frecuencia de fertilización. Los resultados demuestran un mayor incremento en altura, diámetro y tasa de asimilación en aquellos tratamientos con mayor dosis, mientras que la frecuencia de fertilización no fue significativa.

Palabras clave: Optimización, fertilización; *Ochroma pyramidale.*

ABSTRACT

Ochroma pyramidale (raft) is a species of high economic and ecological value, however, there is little evidence of its management in nurseries for its production. The objective of the present investigation is to evaluate the effect of fertilization with N, P and K on the morphological and physiological parameters of O. pyramidale produced in nurseries using tube technology. Three-month-old plants with similar morphological characteristics were used for the experiment. The substrate used consisted of a mixture of worm humus and rice husk (90: 10%). The chemical characterization of the substrate was carried out in the soil laboratory of the Amazonian State University. The composition was within the suggested ranges for its use. Doses of N, P and K between 75 mg L-1 and 150 mg L-1 are applied from a design, response surface, where a fertilization frequency is also considered. The results show a greater increase in height, diameter and assimilation rate in those treatments with higher doses, while the fertilization frequency was not significant.

Keywords: Optimization, fertilization; *Ochroma pyramidale*.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. PROBLEMA 2

1.1.1. Formulación del Problema 2

1.2. OBJETIVOS 3

1.2.1. Objetivo General 3

1.2.2. Objetivos específicos. 3

1.3. JUSTIFICACIÓN 4

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 5

2.1. Generalidades de la balsa 5

2.1.1. Taxonomía de *O. pyramidale* 5

2.1.2. Descripción Botánica 6

2.1.3. Características edafoclimáticas. 6

2.2. Vivero forestal 6

2.3. Sustrato para las Plantas 7

2.4. Fertilizantes 8

2.4.1. Fertilizantes N, P, y K 8

2.5. Parámetros Morfológicos y Fisiológicos 10

2.5.1. Morfología 10

2.5.2. Fisiología 10

2.6. Metodología de Superficie de Respuesta 11

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 12

3.1. Localización 12

3.1.1. Tipo de Investigación 12

3.2. Materiales 13

3.3. Métodos de Investigación 13

3.3.1. Metodología para caracterizar químicamente el sustrato para la producción de *O. pyramidale*. 13

3.3.2. Metodología para determinar el efecto de N, P y K sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de *O. pyramidale*. 15
3.3.3. Metodología para optimizar la dosis de N, P y K en *O. pyramidale* mediante Metodología Superficie Respuesta. 15
3.4. Variables de estudio 16
3.5. Factor de estudio. 16
3.6. Dosis de aplicación de Fertilizantes N, P y K. 16
3.7. Diseño Experimental 17
3.8. Procesamiento del experimento 17
3.8.1. Preparación del sustrato: 17
3.8.2. Preparación de la semilla 17
3.8.3. Siembra 17
3.8.4. Riego 18
3.8.5. Cuantificación de la germinación: 18
3.8.6. Fertilización 18
3.8.7. Control fitosanitario. 18
3.9. Análisis de los datos 18
4. RESULTADOS 19
4.1. Caracterización química del sustrato humus de lombriz 19
4.2. Determinación del efecto de N, P y K sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de *O. pyramidale*. 19
4.2.1. Parámetros morfológicos 19
4.2.2. Parámetros fisiológicos 21
4.3. Optimización de la dosis de, N, P y K en la *O. pyramidale*, mediante la metodología superficie respuesta. 27
5. CONCLUSIONES 34
6. RECOMENDACIONES 34
7. REFERENCIAS 35
8. ANEXOS 41

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Descripción taxonómica de *O. pyramidale*..... 5

Tabla 2. Composición química de nutrientes esenciales. 7

Tabla 3. Materiales e insumos para el experimento en el vivero de la UEA 13

Tabla 4. Variables dependientes e independientes. 16

Tabla 5. Factores de estudio..... 16

Tabla 6. Dosis de aplicación de fertilizantes N, P y K y Frecuencia. 16

Tabla 7. Resultado del análisis químico de sustrato. 19

Tabla 8. Diseño de la metodología superficie respuesta de un factor basado en variables independientes (concentración de N, P, K) y resultados de valores actuales y predichos de la altura y diámetro. 27

Tabla 9. Resumen de los modelos polinomiales analizados por el software Design Expert en la optimización de la concentración de N, P y K para la altura y diámetro. .. 28

Tabla 10. ANOVA para el modelo cuadrático de superficie respuesta para la altura y diámetro. 30

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Ubicación geográfica del Vivero de la Universidad Estatal Amazónica. 12

Figura 2. División de la Bandeja en dos tratamientos. 17

Figura 3. Incremento en altura en los tratamientos..... 20

Figura 4. Incremento de diámetro en los tratamientos. 20

Figura 5. Tasa de asimilación de CO2 con relación a las concentraciones de cada una de los tratamientos por semanas. 22

Figura 6. Tasa de asimilación de CO2 de los tratamientos en función a las cuatro semanas. 26

Figura 7. Valores experimentales y valores predichos para el diseño de un factor: (**a)** Incremento en altura (R2 ajustado=0,9537); (**b)** Incremento de diametro (R2 ajustado=0,9611)..... 29

Figura 8. Modelo para diseño de un factor. (a) incremento de altura (predicción=4,79); (b) incremento en diámetro (Predicción1,36). 31

Figura 9. Correlación: (a) incremento en altura y Concentración; (b) incremento de diámetro y Concentración. 32

Figura 10. Correlación: Incremento de altura e Incremento en diámetro 33

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador existe variedad de especies forestales maderables de rápido crecimiento, mismas que pueden ser nativa o introducidas, y que su ciclo de aprovechamiento es a corto plazo, por lo que son utilizados para establecer plantaciones forestales con el objetivo de obtener diversidad de especies forestales maderables, para su posterior aprovechamiento y comercialización, y de esta manera generar recursos económicos que contribuyan a mejorar la calidad de vida del hombre.

Entre las especies forestales de rápido crecimiento y de alta demanda en el mercado internacional se encuentra la especie *Ochroma pyramidale Cav*., ésta especie forestales pueden alcanzar 30m de altura y 60cm de diámetro (Pennington & Sarukhán, 2005). Su área de distribución natural se extiende desde el sur de México hasta Bolivia, hacia el este a través de la mayor parte de Venezuela, y a través de las Antillas (Francis et al., 2000). Además, su madera es extremadamente liviana por lo cual se usa en aeromodelismo, como aislante térmico y como material estructural de centro en tableros tipo sándwich, los cuales son usados como estructuras de carga en barcos, edificios y plataformas marinas, así como en aspas de turbinas eólicas y cubiertas de puentes (Goodrich et al., 2010; Mohammadi & Nairn, 2014).

En el Ecuador, la produccion de *O. Pyramidale* a nivel de vivero, se realiza sin ningún tipo de fertilizantes, que contribuya a su desarrollo, esto se debe a la escaza y limitada información científica sobre los niveles adecuados de aplicación de fertilizantes en especies forestales.

Carrera, (2012) menciona que la aplicación de fertilizantes es una de las labores más importantes en el crecimiento y producción final de toda especie forestal, por lo que se debe tener encuenta los elementos que requiere la especie, el tipo de fertilizante y la dosis adecuada, para incrementar nutrientes escenciales para el crecimiento de la planta, sin provocar toxicidad (Oliet et al., 1999). Mediante la fertilización de las especies forestales a nivel de vivero se pueden obtener mejoras en las características morfológicas y fisiológicas de las plantas y aumentar la probabilidad de un desempeño favorable en campo (Luis et al., 2009; Villar-Salvador et al., 2012, 2013).

El presente estudio busca evaluar el efecto que produce la fertilización con N, P y K, sobre los parámetros morflógicos y fisiológicos de *O. pyramidale* en etapa de vivero.

1.1. PROBLEMA

En la actualidad la deforestación de los bosques naturales del Ecuador es uno de los problemas que enfrentamos a nivel nacional, debido a la tala y la extracción de especies forestales para su comercialización. Por tal razón se están recurriendo a utilizar nuevas alternativas como la reforestación, para minimizar o mitigar el impacto ambiental que provoca la deforestación, por ende, se están implementando plantaciones forestales comerciales, al ser una mejor alternativa para disminuir la presión en los bosques nativos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020).

Por tal razón, se están recurriendo a realizar plantaciones forestales con *Ochroma pyramidale* y otras especies maderables, producidos a nivel de vivero; puesto que, al realizar la siembra de la semilla de manera directa en el suelo, pueden existir varios factores que afecten su germinación y crecimiento; tales como la utilización de semilla no seleccionada; el tipo de suelo, pH, ataque de plagas y enfermedades; y la falta de fertilización en el cultivo. Además, muchas de las especies forestales producidas en viveros se realizan sin fertilización, debido a la escaza información e investigación sobre la aplicación de fertilizantes en especies forestales.

1.1.1. Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto que produce la fertilización con N, P y K sobre los parámetros morfológicos y fisiológicos de *O. pyramidale* producida en viveros para la obtención de plantas en óptimas condiciones?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto de la fertilización con N, P y K sobre los parámetros morfológicos y fisiológicos de *O. pyramidale* producida en viveros mediante tecnología de tubetes.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Caracterizar químicamente el sustrato para la producción de *Ochroma pyramidale.*
- Determinar el efecto de N, P y K sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de *O. pyramidale*.
- Optimizar la dosis de N, P y K en la *O. pyramidale,* mediante la metodología superficie respuesta.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Ecuador es considerado un país megadiverso, esto se debe la gran diversidad de especies de flora y fauna que en ella alberga, pero en la actualidad esa diversidad de especies está siendo afecta por la deforestación, debido a la tala, extracción de especies forestales, y la expansión agrícola; solo en el periodo de 2014 a 2016, hubo una deforestación bruta anual promedio 94.353 ha/año (Ministerio del Ambiente, 2017)

La pérdida de la cobertura vegetal ha llevado a tomar diversas alternativas de reforestación, por parte de las autoridades, profesionales, y comunidades, siendo una de las alternativas las plantaciones forestales, ya que permite satisfacer la demanda de la madera y fibra a las industrias nacionales e internacionales, y a la vez satisfacer económicamente las necesidades de las personas, con ello evitar la deforestación de los bosques naturales.

Pero, para llegar establecer adecuadamente las plantaciones forestales con especies maderables se necesita que sus plántulas se encuentren en óptimas condiciones para su desarrollo; por tal razón se necesita realizar la producción de especies forestales en viveros, ya que las especies que no han sido producidas en viveros pueden presentar problemas en su crecimiento, y a la vez correr el riego de ser atacadas por plagas y enfermedades e impedir su desarrollo; para ello es necesario utilizar fertilizantes, ya que éstos proveen de nutrientes necesarios, y a la vez contribuye a producir mayores especies comerciales y de mejor calidad (FAO, 2002).

Con la presente investigación se obtendrá resultados favorables mediante la evaluación del efecto de la fertilización con N, P y K sobre los parámetros morfológicos y fisiológicos de *O. pyramidale*. Con la finalidad de contribuir con información a productores de plantaciones de balsa, para la aplicación de fertilizantes con N, P y K en sus viveros. Siempre y cuando aplicando técnicas apropiadas para producir plantas de calidad, que garanticen la producción de altos volúmenes de madera al final de su cosecha, satisfaciendo así las necesidades económicas, sin perturbar los bosques nativos.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Generalidades de la balsa

La balsa (*Ochroma pyramidale Cav.*), es una especie que crece abundantemente en los países tropicales de América, es un árbol que se la puede encontrar en terrenos recién intervenidas, perturbados y también en plantaciones forestales. Esta especie es de rápido crecimiento y produce una madera de muy baja densidad que es comercializada para la fabricación de juguetes, artesanías, chapa de interiores y material aislante(Francis et al., 2000).

El Ecuador es uno de los principales comercializadores de madera de balsa ya que presenta una condición geográfica y climática óptima para su desarrollo, al encontrarse en una zona subtropical. Su mayor producción se concentra en las provincias de Guayas, El Oro, Los Ríos, Esmeraldas y Pichincha (González *et al*., 2010; Molina, 2014)

En el Ecuador la balsa se encuentra distribuida en las cuatro regiones: en la Costa se encuentra en la provincia de Guayas, Manabí, Los Ríos, Esmeraldas; en la Sierra en las provincias de Imbabura y Pichincha; en la Amazonía en la provincia de Sucumbíos, Orellana, Napo, Morona Santiago y Zamora Chinchipe; y en la región Insular en la Galápagos (Tropicos.org. Jardín Botánico de Missouri., n.d.).

