

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**INFLUENCIA DEL NPK EN PLANTULAS DE CEDRO
COLORADO (*Cedrela odorata* L.) EN CULTIVOS
HIDROPONICOS CON SUSTRATO EN AGREGADOS**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR

KEVIN SALDAÑA ALVARADO

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 0020-2020-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 16 de julio de 2020, a horas 10:00 a.m. en la Sala Virtual mediante la plataforma de Microsoft Teams de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“INFLUENCIA DEL NPK EN PLANTULAS DE CEDRO COLORADO (*Cedrela odorata* L.) EN CULTIVOS HIDROPÓNICOS CON SUSTRATO EN AGREGADOS”

Presentado por la Bachiller, **SALDAÑA ALVARADO, KEVIN**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO FORESTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 16 de julio de 2020

Ing. RAÚL ARAUJO TORRES
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. JOSÉ LÉVANO CRISÓSTOMO
MIEMBRO

Ing. Mg. ROBERTO OBREGÓN PEÑA
MIEMBRO

Blga. MSc. GABRIELA C. CARHUAMANCA YABAR
ASESOR

Ing. JORGE BIRINO ÁLVAREZ MELO
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



INFLUENCIA DEL NPK EN PLANTULAS DE CEDRO COLORADO (*Cedrela odorata* L.) EN CULTIVOS HIDROPONICOS CON SUSTRATO EN AGREGADOS

Autor : Kevin SALDAÑA ALVARADO

Asesor : Blga. Gabriela Cecilia CARHUAMACA YABAR
Ing. Jorge Birino ÁLVAREZ MELO

Programa de investigación : Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales

Línea de investigación : Silvicultura, Dendrología, Manejo y Ordenación Forestal

Eje temático de investigación : Instalación, Producción y Manejo en Viveros y Plantaciones Forestales

Lugar de ejecución : Laboratorio de Certificación de Semillas - FRNR

Duración:

Fecha de inicio : 10 – 01 – 2019

Fecha de término : 10 – 08 – 2019

Financiamiento:

Propio : 5000.00 soles

2020

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarme salud y bienestar en mi vida y por darme la fuerza para poder conseguir este anhelo.

A mis padres, gracias a ellos soy quien soy, orgullosamente y con la cara muy en alto agradezco a Downey Saldaña Pérez y Brillitt Alvarado Arbildo, mi mayor inspiración, gracias a mis padres he concluido con mi mayor meta,

A mis hermanos: Carlos Enrique Saldaña Alvarado y María del Carmen Saldaña Alvarado, por estar siempre presentes y por el apoyo moral que me brindaron en esta etapa de mi vida

DEDICATORIA

- A la universidad Nacional Agraria de la Selva y docentes de la facultad de Recursos Naturales Renovables, por toda la contribución social, cultural y científica que me han brindado a lo largo de todos estos años.
- De manera muy especial a la Blga. Gabriela Cecilia Carhuamaca Yabar, amiga y asesora en la presente investigación, por sus sabias contribuciones, dedicación constante, apoyo en el desarrollo práctico y por su confianza puesta en mi persona.
- Al Ing. Jorge Álvarez Melo, por brindarme su apoyo en el desarrollo de la presente tesis.
- A mis amigos: Ing. Carlos Enrique Medina Villanueva y el Ing. Jorge Alex Rivero Fonseca, por sus consejos y ayuda constante en la ejecución del presente trabajo.
- A Ángel Manuel Oroche Villaflor, más que un amigo un hermano, promoción y gran apoyo incondicional, que siempre le estaré agradecido por brindarme su tiempo y esfuerzo a lo largo de todo este proceso de investigación.
- A mi gran amigo y confidente Josmell Grandes Sifuentes, con quien pasé los mejores momentos en mi etapa universitaria.
- A Ludmir Y. Rodríguez Romero por creer en mi capacidad de alcanzar esta meta, brindarme su amor, apoyo, tiempo y consejos, además de impulsarme a no rendirme en este largo proceso de investigación.