2.1.1. Taxonomía de *O. pyramidale*

Tabla 1. Descripción taxonómica de *O. pyramidale*

Taxonomía		
Reino	Plantae	
División	Magnoliophyta	
Clase	Magnoliopsida	
Subclase	Dilleniidae	
Orden	Malvales	
Familia	Malvaceae	
Subfamilia	Bombacoideae	
Género	*Ochroma*	
Especie	*Ochroma* (Cav. ex Lam.) Urb.	*pyramidale*

Fuente: Recuperado de *Tropicos.org. Missouri Botanical Garden*

2.1.2. Descripción Botánica

La balsa es un árbol grande, de copa tipo caliciforme. El fuste es liso y puede presentar gambas. La corteza es lisa, gris, pálida y con cicatrices lineales, pero internamente fibrosa. Presenta un follaje perennifolio, sus hojas son simples y alternas, acorazonadas, de 20 a 40 cm de largo, borde liso y con pelos epidérmicos rojizos. Es una especie hermafrodita, las flores son aromáticas, vistosas, de cinco pétalos, blancas pubescentes y con el cáliz color verde, son polinizadas por insectos nocturnos. Produce frutos secos, tipo cápsula dehiscente, largos y en forma de bastón; son semileñosos y cilíndricos de 14 a 24 cm de largo recubiertos de lana. De su parecido a patas de liebres o conejos se deriva su nombre científico. Las semillas son abundantes en forma de pequeña gota, ovoides, de 3 a 5 mm de largo, color castaño oscuro y se encuentran envueltas en lana amarillenta y sedosa (Rojas & Torres, 2009)

2.1.3. Características edafoclimáticas.

La balsa requiere un clima cálido y húmedo, pueden crecer a una altitud de 0 a 1000 msnm, soporta una precipitación de 500 a 3000mm anuales, y una temperatura de 22 a 30°C (MAGAP, 2016). Además, esta especie necesita suelos arcillosos o limosos y bien drenados, con rica provisión de nutrientes. No tolera suelos con bajos niveles de humedad, ni suelos superficiales, ya que es susceptible al volcamiento por vientos fuertes (Trujillo Enrique, 2009)

2.2. Vivero forestal

Según Bonilla et al., (2014)es un espacio de terreno destinado a la producción y reproducción de plantas forestales, ornamentales frutales y medicinales, que serán utilizadas en plantaciones forestales y agroforestales. Su importancia radica en producir plantas que contribuya al cuidado de la vida y nos garantice tener plántulas de calidad y adaptadas a nuestro entorno, por lo que contribuirá a formar plantaciones y sistemas agroforestales sostenibles, el cual permita tener una fuente de ingreso económico a los propietarios (Bonilla et al., 2014).

En la clasificación de los viveros forestales según su Intencionalidad de la Producción, tenemos a Viveros forestales de investigación que forman parte de un experimento, o bien su producción se destina a ensayos (Jiménez, 1993).

2.3. Sustrato para las Plantas

Fernandez & Corá (2004) definen el sustrato como el medio en el cual las raíces puedan crecer y también sirve como soporte a la planta, puede estar constituido de un solo material o mezclas; además, un sustrato adecuado para el crecimiento de las plantas debe presentar alta capacidad de retención de agua, fácil drenaje y una apropiada aireación. Por ello el sustrato empleado es un factor fundamental, puesto que éste contribuye en la calidad de la plántula (Ortega-Martínez et al., 2010).

Según Hartmann et al., (2002) mencionan que en la actualidad existen una gran variedad de materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de sustratos y su elección dependerá de la especie vegetal a propagar, tipo de propágulo, época de siembra, sistema de propagación, costo, disponibilidad y características propias del sustrato.

Existen diferentes tipos de sustratos, entre ellos podemos mencionar a los sustratos orgánicos como el lombricompuesto o humus de lombriz, que es un material sólido estabilizado, libre de olores y con características deseables como componente de sustratos de cultivo distintos del suelo, que se obtiene por la descomposición de residuos orgánicos a partir de la acción conjunta de las lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) y distintos microorganismos (Basheer & Agrawal, 2013; Paul & Metzger, 2005; Ramírez & Pascual-Alex, 2010) .

Tabla 2. Composición química de nutrientes esenciales.

Composición química	Porcentajes
Carbono orgánico (C.O)	14-30%
Nitrógeno (N)	1-2-6%
Fósforo (P)	2-8%
Potasio (K)	1-2,5%
pH	6,8-7,2%

Fuente: (Barbado, 2004), Modificado por los autores

2.4. Fertilizantes

La fertilización, que consiste en suplementar a la planta necesidades nutricionales no satisfechas por el suelo en su condición de fertilidad natural (Rios Quinchoa et al., 2010). Además los fertilizantes pueden aportar nutrientes a las plantas a través del suelo, el agua o aspersiones foliares. Los fertilizantes incrementan el crecimiento y productividad de los cultivos, mejorar la calidad de la cosecha y la sanidad de la planta. También tienen un efecto positivo sobre el suelo mediante el mejoramiento y restitución de la fertilidad. Los fertilizantes se encuentran entre los principales insumos utilizados en la agricultura debido al impacto que tienen sobre la producción (Melendez & Molina, 2003).

2.4.1. Fertilizantes N, P, y K

Es un fertilizante que contiene nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Elementos más que necesarios en el suelo para que las plantas puedan crecer y generar frutos. Su composición de abonos N, P, K o 'ternarios' se expresa por medio de tres números que indican las proporciones de los tres nutrientes: el primer número se refiere al nitrógeno, el segundo al fósforo, y el tercero al potasio (Sembralia, 2020)

2.4.1.1. Nitrógeno

La **N** es el símbolo químico del nitrógeno. El Nitrógeno (N) influye directamente en la producción agrícola en forma cuantitativa y cualitativa. Aumenta el área foliar, expansión foliar, grosor de hojas y tasa de fotosíntesis. El suministro de N mejora el proceso fotosintético y en consecuencia, se incrementa la duración del área foliar, tasa de asimilación neta, producción de biomasa y rendimiento Khanzada et al., (2016). Las deficiencias de este elemento reducen la producción de materia seca porque disminuye la radiación interceptada por el dosel vegetal y la eficiencia de conversión de esta energía en biomasa (Morales et al., 2019).

Urea

La urea es la principal fuente de fertilización nitrogenada en el mundo, especialmente en países en desarrollo; las ventajas de este fertilizante son: mayor contenido de N se puede incorporar al suelo previo a la siembra y al ser un fertilizante de reacción ácida, se puede utilizar en suelos neutros o ligeramente alcalinos, además de su bajo costo de transporte por unidad de N y un manejo más seguro (Cantarella et al., 2018; Trenkel, 2010) . Para producirla, se hacen reaccionar amoniaco y dióxido de carbono en presencia de un catalizador, en un recipiente especial a temperaturas entre 170 y 210 ºC y presiones que

oscilan entre 170 a 400 atmósferas. Además la urea como fertilizante, presenta la ventaja de proporcionar un alto contenido de nitrógeno (46%), el cual, es esencial en el metabolismo de la planta. La mayor desventaja que tiene es la pérdida de nitrógeno (N) en forma de gas amoniaco (NH_3), proveniente de su descomposición al ser aplicada al suelo (Morales et al., 2019).

2.4.1.2. Fósforo

El Fósforo (P), que suple de 0,1 a 0,4 por ciento del extracto seco de la planta, juega un papel importante en la transferencia de energía. Por eso es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o dónde la fijación limita su disponibilidad (FAO, 2002).

Roca fosfórica: Son productos obtenidos de la extracción de una mina y de procesos metalúrgicos, mismas que son ricos en fósforo y presentan un alto contenido de calcio; químicamente corresponden a fosfatos tricálcicos, cuya principal característica es la baja solubilidad en agua. Las rocas fosfóricas se usan como materia prima para fabricar fertilizantes fosfatados como el superfosfato triple y el superfosfato normal (Sierra, 1990; Zapata & Roy, 2007).

2.4.1.3. Potasio

El Potasio (K), que suple del uno al cuatro por ciento del extracto seco de la planta, tiene muchas funciones. Activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulan la vida). Por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El K mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades(FAO, 2002).

Muriato de Potasio: Es un fertilizante soluble a base de Potasio (K2O), recomendado para corregir deficiencias o desbalances de este elemento en el suelo y/o reponer extracciones del mismo por parte de los cultivos, fundamental para obtener un buen peso y llenado en frutos (Rosa, 2018).

2.5. Parámetros Morfológicos y Fisiológicos

2.5.1. Morfología

Según Obando, (2017) menciona que la morfología estudia los órganos que comprende el cuerpo de la planta como las hojas, tallos, raíces, etc. La morfología de la planta es la manifestación de la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales del vivero, y generalmente es fácil de cuantificar (Birchler *et al*., 1998).

A continuación, se detallan algunos parámetros empleados:

Altura del tallo. La altura es la distancia desde el cuello de la raíz a la punta de la yema terminal. Comúnmente se reporta en milímetros o centímetros(Ritchie *et al*., 2013).

Diámetro del tallo ("calibre"). El diámetro del tallo se mide comúnmente utilizando un pequeño vernier, en el cuello de la raíz, donde el tallo se une al sistema radical. El diámetro se reporta siempre en milímetros (Ritchie *et al*., 2013).

2.5.2. Fisiología

La Fisiología Vegetal estudia la vida de las plantas, es decir; cómo funcionan y cómo son capaces de utilizar la energía de la luz para sintetizar sustancias inorgánicas en moléculas orgánicas con las que construyen las complejas estructuras que forman el cuerpo de la planta. Además, explica cómo son capaces de reproducirse, cómo se adaptan al ambiente particular de cada momento, cómo se integran dichos procesos durante el desarrollo y cómo pueden ser modulados por el medioambiente, para poder completar su ciclo biológico (Ortuño et al., 2015).

Las variables fisiológicas a medir en una planta son

- **Fotosíntesis:** Es un proceso físico-químico por el cual las plantas, algas y bacterias fotosintéticas utilizan la radiación solar convertirla en energía química a través de la síntesis de compuestos orgánicos en sustancias inorgánicas como minerales, agua y CO_2 (Pérez-Urria, 2011).

2.5.2.1. Intercambio de gases fotosintéticos

La medición del intercambio de gases fotosintéticos, es posible utilizando un instrumento portátil denominado IRGA (analizador infrarrojo de gases). En general, estos sistemas evalúan el cambio en la densidad de vapor (y concentración de CO2) dentro de una cámara producto del intercambio de gases realizado por una hoja. Entre los parámetros que se miden están la humedad relativa, la temperatura de la hoja y el aire (Squeo & León, 2007).

Los analizadores de gas por infrarrojo (IRGA) permiten hacer mediciones en tiempo real de tasas de asimilación del CO2 en la fotosíntesis (A), tasa de transpiración de la hoja (E), conductancia estomática (gS) y fracción molar intercelular de CO2 (Ci) (Long et al., 2006).

2.6. Metodología de Superficie de Respuesta

Es una combinación de análisis de Regresión y Diseño Experimental que fue introducida por (Box & Wilson, 1951), La Metodología de Superficies de Respuesta (MSR) es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas que se utilizan en el estudio de la relación entre una o más respuestas que dependen de diversos factores o variables independientes. El objetivo final de la MSR consiste en optimizar las respuestas de interés determinando las mejores condiciones de operación del sistema. Se analiza un diseño de Superficies de Respuesta utilizando un software estadístico (Ovalles-Rodríguez, 2011)

En general una superficie de respuesta está modelada por la expresión:

Donde las **x** son las variables independientes y **e** es el ruido o error observado en la respuesta **y.** Si la respuesta está modelada por una función lineal de las variables independientes, se utiliza el modelo de primer orden. Si hay curvatura en el sistema, debe usarse un polinomio de orden superior, tal como el modelo de segundo orden (Ovalles-Rodríguez, 2011)

Ésta metodología es una estrategia de experimentación secuencial y modelación que conduce a la localización de los valores óptimos de las variables independientes que maximizan, minimizan o cumplen ciertas restricciones en la variable respuesta (Jiménez Careaga, 2015; Martínez Garza, 1988).

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La presente investigación se realizó en el Vivero de la Universidad Estatal Amazónica ubicada en la Provincia de Pastaza, Cantón Pastaza, en el Km 2 ½ de la Vía Puyo-Tena, en la siguiente coordenada geográfica (166416.17 m E, 9837664.46 m S). El cantón Pastaza comparte las características climáticas con la Universidad Estatal Amazónica, por ende, posee un clima tropical muy húmedo, una temperatura media anual de 24 a 26°C y una precipitación promedio anual de 4500 mm; debido a las grandes extensiones de bosques amazónicos que posee el cantón y la provincia de Pastaza (GADMP, 2020).



Figura 1. Ubicación geográfica del Vivero de la Universidad Estatal Amazónica.
Fuente: De Google Earth Pro ©2020 Google, Imagen©2020 CNES Airbus, modificado por autores.

3.1.1. Tipo de Investigación

El estudio fue una investigación de tipo Descriptivo y experimental, puesto que se describen los parámetros morfológicos, fisiológicos y el comportamiento de cada una de las variables, además muestra una parte experimental a nivel de vivero, donde se manipulan variables para evaluar los efectos que provocan el uso de fertilizantes de N, P y K sobre los parámetros morfológicos y fisiológicos de las plántulas de balsa.

3.2. Materiales

Los materiales utilizados para llevar a cabo la investigación se detallan a continuación.

Tabla 3. Materiales e insumos para el experimento en el vivero de la UEA

Materiales	Insumos
Bandeja y tebetes	Sustrato de humus de lombriz
Plástico negro	Semillas de balsa
Recipiente	Urea
Balanza	Roca fosfórica
Regla	Muriato de Potasio
Calibrador	Agua
Cuaderno	Apiche
Esfero	
Marcador	

Realizado por: Wilson Vargas y Olmer Rojas

3.3. Métodos de Investigación

En el presente estudio se utilizó el método de investigación con un enfoque cuantitativo y cualitativo, ya que se obtuvo datos cuantitativos en relación a las variables de estudio y cualitativo debido a que se describieron ciertos parámetros morfológicos y fisiológicos.

3.3.1. Metodología para caracterizar químicamente el sustrato para la producción de *O. pyramidale*.

Para caracterizar químicamente el sustrato se realizó una revisión bibliográfica de libros, revistas científicas, artículos relacionados con las características químicas del sustrato de Humus de lombriz. Posteriormente se realizó el análisis químico en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica, donde se determinarán los siguientes parámetros químicos del sustrato.

3.3.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Para medir el pH, se utilizó el método del potenciómetro, donde se colocó 10g de suelo en un vaso de precipitación de 100mL, se añadió 20 mL de agua destilada, luego con el equipo agitador se lo agitó por 30 minutos y se dejó reposar durante 15 min. Y por último se procedió introducir el electrodo en la muestra en suspensión y se realizó la lectura de pH cuando se haya estabilizado el potenciómetro (Bazán, 2017).

3.3.1.2. Carbono orgánico

Para calcular el carbono orgánico o la materia orgánica se utilizó el método por calcinación, se pesó 5g de suelo en un crisol, se colocó las muestras pesadas en la estufa a 105ºC por 24 horas, se enfrió en el desecador por 30min y se procedió a pesar. Luego de pesar se colocó en la mufla por 2 horas a 360ºC. Se sacó las muestras y se colocó en el desecador hasta que alcance temperatura ambiente, seguidamente se pesó para obtener el resultado (Schulte & Hopkins, 1996). La determinación de la materia orgánica se realizará por el método de pérdida de peso por ignición con el método de mufla a través de la siguiente formula.

Formula:

$$\%CO = \frac{(\text{Peso del suelo a } 105ºC - \text{Peso del suelo a } 360ºC)}{\text{Peso del suelo a } 105ºC)} * 100$$

3.3.1.3. Concentración de Nitrógeno, Fosforo Y Potasio.

Para determinar la concentración (%) de los elementos nitrógeno, fosforo y potasio se empleó un método adecuado para cada una de ellas. La determinación de estos elementos se realizó en el laboratorio de suelos de la UEA.

- Para la determinación de nitrógeno(N), se utilizó el método de KJELDAHL, sugerido por (Cottenie, 1994; Gayosso-Rodríguez et al., 2018).
- En el caso del Fósforo se empleó el método de molibdato de sodio, con p-metilaminofenol sulfato en espectrofotómetro ultravioleta visible (UV2800 PC) (Gayosso-Rodríguez et al., 2018).
- Para la determinación de Potasio (K) se cuantificó mediante calcinación, digestión (Cottenie, 1994) y espectrofotometría de absorción atómica (Gayosso-Rodríguez et al., 2018).

3.3.2. Metodología para determinar el efecto de N, P y K sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de *O. pyramidale.*

Después de los 3 meses de crecimiento de las plantas de *O. pyramidale*, se fertilizaron las plantas cada 15 días con una concentración mínima de 75 mg/L y una máxima de 150 mg/L de urea (N), roca fosfórica(P) y muriato de potasio (K),sugerida por Basave et al., (2020), las cuales se analizaron en el software Desing Expert versión 12.0, mostrando los tratamientos, concentraciones, y frecuencia de aplicación (Tabla 5).

Durante las 4 semanas que se llevó a cabo la fertilización, se midieron las variables morfológicas y fisiológicas en cada una de los tratamientos de *O. pyramidale.*

Entre las variables morfológicas que se midieron: altura con una regla graduada en centímetros y el diámetro en milímetros con calibrador digital. Mediante las variables se determinaron el promedio del incremento en altura y diámetro en cada tratamiento establecido. Y el parámetro fisiológico que se determinó fue la tasa de asimilación de la fotosíntesis (A), mediante el intercambio gaseoso fotosintético, en donde se utilizó un sistema integrado portátil de medición de fotosíntesis y de fluorescencia de clorofila, con control de microclima totalmente programable (iFL-LCpro-SD, ADC BioScientific Ltd., Herts, UK), también conocido como IRGA. Las determinaciones se realizarán entre 8:00 h a 11:00. según lo propuesto por Ávila-Lovera & Tezara, (2018) y (Ávila-Lovera et al., 2019).

3.3.3. Metodología para optimizar la dosis de N, P y K en *O. pyramidale* mediante Metodología Superficie Respuesta.

Para poder optimizar la concentración de N, P, K en *O. pyramidale* se utilizó la Metodología de superficies de Respuesta (MSR) de Box & Wilson, (1951). Logrando determinar el diseño experimental o factor de estudio con una variable categorica (frecuencia) y númerica (concentraciones), además de determinar un modelo que describa el comportamiento de los datos obtenidos mediante el diseño experimental, lo que implicó realizar análisis de varianza (ANOVA) para verificar si el modelo es adecuado. Una vez obtenido el modelo adecuado se procede a encontrar los factores que producen la respuesta óptima.

3.4. Variables de estudio

Tabla 4. Variables dependientes e independientes.

Variables dependientes	Variable independiente
Incremento en altura	
Incremento en diámetro	Concentración de fertilizante N, P y K
Fotosíntesis (Tasa de asimilación CO_2)	

Realizado por: Wilson Vargas, Olmer Rojas

3.5. Factor de estudio.

Tabla 5. Factores de estudio.

Factor	Nombre	Unidad	Tipo	Mín.	Máx.	Codif. baja	Codif. alta	Media	Desviación estándar
A	Concentración	Mg/L	Numérico	75,00	150,00	-1 ↔ 75,00	+1↔ 150,00	113,83	27,82
B	Frecuencia		Categórico	1	2			Nivel	2

Realizado por: Wilson Vargas, Olmer Rojas

3.6. Dosis de aplicación de Fertilizantes N, P y K.

Tabla 6. Dosis de aplicación de fertilizantes N, P y K y Frecuencia.

Experimento	Concentraciòn N, P, K (mg/L)	Concentración Urea (mg/tub)	Concentración Roca fosórica (mg/tub)	Concentración Muriato de potasio (mg/tub)	Frecuencia de aplicación
T0	-	-	-	-	-
T1	121,88	52,31	70,07	23,35	1
T2	112,50	28,12	64,67	21,56	2
T3	93,75	23,44	53,90	17,96	2
T4	140,01	35,00	80,50	26,83	1
T5	131,25	32,81	75,46	25,15	2
T6	85,88	21,47	49,37	16,45	1
T7	75,00	18,75	43,12	14,70	1
T8	75,00	18,75	43,12	14,37	2
T9	104,63	26,15	60,15	20,05	1
T10	150,00	37,50	86,25	28,75	2
T11	112,50	28,12	64,28	21,56	2
T12	140,01	35,00	80,50	26,83	1
T13	140,01	35,00	80,50	26,83	1
T14	75,00	18,75	43,12	14,37	2
T15	150,00	37,50	86,25	28,75	2

Realizado por: Wilson Vargas, Olmer Rojas

3.7. Diseño Experimental

Se empleó el diseño experimental completamente al azar, en donde se estableció 15 tratamientos y un testigo absoluto, para ello se utilizaron 352 semillas de balsa y 8 bandejas de vivero, conformadas con 96 tubetes cada bandeja; en donde cada bandeja se dividió en 2 tratamientos con 22 tubetes respectivamente.

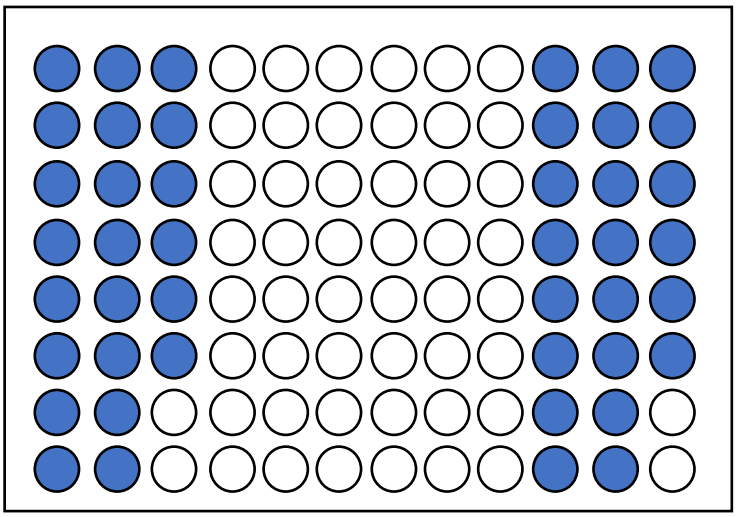


Figura 2. División de la Bandeja en dos tratamientos.
Realizado por: Wilson Vargas, Olmer Rojas

3.8. Procesamiento del experimento

Para iniciar con el experimento se realizaron las siguientes labores.

3.8.1. Preparación del sustrato:

Se adquirió el sustrato de humos de lombriz y de cascarilla de arroz, y se procedió a colocar un plástico como base en el suelo, luego se colocó 7 bandeja de 100ml de sustrato encima del plástico y 3 ½ de cascarilla de arroz, para su posterior mezcla. Terminado la mezcla se rellenan 352 tubetes de 15cm^{3}con la mezcla del sustrato.

3.8.2. Preparación de la semilla

La semilla de *Ochroma pyramidale* se adquirió de la zona del Cantón Arajuno. Se colocó las semillas en agua y se dejó reposar por 1día. Al siguiente día se escogió las semillas buenas que se encontraban sumergidas en el agua.

3.8.3. Siembra

Una vez preparado los tubetes con la mezcla del sustrato se procedió a la siembra de la semilla, es decir una semilla por tubetes hasta completar las 352 tubetes.

3.8.4. Riego

El riego se realizó todos los días, desde el primer día de la siembra de las semillas de balsa hasta completar el experimento.

3.8.5. Cuantificación de la germinación:

Después de la siembra de la semilla de balsa se cuantificó su germinación desde la segunda semana hasta su germinación completa.

3.8.6. Fertilización

Para la fertilización se pesó en el laboratorio de química de la Universidad Estatal amazónica, cada una de las dosis de los tres fertilizantes para los 15 tratamientos. La fertilización se realizó 2 veces cada 15 días.

3.8.7. Control fitosanitario.

Para evitar plagas y enfermedades se aplicó cada 15 días el insecticida orgánico, denominado “Apiche”, en una concentración de 100ml en 2litros de agua. Su nombre obedece a sus ingredientes principales: ajo, pimienta y ají, y se utiliza para el beneficio de las plantas, suelo, funcionando como un biocontrolador de insectos, hongos, bacterias y otros patógenos que afectan a la producción agrícola (InfoAgro, 2021).

3.9. Análisis de los datos

La concentración mínima y máxima de N, P, K se analizaron en el software Desing Expert (versión 12.0), además se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de la MSR, y el análisis de regresión para determinar el modelo polinomial. Los datos de la tasa de asimilación de la fotosíntesis se analizaron en el programa de OriginPro 2020b.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización química del sustrato humus de lombriz.

La caracterización química de humus de lombriz se muestra en la Tabla 7. De acuerdo con Barbado, (2004) las concentraciones de C.O, N, P y K se encuentran dentro de los rangos aceptables, además de presentar un pH neutro.

Tabla 7. Resultado del análisis químico de sustrato.

Sustrato	Concentración %				pH
	C.O	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	
Humus de lombriz	17,73	2,0	0,48	1,13	7,08

Realizado por: Wilson Vargas y Olmer Rojas.