ÍNDICE

Página

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1.	Descripción general de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado)	4
2.1.1.	Fenología.....	6
2.1.2.	La semilla	7
2.2.	Hidroponía.....	8
2.2.1.	Pros y contras del empleo de cultivos hidropónicos	9
2.2.2.	Impacto Social	11
2.3.	Nutrición en plantas.....	11
2.3.1.	N – Nitrógeno.....	15
2.3.2.	P – Fosforo	17
2.3.3.	K – Potasio	18
2.4.	Generalidades de los cultivos hidropónicos	19
2.4.1.	Sustrato	19
2.4.2.	Solución nutritiva	21
2.4.3.	Control de soluciones y variaciones del pH	22
2.4.4.	Periodicidad de los riegos.....	23
2.4.5.	Aireación de los cultivos	24

3.3.4. Evaluación de variables.....	38
3.3.4.1. Medición de la longitud parte aérea (LPA).....	38
3.3.4.2. Medición de la longitud de raíz (LR)	38
3.3.4.3. Medición peso seco de plántula.....	38
3.3.4.4. Labores posteriores	39
IV. RESULTADOS	40
4.1. Influencia de NPK en crecimiento en altura en plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado)	40
4.2. Influencia de NPK en crecimiento en longitud radicular en plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	44
4.3. Influencia de NPK en crecimiento de biomasa en plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado)	48
V. DISCUSIÓN.....	52
5.1. Influencia de NPK en crecimiento en altura en plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado)	52
5.2. Influencia de NPK en crecimiento en longitud radicular en plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	55
5.3. Influencia de NPK en crecimiento de biomasa en plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado)	58
VI. CONCLUSIONES	61
VII. RECOMENDACIONES.....	62
VIII. ABSTRACT	64

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
X. ANEXO	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Macroelementos y microelementos necesarios para el crecimiento.....	15
2. Datos meteorológicos para el periodo de evaluación	31
3. Dosificación de tratamientos NPK formulada a partir de la dosis recomendada.....	33
4. Modelo del análisis de varianza.....	35
5. Medidas de resumen para la variable longitud parte aérea.	40
6. Prueba de Shapiro-wilks (modificado) de la variable longitud parte aérea de plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	41
7. Resumen ANVA de la variable evaluada longitud parte aérea.....	42
8. Prueba Tukey para los tratamientos de la variable longitud parte aérea	43
9. Medidas de resumen para la variable longitud radicular.....	44
10. Prueba de Shapiro-wilks (modificado) de la variable longitud radicular de plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	45
11. Resumen análisis de varianza de la variable longitud radicular.....	46
12. Prueba Tukey para los tratamientos de la variable longitud radicular.....	47
13. Medidas de resumen para la variable biomasa.	48
14. Prueba de Shapiro-wilks (modificado) de la variable biomasa.....	49
15. Resumen análisis de varianza de la variable biomasa	50
16. Prueba Tukey para los tratamientos de la variable biomasa	51
17. Datos evaluados de longitud parte aérea.	74
18. Análisis de varianza de la primera evaluación de longitud parte aérea.	75

19. Prueba Tukey de la primera evaluación de longitud parte aérea.....	75
20. Análisis de varianza de la segunda evaluación de longitud parte aérea....	75
21. Prueba Tukey de la segunda evaluación de longitud parte aérea.	76
22. Análisis de varianza de la tercera evaluación de longitud parte aérea.	76
23. Prueba Tukey de la tercera evaluación de longitud parte aérea.....	76
24. Datos evaluados de longitud radicular.....	77
25. Análisis de varianza de la primera evaluación de longitud radicular.....	78
26. Prueba Tukey de la primera evaluación de longitud radicular.	78
27. Análisis de varianza de la segunda evaluación de longitud radicular.	78
28. Prueba Tukey de la segunda evaluación de longitud radicular.....	79
29. Análisis de varianza de la tercera evaluación de longitud radicular.	79
30. Prueba Tukey de la tercera evaluación de longitud radicular.	79
31. Datos evaluados de la biomasa.....	80
32. Análisis de varianza de la primera evaluación de la biomasa.....	81
33. Prueba Tukey de la primera evaluación de la biomasa.	81
34. Análisis de varianza de la segunda evaluación de la biomasa.	81
35. Prueba Tukey de la segunda evaluación de la biomasa.....	82
36. Análisis de varianza de la tercera evaluación de la biomasa.....	82
37. Prueba Tukey de la tercera evaluación de la biomasa.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Relaciones entre el contenido nutrimental del tejido y el crecimiento de la planta (Modificado de MENGEL y KIRKBY, 1978).	13
2. Diseño de los tratamientos con sus repeticiones.....	37
3. Q-Q plot de distribución normal de la variable longitud parte aérea de plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L.....	41
4. Incremento de longitud parte aérea en tres evaluaciones.....	43
5. Q-Q plot de distribución normal de la variable longitud radicular de plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L.....	45
6. Incremento de longitud radicular en tres evaluaciones.....	47
7. Q-Q plot de distribución normal de la variable biomasa.	49
8. Incremento de biomasa en tres evaluaciones.....	51
9. Implementación de los baldes de plástico	83
10. Recolección del aserrín descompuesto para el sustrato.	83
11. Semillas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	84
12. Sembrado de semillas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) en el sustrato.....	84
13. Germinación de semillas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	85
14. Medición de la altura de parte aérea antes de la aplicación.	85
15. Etiquetado de los baldes con los respectivos tratamientos.....	86
16. Todos los tratamientos y repeticiones etiquetados.	86
17. Fertilizante inorgánico JBL PROSCAPE.....	87
18. Dosificación de los tratamientos con NPK.	87

19. Dilución en agua de las dosis de NPK.....	88
20. Aplicación de las dosis de los tratamientos en las plántulas.	88
21. Evaluación de variables biométricas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	89
22. Medición de la longitud de parte aérea de plántulas.....	89
23. Medición de la longitud de la raíz de plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	90
24. Plántulas de evaluadas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado)	90
25. Plántulas frescas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) en la estufa.	91
26. Plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) luego de pasar 72 horas a 80° C.....	91
27. Evaluación del peso seco (biomasa) de plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	92
28. Pesado de plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado).....	92
29. Medición de la temperatura y la humedad.....	93
30. Plántulas con puntas muertas por deficiencia de fosforo.....	93

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se realizó con el objetivo de determinar la influencia de diferentes dosis de NPK NPK en el crecimiento inicial de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en cultivos Hidropónicos en Agregados, en fase de vivero. Se desarrolló en Laboratorio de Certificación de Semillas Forestales de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María. Se utilizó JBL ProScape como fertilizante inorgánico líquido con contenido de N – P – K (50 mg de N, 2 mg de P y 30 mg de K por 1 ml). Se probaron 7 dosis de NPK: 3 ml de dosis de NPK (T₁), 6 ml de dosis de NPK (T₂), 9 ml de dosis de NPK (T₃), 12 ml de dosis de NPK (T₄), 15 ml de dosis de NPK (T₅), 18 ml de dosis de NPK (T₆), 21 ml de dosis de NPK (T₇) y un tratamiento Testigo (T₀) y aserrín descompuesto como sustrato hidropónico en agregados. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), con 8 tratamientos y 4 repeticiones. Se evaluaron las variables crecimiento en altura, crecimiento de longitud radicular y acumulación de biomasa de la planta. El mayor incremento en altura se dio con la dosis de NPK (T₁) con 13.426 cm. Así mismo para la acumulación de biomasa el tratamiento (T₄) registro 0.028 g. En el incremento de longitud radicular todos los tratamientos presentaron calidades bajas en cuanto a la respuesta de la fertilización con las dosis de NPK, sin embargo, el tratamiento (T₂) fue el que presentó un incremento de longitud radicular constante con 4.13 cm.