Haciendo referencia a otros autores como Durán & Henríquez, (2007), quienes indican la composición de humus de lombriz de cinco materiales, las cuales presentan una variación en las concentraciones de carbono orgánico (16,9%-20,5%), el nitrógeno (1,8%-3,1%), fósforo (1,5%- 2%), Potasio (0,8%-6.8%); al igual que en el pH (6,9-8,2). Estas variaciones se deben al tipo de material utilizado para realizar compostaje. Por lo tanto, los datos obtenidos en la Tabla 7 son satisfactorios, comparando con los datos obtenidos por otros investigadores.

4.2. Determinación del efecto de N, P y K sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de *O. pyramidale.*

4.2.1. Parámetros morfológicos

Los resultados de los tratamientos T10 y T15, evidenciaron mayor incremento en altura de la especie *O. pyramidale*, a comparación de los tratamientos T6, T7 y T14 que obtuvieron un menor incremento (Figura 3). Lo mismo sucedió con el incremento en diámetro (Figura 4). Esto demuestra que a medida que aumenta la concentración del fertilizante incrementa el valor de las variables morfológicas.

Dichos resultados son similares con lo expuesto por (Cedeño Dueñas et al., 2018) en donde menciona, que la concentración de 150 mg L-1 , promueve en general la producción de plantas con las mejores respuestas en las variables morfológicas. También,

otro estudio demuestra que, el uso de fertilizantes compuestos a base de N, P, K complementados con micronutrientes incrementan de manera notable los componentes del rendimiento de la planta (Basave et al., 2020).

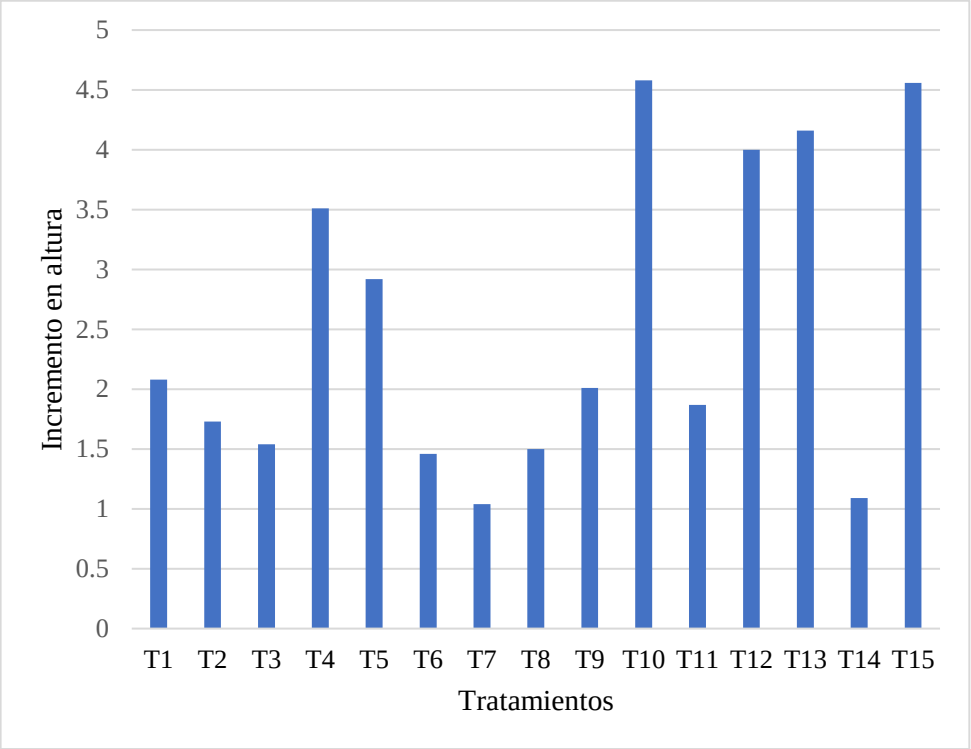


Figura 3. Incremento en altura en los tratamientos.

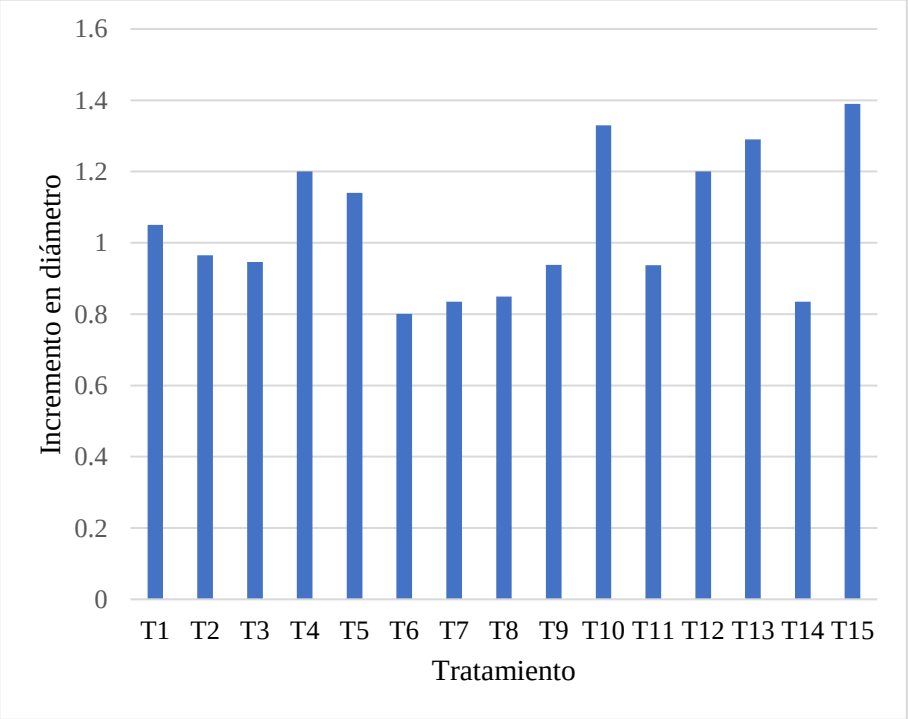
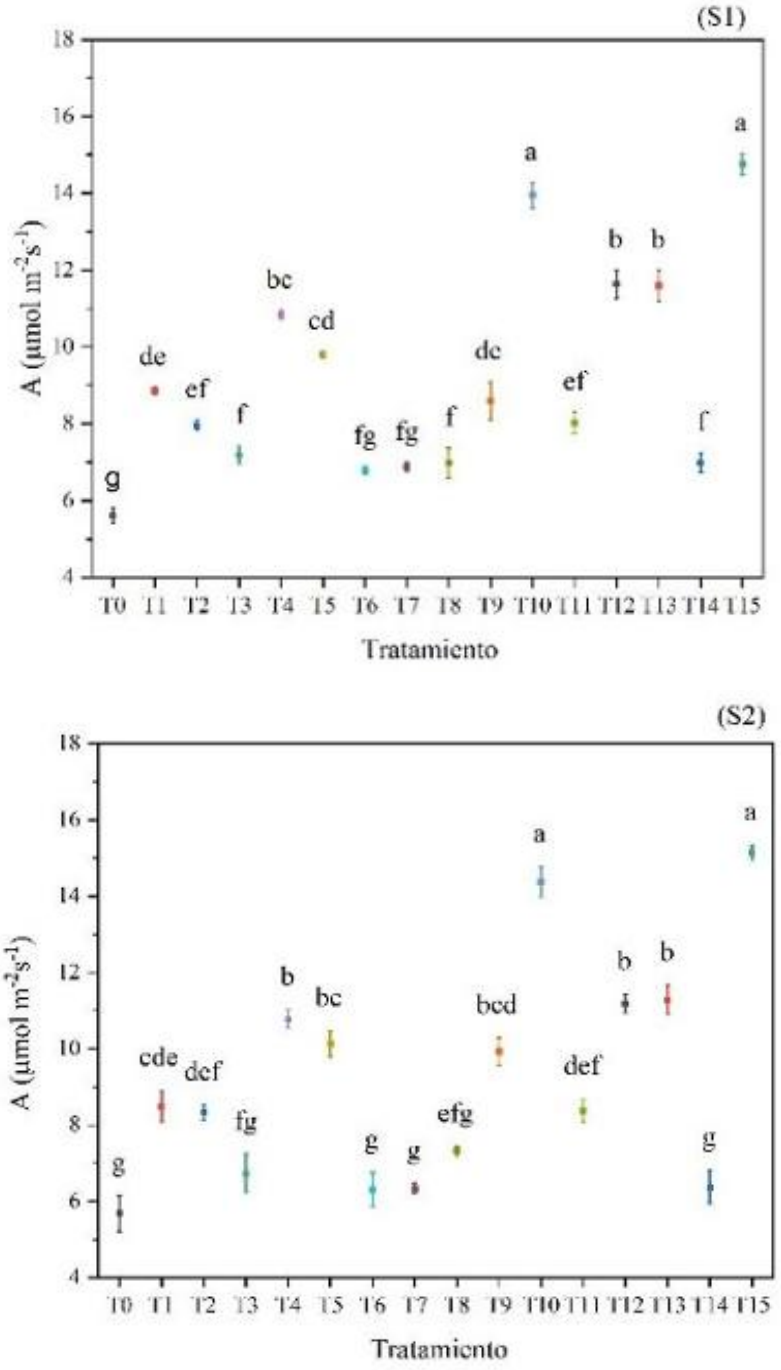


Figura 4. Incremento de diámetro en los tratamientos.

4.2.2. Parámetros fisiológicos

La tasa de asimilación (A) de CO_2 de *O. pyramidale*, en respuesta a los tratamientos (concentración de N, P, K) durante las cuatro semanas se muestran en la figura 5. Se observó que durante las cuatro semanas existió una mayor tasa de asimilación de CO_2 en T10 y T15, y menor en T6, T7 y T14.