I. INTRODUCCIÓN

En la industria forestal, luego de la *Swietenia macrophylla* King. (caoba), el *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) es la especie tropical maderable más importante; esencialmente gracias a las características de su madera como son: dureza, color, durabilidad y aroma. Es por esto mismo que la especie de *Cedrela odorata* L. es preferida en el establecimiento de plantaciones comerciales por su relevancia comercial y sus efectos restauradores del medio ambiente.

Para el proceso de reforestación es necesario el uso de plántulas de calidad, con características morfológicas adecuadas, ya que estas aseguran la supervivencia y buen crecimiento en campo definitivo garantizando así el adecuado establecimiento de plantaciones forestales. Sin embargo, se sabe que usualmente la supervivencia es de apenas 43 %; Esto puede atribuirse a circunstancias no prevista al momento de establecer una plantación como trasplante, calidad de planta, etc., siendo esta calidad el reflejo del manejo que se haya dado en la fase de vivero, asimismo la calidad de la planta es definitiva para la supervivencia de la plantación.

Para ello es necesario sostener un crecimiento rápido en el vivero en las primeras etapas de su estancia en el mismo, y al final de la etapa de vivero, mejorar la calidad de las plántulas para obtener una mejor supervivencia

y desarrollo de las mismas después del trasplante a campo. Esto se logra controlando factores ambientales como la temperatura, humedad, luz y sobre todo controlando las características físicas y químicas del sustrato; ya que mediante la manipulación del nivel de fertilidad del sustrato es posible dirigir el desarrollo de las plántulas para obtener características deseables de las mismas.

Después del riego el procedimiento que más incide en la calidad de las plantas es la fertilización, ya que interviene en mejorar el desarrollo de las plantas, mejorando la calidad y productividad forestal. En la búsqueda de obtener plantas de calidad, se tiene que el cultivo hidropónico es una alternativa de propagación que nos permita obtener plantas de calidad. Ya que el cultivo hidropónico es usado para cultivar las plantas en ausencia del suelo; nutriéndolas a través del agua y una solución nutritiva que permiten su crecimiento, siendo la hidroponía un instrumento para la producción de plantones de especies forestales.

Debido a que mayormente las plantas requieren en mayor proporción los nutrientes de nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K); debiéndose abastecerse en una dosis adecuada como parte del abastecimiento nutricional, para esto es necesario obtener la adecuada dosis a base de diseños experimentales que busquen la adecuada dosis de NPK.

En experimentos de abastecimiento nutricional, al emplear la hidroponía se asegura que la reacción de las variables a evaluar, serán consecuencia de las soluciones nutritivas aplicadas, por lo que los resultados obtenidos al determinar una dosis óptima son confiables; en tal sentido se

plantea: ¿Cuál será la influencia de NPK en crecimiento de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en cultivos hidropónicos?; debido a ello, y con anteriores revisiones, se propone la siguiente hipótesis: Cuál de las dosis de NPK en el crecimiento del *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), serán significativas y estarán determinadas por el crecimiento de la parte aérea, radicular y la acumulación de biomasa.

Objetivo general

- Determinar la influencia de diferentes dosis de N, P, y K en el crecimiento de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en cultivos hidropónicos

Objetivo específico

- Evaluar la influencia de N, P, y K en el crecimiento del *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en cultivos hidropónicos en agregados en base a su crecimiento de la parte aérea.
- Evaluar la influencia de N, P, y K en el crecimiento del *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en cultivos hidropónicos en agregados en base a su crecimiento radicular.
- Calcular la influencia de N, P, y K en el crecimiento del *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en cultivos hidropónicos en agregados en base a su acumulación de biomasa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción general de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

CRONQUIST (1981) Y APG (2009) indican la siguiente clasificación al *Cedrela odorata* L. (cedro colorado):

Reino	: PLANTAE
División	: MAGNOLIOPHYTA (CRONQUIST, 1981)
Clase	: MAGNOLIPSIDA
Sub clase	: ASTERIDAE
Orden	: SAPINDALES (APG, 2009)
Familia	: MELIACEAE
Género	: <i>Cedrela</i>
Nombre binomial	: <i>Cedrela odorata</i> L.

El árbol de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) perteneciente a la familia de las meliáceas, posee un tronco derecho, que llega a medir hasta los 50 m de longitud hasta la copa, el árbol empieza a ramificar a partir del centro de su longitud total, el fuste llega a alcanzar diámetros de entre 1 a 2 m, el árbol presenta aletones pequeños que sirven de apoyo del árbol al suelo, debido a que posee raíces superficiales (AROSTEGUI, 1982).

El fuste posee cortezas con espesores de hasta 2 cm, predominando el color gris-claro y apenas dividida en placas por leves hendiduras en los árboles jóvenes, sin embargo, los arboles con edad madura poseen la corteza en su mayoría profundamente fisurada, el *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) posee una corteza interna de color rosada, fibrosa y que posee un sabor agrio-amargo (AROSTEGUI, 1982).

El árbol posee copas con formas redondeadas o globosas, así mismo posee abundante follaje, los cuales son de color verde-claro, Las hojas son compuestas paripinnadas e imparipinnadas en el mismo árbol, las hojas son alternas, con longitudes de 30 a 70 cm, asimismo poseen desde 5 a 11 pares de foliolos (usualmente se presentan 6 o 7 pares de foliolos). Los foliolos en su mayoría tienen una forma usual de tipo lanceolados u oblongos, con unas longitudes desde 8 a 17 cm y de ancho desde 2.5 a 5.5 cm, el ápice de los foliolos son acuminados, obtusos e incluso algunas veces son mucronados en el ápice, en la base pueden ser de formas agudas hasta redondeados siendo estas de formas asimétricas, los bordes de los foliolos son enteros, de color verde-oscuro en el haz y en el envés son de color verde salido y amarillentos. Los peciolos pueden llegar a medir desde 1 a 1.5 cm (AROSTEGUI, 1982).

Las flores del *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) tienden a agruparse en inflorescencias con panículas diferentes en dimensiones, generalmente glabras. Las flores pueden llegar a tener las siguientes dimensiones: largos desde 6 a 9 mm, con abundante aroma perfumado, con un color usualmente crema verdoso. Su cáliz generalmente es de color verde, con formas de embudo o copa, con longitudes de 2 a 3 cm, con 5 lóbulos serrados.

La corola de la flor tiene forma tubular; apresurándose en 5 pétalos, con longitudes desde 7 a 8 mm. Asimismo, posee 5 estambres libres las cuales son más pequeños que los pétalos. El estilo es más largo que los estambres que poseen estigma ensanchado (AROSTEGUI, 1982).

El *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) posee frutos las cuales están en cápsulas leñosas dehiscentes, de formas elípticas y oblongas, con longitudes entre 2.5 a 5 cm, los frutos están distribuidos agrupados en las ramas extremas. Cuando los frutos son maduros poseen exterior leñoso, la cual generalmente es de color chocolate marrón, con presencia de muchas lenticelas de color amarillo. Están presentes en el árbol por mucho tiempo. La producción de frutos se da alternadamente en años, sin embargo, en las islas del Caribe y Venezuela su producción de frutos es anual (AROSTEGUI, 1982).