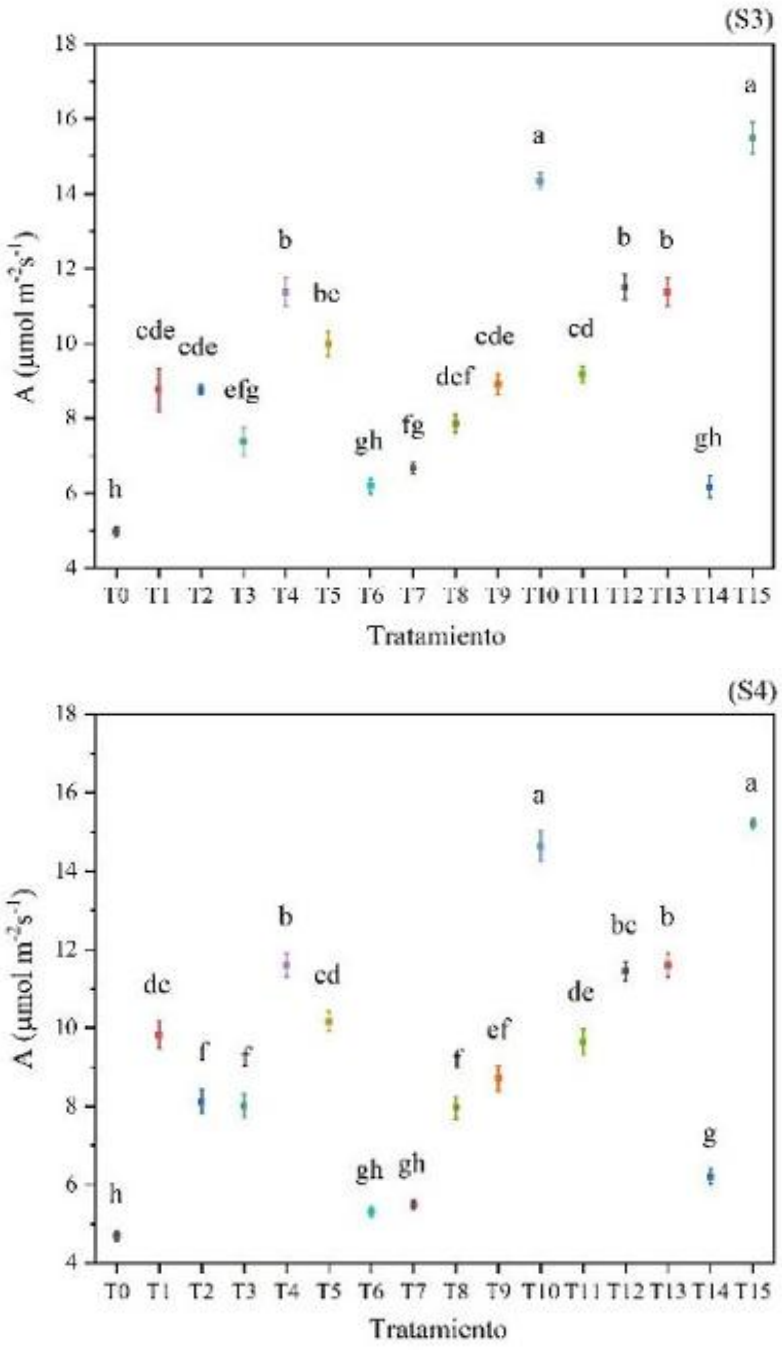


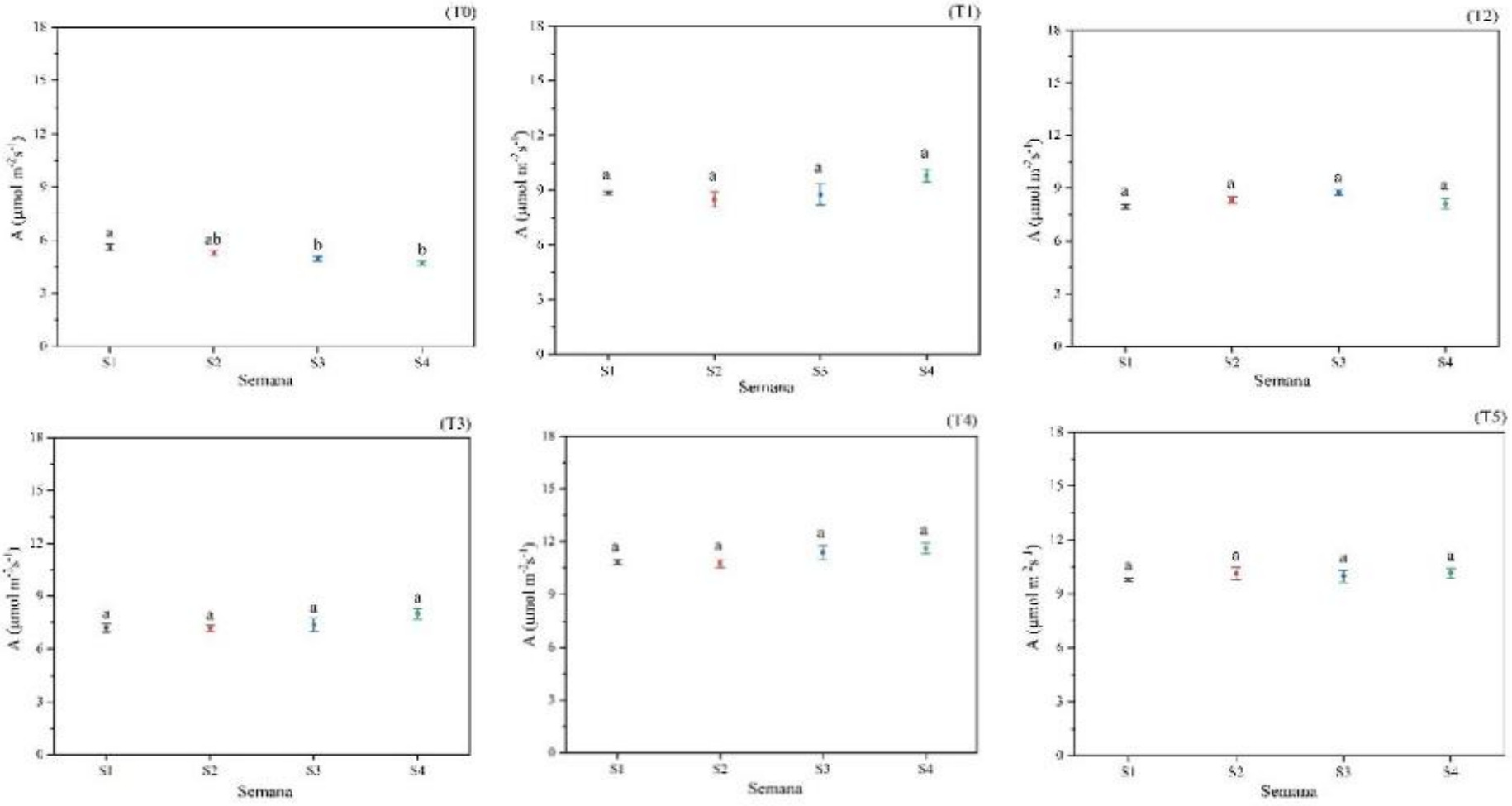
Figura 5. Tasa de asimilación de CO2 con relación a las concentraciones de cada una de los tratamientos por semanas.

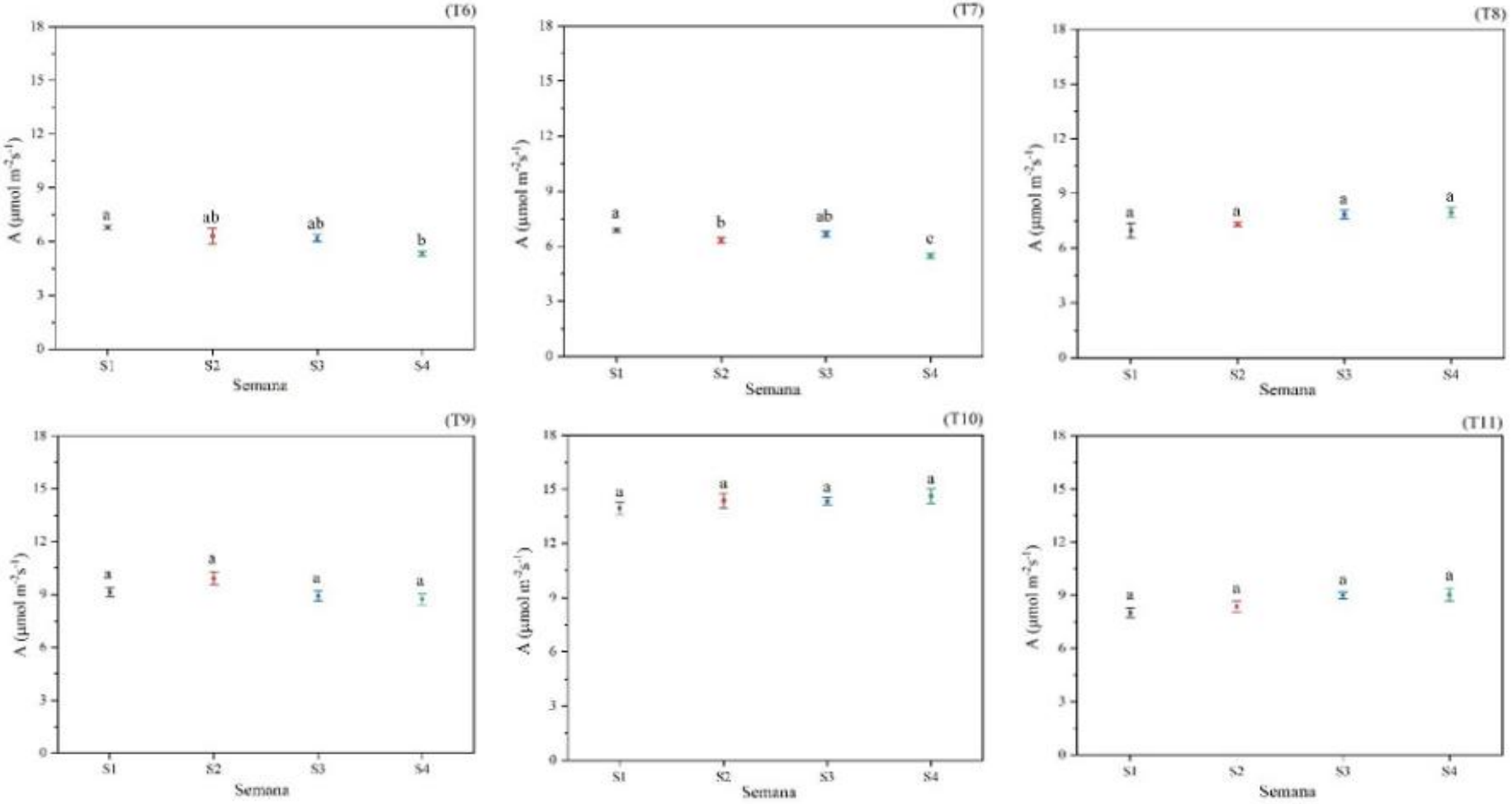
Con respecto a la tasa de asimilación de CO_2 por semanas (Figura 6), se observó que en T10 y T15 (réplicas) se produjeron las mayores tasa de asimilación con valores cercanos a los 15 µmol m^{-2} s^{-1}. De acuerdo al ANOVA (tabla 10) la frecuencia de fertlización resultó ser un factor no significativo por lo que se sugiere una sola frecuencia de fertilización para el período de estudio. Los tratamientos que mostraron los menores

valores fueron T6, T7 y T14 con valores próximos entre 6 y 7 µmol m^{-2} s^{-1}. Cabe destacar que para T6 en la semana 1 se observaron valores de 6,9 µmol m^{-2} s^{-1}, cuyo valor tuvo una disminución en la semana 4 (5,4 µmol m^{-2} s^{-1}), mientras que en la semana 2 y 3 la tasa de A no varió significativamente. Esto implica que a pesar de que manera general la frecuencia de fertlización no influyó significativamente, particularmente en este tratamiento se pudo apreciar la baja disponibilidad de nutrientes. Comparando T0 (Tramiento testigo) con los demás tratamientos se observó que presenta una menor tasa de asimilación de CO_2, debido a la ausencia de fertilizantes N, P y K.

Las variaciones en la tasa de asimilación de CO_2 en los tratamientos se debe a que los contenidos de nutrientes en el sustrato fueron disminuyendo, debido a la aplicación de concentraciones de N, P, K con una mínima de 75 mgL^{-1} y máxima de 150 mgL^{-1}.

Gonzáles et al., (2016) reporta en su estudio que la fertilización con N en la especie *Gerbera jamesonii H. Bolus ex Hook. f.,* la tasa (A) varían entre 9,2 a 12,1 µmol m^{-2} s^{-1}, lo que indica que son similares a las encontradas en este trabajo. Y aquellas variaciones existentes podrían ser atribuidos por diferencias genotípicas entre los distintas especies o prácticas agronómicas. También menciona que la tasa de A, a mayor dosis de N contribuye a mantener mayores tasas de asimilación de CO_2.


(T0)
(T1)
(T2)
(T3)
(T4)
(T5)
A (µmol m-2s-1)
Semana
S1
S2
S3
S4
a
ab
b


(T6)
A (µmol m-2s-1)
Semana
S1
S2
S3
S4
a
ab
ab
b
(T7)
a
b
ab
c
(T8)
a
a
a
a
(T9)
a
a
a
a
(T10)
a
a
a
a
(T11)
a
a
a
a