La madera del *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) tiene aroma fuerte, con peso liviano, y una densidad que varía desde 0.42 a 0.63, usualmente es blanda o regularmente dura. Su albura posee colores que van desde blanco-amarillento o gris, la cual es bien notorio del duramen, el duramen posee colores que van de rojo a marrón claro. La textura que posee la madera del *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) es fina hasta áspera (AROSTEGUI, 1982).

2.1.1. Fenología

Es un árbol caducifolio, cuando en la temporada madura sus frutos, dejan caer su follaje, previa a la floración. Las flores se dan en las épocas de abril hasta agosto, incluso se reportó que sucede hasta octubre, puede variar de

acuerdo a la altitud y latitud, los frutos maduran de 6-9 meses después de la floración (HERRERA, 1996).

Al ser un árbol caducifolio las hojas se pierden en los meses de junio, y las hojas nuevas aparecen durante los meses de enero y abril. El árbol alcanza su madurez a partir de los 15 años para posteriormente fructificar anualmente (HERRERA, 1996).

2.1.2. La semilla

El *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) posee semillas aladas, con longitudes desde 2 a 2.5 cm y anchura desde 5 a 8 mm, de color marrón, la testa es de color castaño rojizo. En cada cápsula del fruto contiene desde 20 a 40 semillas, ordenadas en 2 filas. Un árbol de cedro es capaz de producir 10 000 000 semillas al año siendo estas diseminadas por el viento.

La semilla, cuando alcanza su estado de madurez, encontrándose como “vida latente”. En el estado de latencia las semillas pueden estar por un periodo de prolongado de tiempo, dependiendo de la especie. Sin embargo, si la semilla se encuentra en un ambiente favorable, iniciara su proceso germinativo (STRASBURGER, 2004).

La semilla es el producto de la fecundación del ovulo. “La semilla tiene como estructura al embrión, endosperma, membranas que protegen al embrión y tejido nutritivo. En las plantas que se reproducen por semillas, para que esta germine y se transforme en una nueva planta, se necesita condiciones ambientales favorables (ORTI, 2009).

La semilla es el óvulo que ya fue fecundado, que paso por un proceso de cambio y maduración. Es el órgano encargado de dispersar y mantener la descendencia de las angiospermas. El proceso donde inicia la formación de la semilla es en la embriogénesis cigótica, la cual abarca los cambios estructurales, morfológicos y expresión génica. Las plantas que poseen flores tienen fecundación doble: formación del cigoto y de la formación de endosperma (COURTIS, 2013). Tras producirse la fecundación de por el polen, en los ovarios de las flores, inicia el proceso de la formación de la semilla, la cual se genera desde el rudimento seminal (MEGIAS *et al.*, 2015).

2.2. Hidroponía

Las técnicas de hidroponía, nos da la capacidad de cultivar plantas sin un sustrato sólido definido. Permittiéndonos que en estructuras simples o complejas se puedan cultivar plantas (usualmente son herbáceas), teniendo la opción de utilizar áreas poco usuales: suelos infértiles, azoteas, invernaderos climatizados o no, terrenos escabrosos, etc. en la hidroponía se desarrollaron técnicas que tienen de base a los sustratos, o basados en sistemas que brindan los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, pudiendo ser nutrientes estáticos o circulantes, Teniendo en cuenta las necesidades de la planta para su desarrollo (T°, H°, agua y nutrientes) (BELTRANO, 2015 y GIMENEZ, 2015).

La hidroponía es también descrita como “sistema de producción donde el sistema radicular es nutrida mediante una mezcla esencial de nutrientes en agua, a la vez, se emplean, en remplazo al sustrato, materiales inertes y

estéril, o también la misma mezcla nutritiva en agua (SÁNCHEZ *et al.*, 1991; GONZÁLEZ, 2006).

En un principio la hidroponía era solo agua con la adición de los nutrientes esenciales (ALPÍZAR, 2006; RESH, 2006); sin embargo, en la actualidad, ya se emplea algunos complementos de sustrato (arenas, grava, aserrines, piedra pómez, arcillas, cascarilla de arroz, carbones etc.) a las que se les adiciona las sustancias nutritivas (solución nutritiva) necesarias para el adecuado desarrollo y crecimiento de la planta que se está cultivando (RESH, 2006).

Los cultivos hidropónicos son considerados un sistema de producción catalogados como “cultivos sin suelo”. En el cual el medio o soporte necesario para el crecimiento de la planta esta sustituido por otros materiales de origen orgánico o inorgánico, inertes o no inertes, las cuales diferentes tasas de aporte nutricional a la planta. Teniendo como sustancias por ejemplo a: vermiculita, perlita o lana de roca, siendo estas consideradas como material inerte, limitante de nutrición a la planta; o también se puede tener a materiales como turba, cascara de arroz, corteza de árbol picada que igualmente limitan el aporte nutricional a la planta (Bures, 1997, citado por INIA, 2007).

2.2.1. Pros y contras del empleo de cultivos hidropónicos

Bures (1997), citado por INIA, 2007, indican que las técnicas para el cultivo hidropónico pueden tener pros y contra, como cualquier método de producción de cultivos agrícolas, siendo las siguientes:

a) Pros

- Se reduce las dificultades fitopatológicas las cuales son originadas por los hongos presentes en el sustrato suelo, permitiéndonos limitar usar las sustancias desinfectantes, siendo algunas contaminantes y prohibidas.
- Disminuyen los costos por energía que se emplea en las funciones del desarrollo del sustrato empleado en la siembra y/o plantación.
- Se reduce el consumo de agua por kg de producción, teniéndose así mejor eficiencia del agua empleada en el cultivo.
- Las plantas cultivadas en técnicas hidropónicas absorben eficientemente los nutrientes a comparación de cultivos que están sobre un suelo normal.

b) Contras

- Mayor costo para establecimiento de instalaciones e infraestructura las cuales forman parte esencial del sistema.
- En la estación de invierno se incurren en mayor gasto de energía eléctrica.
- Implementación de personal calificado para adecuada producción en todas las etapas.
- Con aguas de baja calidad se tienen mayores incidencias de problemas fitosanitarios.
- Si se tiene un mal manejo de las sustancias químicas empleadas en las aguas empleadas, se puede generar contaminación de acuíferos.

- Un manejo inadecuado en la aplicación de sustancias agroquímicas para la producción de cultivos hidropónicos puede generar grandes peligros en la salud humana.

2.2.2. Impacto Social

DORADO (2009) indica que las técnicas hidropónicas para el cultivo de plantas necesarias para la alimentación, ayudan enormemente en la alta producción de alimentos que requiere la población; considerando que los cambios climáticos no podrían limitar la producción y a la vez unifica la relación productor-consumidor, mejorando aquellas dificultades que posee familias con algunas necesidades básicas sin satisfacer.

Actualmente la economía de algunas personas limita el poder acceder a algunos alimentos, por lo cual es importante mencionar que las técnicas de cultivo hidropónico permiten obtener alimentos de medios o sustratos no aptos para el cultivo, asimismo su producción posee mejor calidad, con mejor rendimiento y mayor sanidad, e igualmente no tiene efectos dañinos sobre el medio ambiente (DORADO, 2009).

2.3. Nutrición en plantas

MENGEL y KIRKBY (1978) indican que la nutrición tiene como función el suministro y asimilación de los nutrientes necesarios para el crecimiento de algún determinado ser vivo. Asimismo, indica que estos son ciertos elementos químicos, las cuales son sumamente necesarios para el ciclo de vida de todo ser vivo, y estos no podrían ser suplidos por otro elemento químico.

MENGEL y KIRKBY (1978) expresan que en términos generales existen dos premisas sobre la nutrición de las plantas, que todas las plantas dependen de la asimilación de uno o más nutrimentos y una disponibilidad de estos para que sus procesos fisiológicos puedan producir un desarrollo en el tamaño de la planta y su correcto funcionamiento. Asimismo, para el desarrollo y crecimiento fisiológico de la planta se necesita que los nutrientes sean adsorbidos, almacenados y metabolizados.