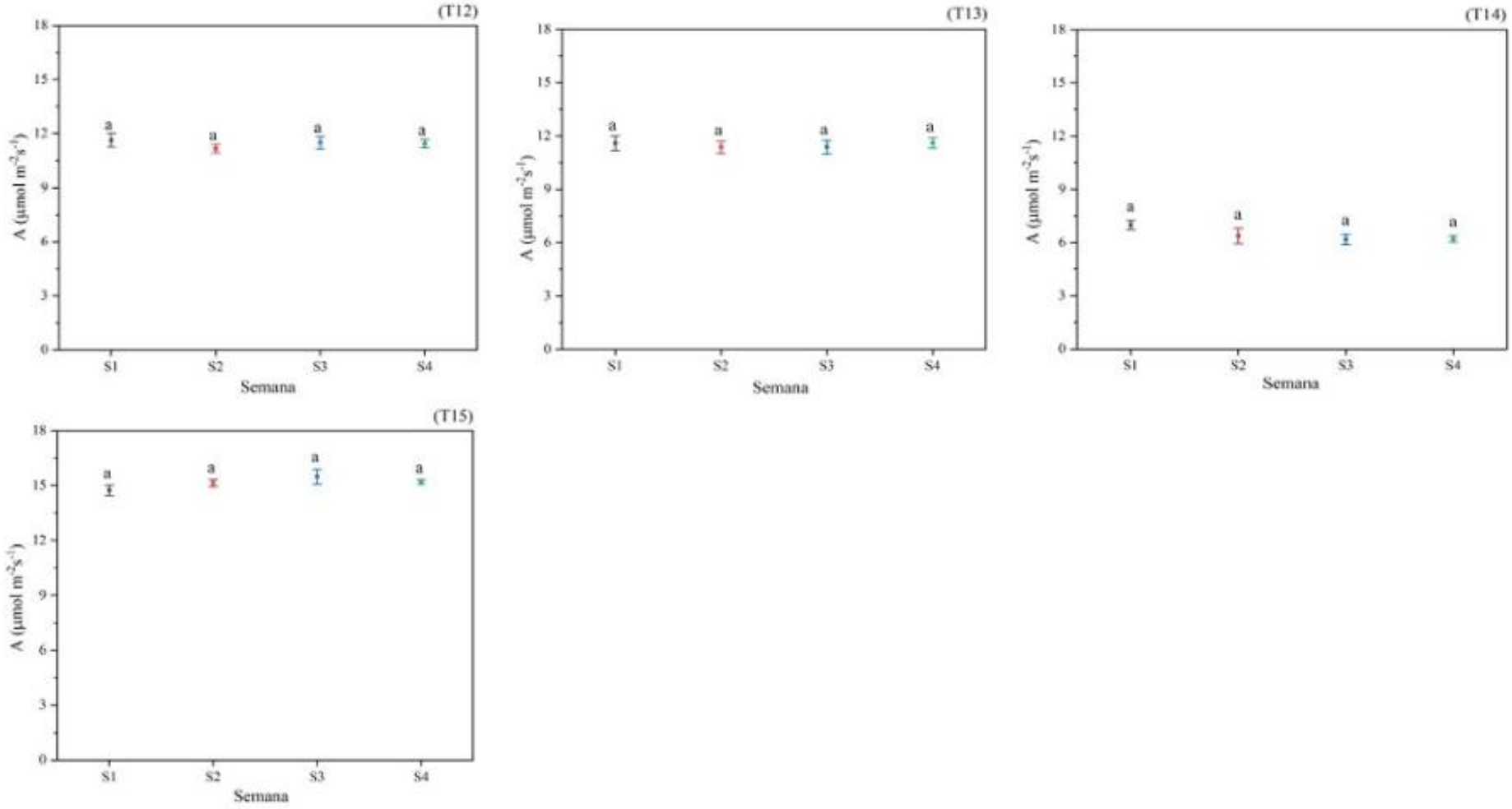


Figura 6. Tasa de asimilación de CO2 de los tratamientos en función a las cuatro semanas.

4.3. Optimización de la dosis de, N, P y K en la *O. pyramidale,* mediante la metodología superficie respuesta.

Los resultados obtenidos mediante la metodología superficie respuesta se indican en la Tabla 8. Los tratamientos de mayores concentraciones de N, P, K (T10 y T15) resultaron más favorables a las variables estudiadas, incremento en altura e incremento en diámetro con un valor entre 4,58 cm y 1,39 mm respectivamente. Mientras que los valores menores resultaron para las menores dosis de fertilización en los tratamientos T6, T7, T8 y T14. El tratamiento T7 resultó inferior dado a la menor frecuencia de fertilización. En todos los casos se evidenció una respuesta positiva a la fertilización, comprobando con el tratamiento testigo (T0).

Tabla 8. Diseño de la metodología superficie respuesta de un factor basado en variables independientes (concentración de N, P, K) y resultados de valores actuales y predichos de la altura y diámetro.

Tratamientos	Concentración N, P, K(mg/L)	Incremento en altura (cm)		Incremento en diámetro (mm)	
		Experimental	Valor Predicho	Experimental	Valor Predicho
T0	-	-	-	-	-
T1	121,88	2,08	2,51	1,05	1,04
T2	112,50	1,73	1,90	0,97	0,98
T3	93,75	1,54	1,35	0,95	0,89
T4	140,01	3,51	3,85	1,20	1,23
T5	131,25	2,92	2,96	1,14	1,14
T6	85,88	1,46	1,27	0,80	0,84
T7	75,00	1,04	1,26	0,84	0,82
T8	75,00	1,50	1,32	0,85	0,85
T9	104,63	2,01	1,67	0,94	0,92
T10	150,00	4,58	4,53	1,33	1,35
T11	112,50	1,87	1,90	0,94	0,98
T12	140,01	4,00	3,85	1,20	1,23
T13	140,01	4,16	3,85	1,29	1,23
T14	75,00	1,09	1,32	0,84	0,85
T15	150,00	4,56	4,53	1,39	1,35

Realizado por: Wilson Vargas y Olmer Rojas.

El modelo cuadrático de segundo orden resultó el de mayor ajuste, el valor de R^2 ajustado correspondió 0,9537 para el incremento en altura, y 0,9611 para el incremento en diámetro, indicando que 95,37 % y 96,11 % de la variación del incremento de altura y diámetro de *O. pyramidale,* estuvo determinada por la concentración de fertilizantes N, P y K.

Tabla 9. Resumen de los modelos polinomiales analizados por el software Design Expert en la optimización de la concentración de N, P y K para la altura y diámetro.

Altura	**p-valor**	**Falta de ajuste p- valor**	**Ajustado R^2**	**Predicho R^2**	
Lineal	< 0,0001	0,0313	0,8455	0,7996	
2FI	0,9540	0,0236	0,8316	0,7676	
Cuadrático	**0,0003**	**0,3604**	**0,9537**	**0,9257**	**Sugerido**
Cúbico	0.2909	0,3789	0,9575	0,9103	
Cuártico	0,3796	0,2927	0,9590	0,7069	
Quinto	0,2927		0,9614		
Diametro	**p-valor**	**Falta de ajuste p- valor**	**Adjusted R^2**	**Predicho R^2**	
Lineal	< 0,0001	0,0705	0,8958	0,8620	
2FI	0,9455	0,0541	0,8864	0,8264	
Cuadrático	**0,0008**	**0.4648**	**0.9611**	**0,9413**	**Sugerido**
Cúbico	0,8594	0,2849	0,9532	0,8808	
Cuártico	0,4235	0,1716	0,9531	0,5099	
Quinto	0,1716		0,9627		

Realizado por: Wilson Vargas y Olmer Rojas.

Se compararon, los valores predichos y experimentales de incremento de altura y diámetro relativos al modelo. La distribución de puntos confirmó la capacidad del modelo en cubrir toda la gama de experimentos estudiados, lo que sugirió que el modelo podria aplicarse de manera efectiva (Arteaga-Crespo et al., 2020; Gupta et al., 2011). Los valores de R^2 Ajustado de ambas líneas de regresión estaban cerca de 1, lo que indicó una buena concordancia entre los valores experimentales y predichos del modelo en los puntos de diseño, para ambos casos.

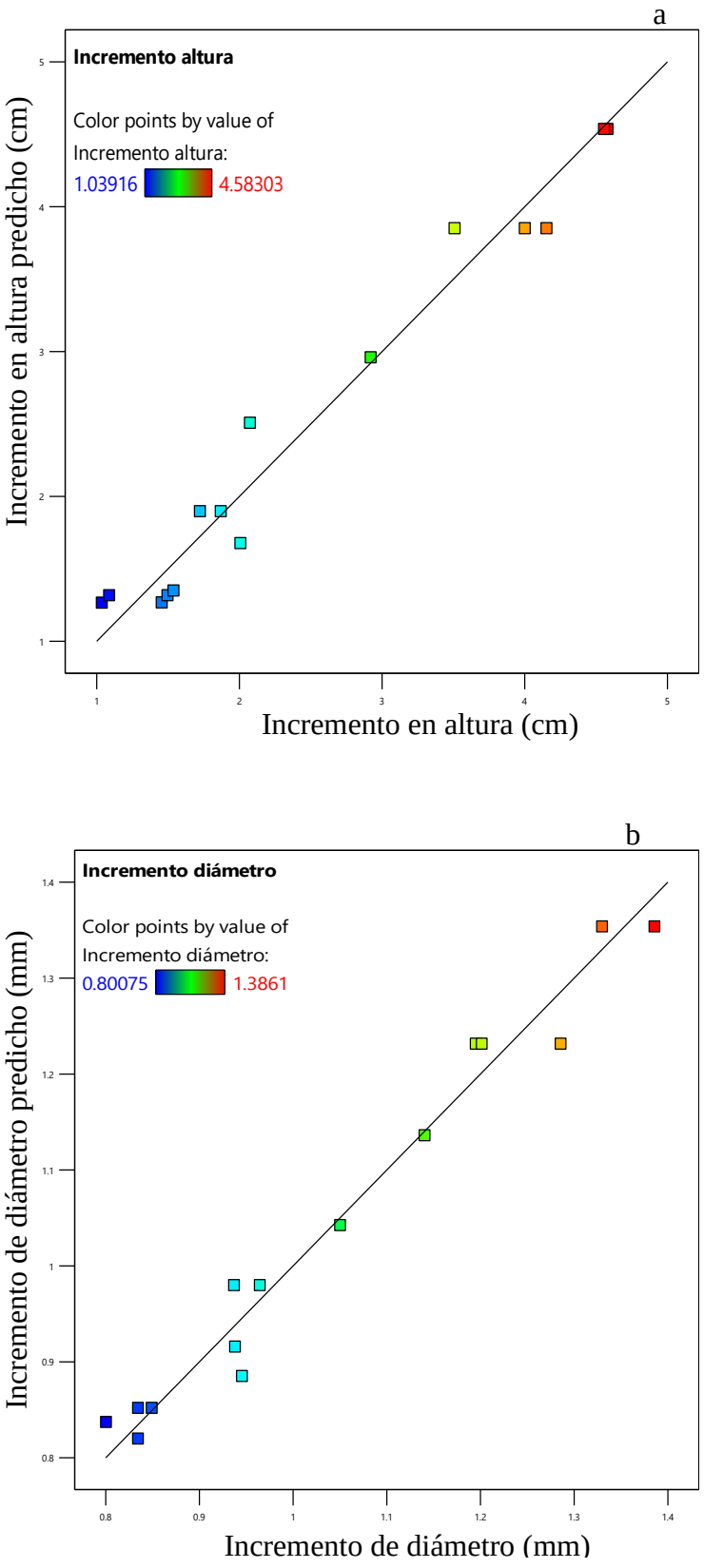


Figura 7. Valores experimentales y valores predichos para el diseño de un factor: (**a)** Incremento en altura (R2 ajustado=0,9537); (**b)** Incremento de diametro (R2 ajustado=0,9611).

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) solo la concentración resultó ser un factor significativo (P<0,05), mientras que la frecuencia de fertilización resultó no significativa (p>0,5), lo que sugiere que para el tiempo experimentación la aplicación de una sola dosis fue suficiente para los resultados alcanzados.

Tabla 10. ANOVA para el modelo cuadrático de superficie respuesta para la altura y diámetro.

Incremento Altura	**Suma de cuadrados**	**gl**	**Media de cuadrados**	**F-valor**	**p-valor**	
Modelo Cuadrático	22,52	4	5,63	73,07	< 0,0001	
A-Concentración	20,94	1	20,94	271,79	< 0,0001	Significativo
B-Frecuencia	0,0400	1	0,0400	0,5194	0,4876	No significativo
AB	0,0447	1	0,0447	0,5807	0,4636	
A^2	2,31	1	2,31	30,01	0,0003	
Residual	0,7706	10	0,0771			
Falta de ajuste	0,4496	5	0,0899	1,40	0,3604	
Error puro	0,3211	5	0,0642			
Total corregido	23,30	14				
Incremento Diámetro	**Suma de cuadrados**	**gl**	**Media de cuadrados**	**F-valor**	**p-valor**	
Modelo Cuadrático	0,5226	4	0,1307	87,51	< 0,0001	
A-Concentración	0,4995	1	0,4995	334,58	< 0,0001	Significantivo
B-Frecuencia	0,0006	1	0,0006	0,3939	0,5443	No signifivaativo
AB	0,0007	1	0,0007	0,4586	0,5136	
A^2	0,0330	1	0,0330	22,13	0,0008	
Residual	0,0149	10	0,0015			
Falta de ajuste	0,0078	5	0,0016	1,09	0,4648	
Error puro	0,0072	5	0,0014			
Total corregido	0,5375	14				

Realizado por: Wilson Vargas y Olmer Rojas.

El software generó ecuaciones polinomiales de segundo orden para el incremento de altura y diámetro, estos modelos permitieron la relación entre la concentración de N, P y K y la respuesta prevista en el incremento de la altura y diámetro.

Ecuación del modelo cuadrático para los factores significativos y no significativos.

Incremento altura =Frecuencia1 + 5,96590 – 0,117587 x Concentración + 0.000732 x Concentración²

Incremento altura = Frecuencia2 + 6,32929 – 0,121747 x Concentración + 0.000732 x Concentración²

Incremento diámetro =Frecuencia1 + 1,26324 – 0,012477 x Concentración + 0.000087 x Concentración²

Incremento diámetro = Frecuencia2 + 1,33382 – 0,012991 x Concentración + 0.000087 x Concentración²

La significancia estadística de las ecuaciones de regresión con respecto al modelo polinomial de la metodología superficie respuesta se verificó mediante las pruebas F y ANOVA (Tabla 10), y las ecuaciones de regresión simuladas por el software se muestran en la Figura 8 a, b.

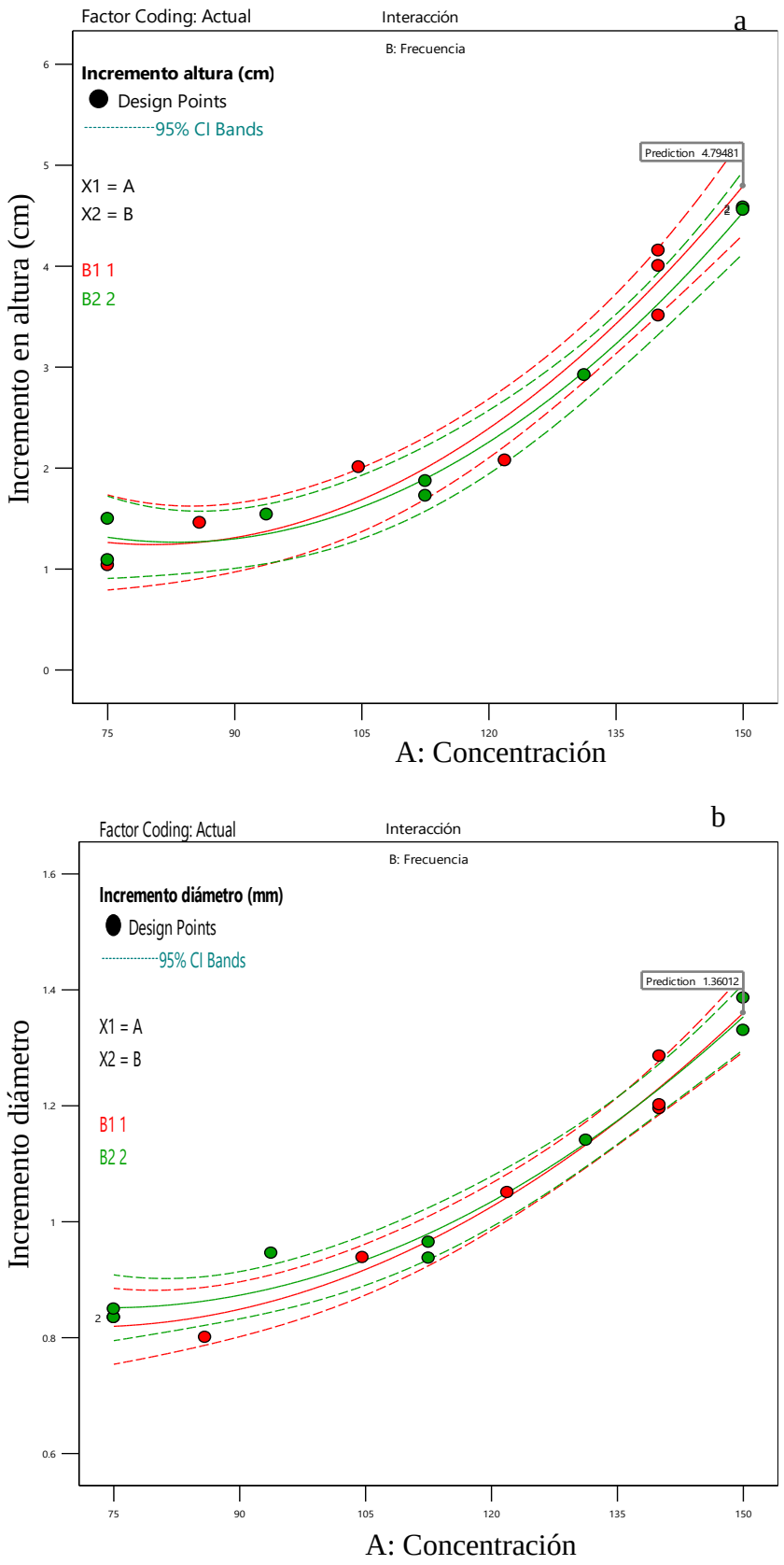


Figura 8. Modelo para diseño de un factor. (a) incremento de altura (predicción=4,79); (b) incremento en diámetro (Predicción=1,36).

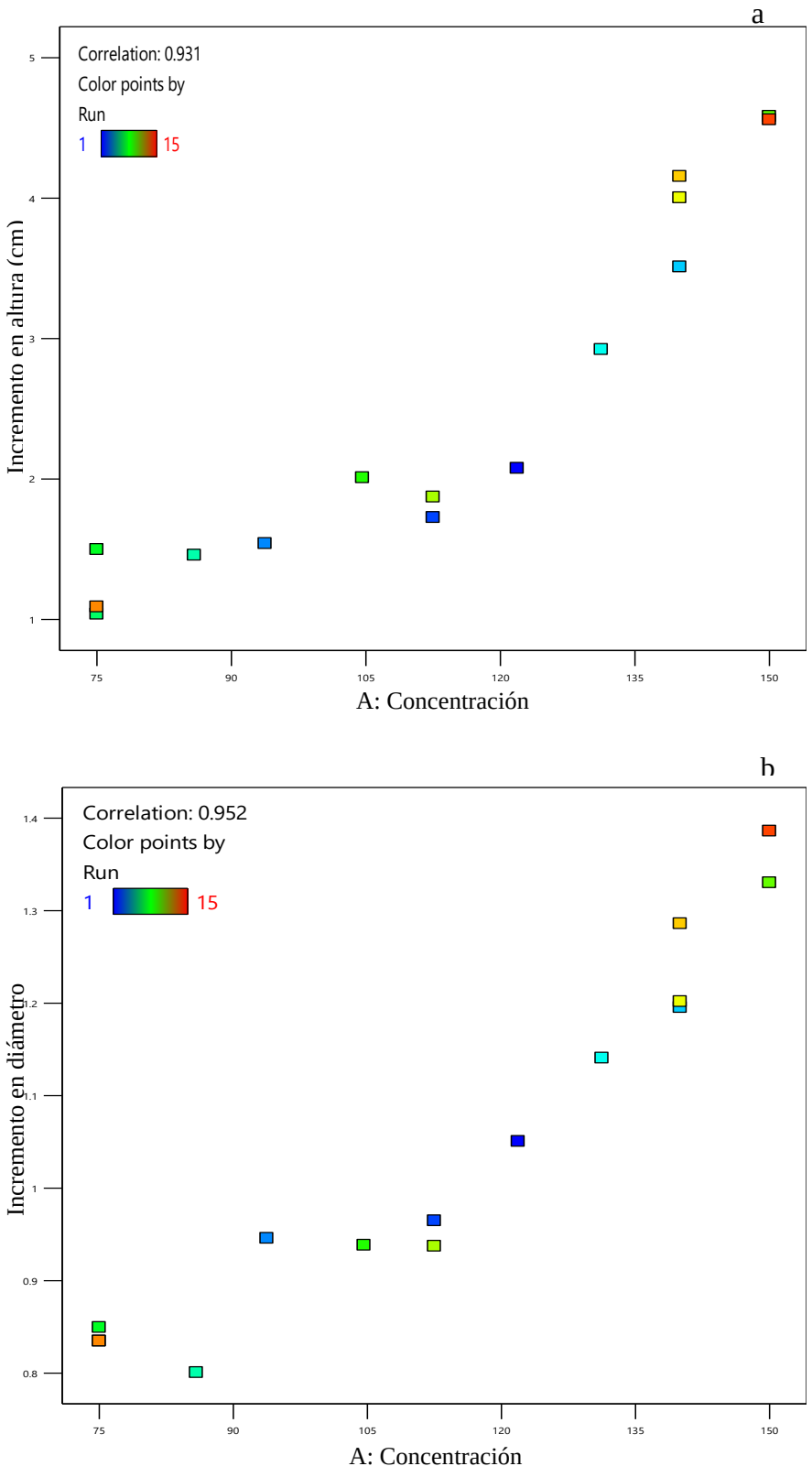


Figura 9. Correlación: (a) incremento en altura y Concentración; (b) incremento de diámetro y Concentración.

Se encontró una correlación entre las variables estudiadas y la concentración de N, P y K, dando como resultado una correlación 93% en el incremento de altura y de 95% en el incremento en diámetro de *O. Pyramidale.* Figura 9 a, b. Además, se encontró una alta correlación entre incremento en altura e incremento en diámetro con valores superiores a 97% de la especie *O. Pyramidale,* Figura 10.

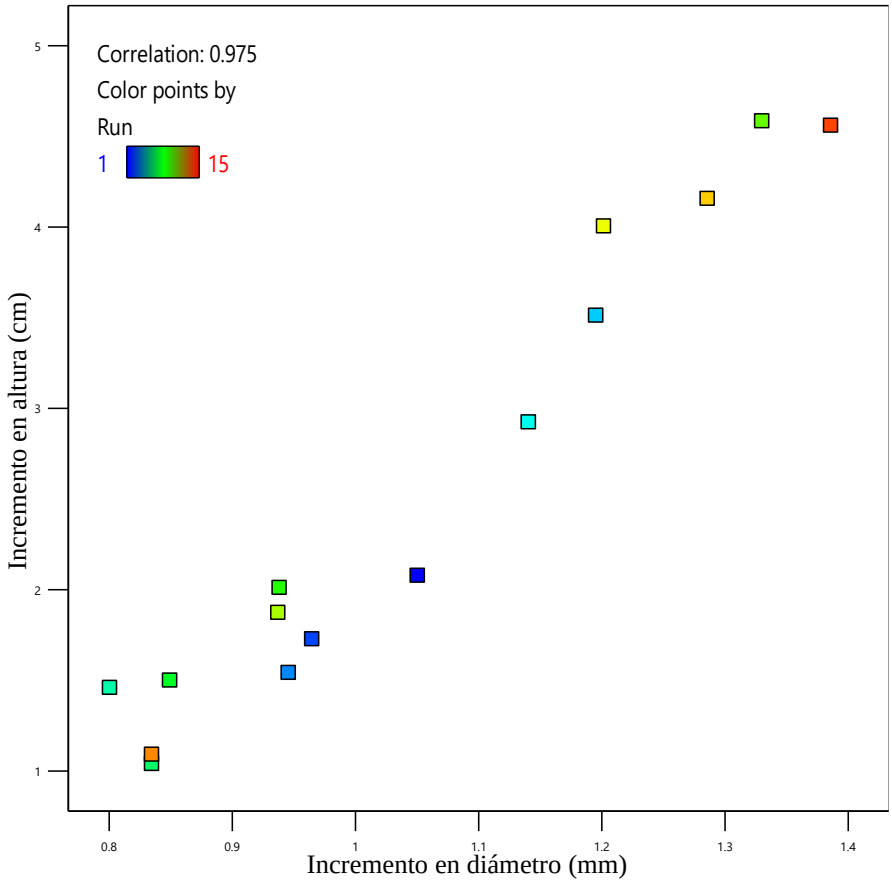


Figura 10. Correlación: Incremento de altura e Incremento en diámetro

Al no existir investigaciones sobre la optimización de la dosis de N, P y K en *O. pyramidale* u otras especies forestales a nivel de vivero, mediante la MSR, se puede deducir que este trabajo es uno de los primeros estudios en aportar información verídica en cuanto a la optimización de N, P y K en *O. pyramidale,* mediante la metodología de superficie de respuesta. Es importante señalar que los modelos matemáticos, que incluyen más de una variable, representan mejor la dinámica de crecimiento de las plantas (Thornley & France, 2007)

5. CONCLUSIONES

- La caracterización química del sustrato (humus de lombriz) se encontraba en los intervalos recomendados para su uso en la producción de plantas en contenedores, sin embargo se demostró que la cantidad limita el crecimiento y asimilación de CO_2.

- *O. pyramidale* respondió favorablemente a la fertilización de N, P y K, con mayor incremento de altura, diámetro y tasa de asimilación de CO_2 para la concentración de 150 mg L^{-1} con diferncias significativas al tratamiento testigo (sin fertilización). Estos resultados sugieren la aplicación de N, P y K para la obtención de plantas de mayor calidad con abastecimiento de nutrientes que permitan un mayor arraigo en la plantación forestal.

- Mediante la MSR se encontró que para dosis de 150 mg L^{-1}, el modelo cuadrático predictivo indicó un incremento de altura de 4,79 cm y diámetro de 1,36 mm.

6. RECOMENDACIONES

- Aplicar una frecuencia de fertilización con N, P y K a los tres meses para garantizar el abastecimiento de nutrientes de *O. pyramidale.*

- Aplicar una dosis de 150mgL^{-1} de N, P y K para la producción de *O. pyramidele* en vivero.

- Aplicar la MSR para optimizar la fertiliación con N, P y K en otras especies forestales de interés.

7. REFERENCIAS

Arteaga-Crespo, Y., Radice, M., Bravo-Sanchez, L. R., García-Quintana, Y., & Scalvenzi, L. (2020). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic antioxidants from Ilex guayusa Loes. leaves using response surface methodology. *Heliyon*, *6*(1), e03043. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03043

Ávila-Lovera, E., & Tezara, W. (2018). Water-use efficiency is higher in green stems than in leaves of a tropical tree species. *Trees*, *32*(6), 1547–1558.

Ávila-Lovera, E., Urich, R., Coronel, I., & Tezara, W. (2019). Seasonal gas exchange and resource-use efficiency in evergreen versus deciduous species from a tropical dry forest. *Tree Physiology*, *39*(9), 1561–1571.

Barbado, J. L. (2004). *Cría de lombrices: lombricultura* (Issue 639.7546 BARc).

Basave, E., Cetina, V. M., López, M. Á., Trejo, C., Ramírez, C., & Conde, V. (2020). Nursery fertilization of Pithecellobium dulce (Roxb.) Benth: effects on seedling quality. *Madera y Bosques*, *26*(3).

Basheer, M., & Agrawal, O. P. (2013). Research article effect of vermicompost on the growth and productivity of tomato plant (Solanum lycopersicum) under field conditions. India. *International J. Recent Sci. Res*, *3*(4), 247–249.

Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*.

Birchler, T. al, Royo, A., & Pardos, M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Forest Systems*, *7*(1), 109–121.

Bonilla, C., Pino, M., & Logroño, J. (2014). *Guía Tecnica: Manejo de viveros forestales*. http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Manejo-de-Viveros-Forestales.pdf

Box, G., & Wilson, K. (1951). On the experimental attainment of optimum conditions. *Journal of the Royal Statistical Society*, *13*, 1–45.

Cantarella, H., Otto, R., Soares, J. R., & de Brito Silva, A. G. (2018). Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: a review. *Journal of Advanced Research*, *13*, 19–27.

Carrera, R. C. (2012). *Aplicación de tres tipos de fertilizantes en Ochroma pyramidale Cav.(balsa) en el Cantón Mocache, Provincia de Los Ríos.* Quevedo: UTEQ.

Cedeño Dueñas, J., Cedeño García, G., Alcívar Alcívar, J., Cargua Chávez, J., Cedeño Sacón, F., Cedeño García, G., & Constante Tubay, G. (2018). Incremento del rendimiento y calidad nutricional del arroz con fertilización NPK complementada con micronutrientes. *Scientia Agropecuaria*, *9*(4), 503–509.

Durán, L., & Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, *31*(1), 41–51.

FAO. (2002). *Los Fertilizantes y su Uso una Guia de Bolsillo para los Oficiales de Extension*. Food & Agriculture Org. http://www.fao.org/documents/card/es/c/b0f8bfc5-4c95-54b0-80cd-96b810006037/

Fernandez, C., & Corá, J. E. (2004). Bulk density and relationship air/water of horticultural substrate. *Scientia Agricola*, *61*(4), 446–450.

Francis, J. K., Lowe, C. A., & Trabanino, S. (2000). *Bioecología de Arboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales Silvics of Native and Exotic Trees of Puerto Rico and the Caribbean Islands*.

Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M., & Garruña, R. (2018). Caracterización Física Y Química De Materiales Orgánicos Para Sustratos Agrícolas. *Agrociencia*, *52*, 639–652. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000400639#B10

Gonzáles, M. C., Rada, F., & Jaimez, R. (2016). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (Gerbera jamesonii H. Bolus ex Hook. f.). *Acta Agronómica*, *65*(3), 255–260.

Goodrich, T., Nawaz, N., Feih, S., Lattimer, B. Y., & Mouritz, A. P. (2010). High-temperature mechanical properties and thermal recovery of balsa wood. *Journal of Wood Science*, *56*(6), 437–443.

Gupta, A., Sharma, S., & Naik, S. N. (2011). Biopesticidal value of selected essential oils

against pathogenic fungus, termites, and nematodes. *International Biodeterioration and Biodegradation*, *65*(5), 703–707. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.11.018

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2002). Plant propagation: principles and practices, Prentice-Hall. *Upper Saddle River, New Jersey*, *7458*.

InfoAgro. (2021). *Biocontroladores-Apiche*. http://www.infoagro.go.cr/InfoRegiones/Publicaciones/elaboracion_biocontroladores_apichi_m5.pdf

Jiménez Careaga, M. G. (2015). Superficies de respuesta mediante un diseño central compuesto. *Revista Varianza*, *11*, 31–36.

Jiménez, F. J. (1993). *Viveros forestales para producción de planta a pie de repoblación*.

Khanzada, A., Ansari, M. A., Chang, B. H., Rajput, A., Magsi, F. H., & Ali, U. (2016). Evaluating right timing and splitting nitrogen application rates for enhanced growth and yield of sunflower. *Euro Academ. Res*, *4*(7), 5986–6007.

Long, S. P., Ainsworth, E. A., Bernacchi, C. J., Davey, P. A., Morgan, P. B., Hymus, G. J., Leakey, A. D. B., & Osborne, C. P. (2006). Long-Term Responses of Photosynthesis and Stomata to Elevated [CO 2] in Managed Systems. In *Managed ecosystems and CO2* (pp. 253–270). Springer.

Luis, V. C., Puértolas, J., Climent, J., Peters, J., González-Rodríguez, Á. M., Morales, D., & Jiménez, M. S. (2009). Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (Pinus canariensis) seedlings planted in a semiarid environment. *European Journal of Forest Research*, *128*(3), 221–229.

MAGAP. (2016). Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales. In *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca Subsecretaría de producción forestal* (p. 70). http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2014/06/SPF-FOLLETO-PIF-2014-050614.pdf

Martínez Garza, A. (1988). *Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría*. Trillas.

Melendez, G., & Molina, E. (2003). *Fertilizantes: Caracteristicas y manejo* (1 ed.).

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). *MAG impulsa plantaciones forestales comerciales para evitar la deforestación – Ministerio de Agricultura y Ganadería*.

12 de Agosto. https://www.agricultura.gob.ec/mag-impulsa-plantaciones-forestales-comerciales-para-evitar-la-deforestacion/

Ministerio del Ambiente. (2017). *Deforestación del Ecuador continental periodo 2014-2016. Quito*.

Mohammadi, M. S., & Nairn, J. A. (2014). Crack propagation and fracture toughness of solid balsa used for cores of sandwich composites. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, *16*(1), 22–41.

Molina, J. (2014). *Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la industrialización, procesamiento y exportación de la madera de balsa como bloques encolados al mercado de los Estados Unidos de América, ubicado en el cantón Santo Domingo de los Tsách*. Universidad Politécnica Salesiana.

Morales, E. J. M., Arriaga, M. R., Sandoval, J. A. L., Campos, Á. R. M., & Rosales, E. J. M. (2019). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *10*(8), 1875–1886.

Obando, J. (2017). *Adaptación inicial de siete especies forestales en la parroquia la Concepción, cantón Mira, provincia del Carchi* [Universidad Técnica del Norte]. http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7774/1/03 FOR 267 TRABAJO DE GRADO.pdf

Oliet, J., Segura, M. L., Dominguez, F. M., Blanco, E., Serrada, R., Arias, M. L., & Artero, F. (1999). Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de Pinus halepensis Mill. *Forest Systems*, *8*(1), 207–228.

Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Díaz-Ruiz, R., & Ocampo-Mendoza, J. (2010). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (Lycopersicum esculentum Mill). *Ra Ximhai*, *6*(3), 365–372.

Ortuño, A. M., Díaz, L., & Del Río Conesa, J. A. (2015). Evolución de la Fisiología Vegetal en los últimos 100 años. *Eubacteria*, *34*(1), 74–82. https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/48183/1/Fisiologia_vegetal_Eubacteria34.pdf

Ovalles-Rodríguez, G. A. (2011). Uso de la metodología de superficies de respuesta en

la optimización de procesos. *Eco Matemático*, *2*(1), 16–20.

Paul, L. C., & Metzger, J. D. (2005). Impact of vermicompost on vegetable transplant quality. *HortScience*, *40*(7), 2020–2023.

Pennington, T. D., & Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies*. UNAM.

Pérez-Urria, E. (2011). Fotosíntesis: aspectos básicos. *Reduca (Biología)*, *2*(3).

Ramírez, R. M., & Pascual-Alex, M. I. (2010). Characterization and use of a vegetable waste vermicompost as an alternative component in substrates for horticultural seedbeds. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *4*, 1174–1182.

Rios Quinchoa, J. Y., Jaramillo Villegas, S. del C., González Santamaría, L. H., & Cotes Torres, J. M. (2010). Determinación del Efecto de Diferentes Niveles de Fertilización en Papa (Solanum tuberosum ssp. Andigena) DIACOL Capiro en un Suelo con Propiedades Ándicas de Santa Rosa de Osos, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *63*(1), 5225–5237.

Ritchie, G., Landis, T., Dumroese, K., & Haase, D. (2013). Manual de Viveros para la Produccion de Especies Forestales en Contenedores, Evaluación de la Calidad de la Planta. *Manual de Viveros Para La Producción de Especies Forestales En Contenedor*, 100.

Rojas, F., & Torres, G. (2009). Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción Balsa. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, *6*(17), pág. 64-66. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/391

Rosa, G. (2018). *Efecto de Muriato de potasio vía foliar y al suelo, sobre el rendimiento y calidad del jocote corona (spondias pupurea L.); Quesada, Jutiapa* [Universidad Rafael Landívar]. http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2018/06/03/Rosa-Gerardo.pdf

Schulte, E. E., & Hopkins, B. G. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*, *46*, 21–31.

Sembralia. (2020). *Fertilizantes NPK. ¿Qué son y para qué sirven? Tipos de Nutrientes*. https://sembralia.com/fertilizantes-npk/

Sierra, C. (1990). Rocas Fosfóricas: Nueva fuente de fósforo para praderas y cultivos.

Boletin Tecnico-Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Squeo, F. A., & León, M. F. (2007). Transpiración. In Universidad de la Serana (Ed.), *Fisiología Vegetal* (pp. 67–84). http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Transpiracion.pdf

Thornley, J. H. M., & France, J. (2007). *Mathematical models in agriculture: a quantitative approach to problems in agriculture and related sciences*. CABI.

Trenkel, M. E. (2010). Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture in agriculture. *Published by the International Fertilizer Industry Association (IFA)*.

Tropicos.org. Jardín Botánico de Missouri. (n.d.). *Ochroma pyramidale (Cav. Ex Lam.) Urb.* Retrieved February 13, 2021, from http://legacy.tropicos.org/NamePage.aspx?nameId=3900204&projectId=2

Trujillo Enrique. (2009). *Guia de Reforestación. El Semillero. Bogotá - Colombia.* https://isbn.cloud/9789584448705/guia-de-reforestacion-segunda-edicion/

Villar-Salvador, P., Peñuelas, J. L., Nicolás-Peragón, J. L., Benito, L. F., & Domínguez-Lerena, S. (2013). Is nitrogen fertilization in the nursery a suitable tool for enhancing the performance of Mediterranean oak plantations? *New Forests*, *44*(5), 733–751.

Villar-Salvador, P., Puértolas, J., Cuesta, B., Penuelas, J. L., Uscola, M., Heredia-Guerrero, N., & Benayas, J. M. R. (2012). Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forests*, *43*(5), 755–770.

Zapata, F., & Roy, R. N. (2007). *Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible*. FAO Roma, Italia.

8. ANEXOS



Anexo 1. Colocación de tubetes en las bandejas



Anexo 2. Mezcla de humus de lombriz y cascarilla de arroz.



Anexo 3. Relleno de los tubetes con mezcla del sustrato.



Anexo 4. Preparación de las semillas de *O. pyramidele.*



Anexo 5. Preparación del insecticida "Apiche"



Anexo 6. Siembra de la semilla de *O. pyramidale*



Anexo 7. Riego a las bandejas de *O. pyramidale.*



Anexo 8. Germinación de *O. pyramidale*



Anexo 9. División de plantas por tratamiento.



Anexo 10. Pesaje de fertilizantes de urea, roca fosfórica y muriato de potasio.



Anexo 11. Aplicación de fertilizantes N, P y K.



Anexo 12. Medición de la altura y diámetro de *O. pyramidale*.



Anexo 13. Utilización del equipo IRGA



Anexo 14. Medición de la tasa de asimilación de CO_2.