MENGEL y KIRKBY (1978), HALE y ORCUTT (1987) indican que, en entornos críticos, como suelos pobres con déficit de nutrientes, es sumamente necesario la absorción y almacenamiento de los nutrientes para que una planta desarrolle correctamente y sobreviva adecuadamente a estos entornos. El concepto sobre las necesidades de nutrientes para el desarrollo de las plantas siempre ha sido centro de atención de muchos investigadores, y hasta ahora existen muchas incógnitas sobre la esencialidad de los nutrientes (elementos químicos) para el desarrollo fisiológico de las plantas.

La Figura 1 muestra la curva de suministro de nutrientes típico, la cual posee diferentes etapas de nutrición las cuales están en base de: crecimiento – contenido de nutrientes en el tejido vegetal; En las etapas que se muestran, siempre se busca el óptimo fisiológico, para lo cual es primordial identificar las curvas de suministro de nutrientes, para luego realizar experimentos con el fin de encontrar la dosis de NPK óptima en base a los niveles óptimos (VELÁZQUEZ, 2007).

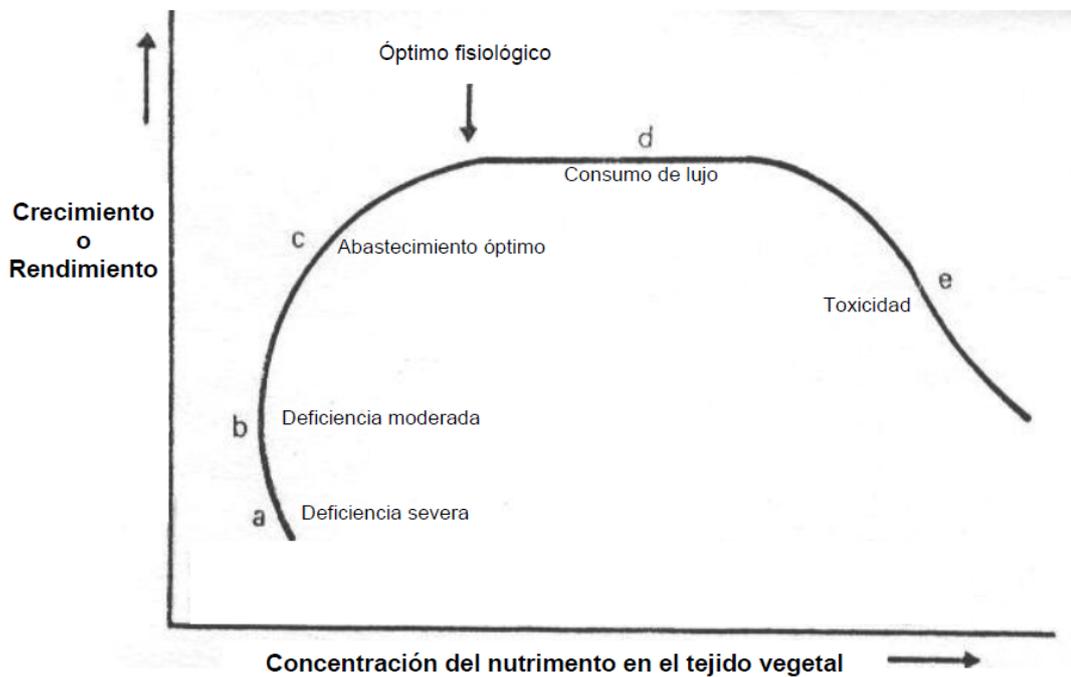


Figura 1. Relaciones entre el contenido nutrimental del tejido y el crecimiento de la planta (Modificado de MENGEL y KIRKBY, 1978).

El adecuado crecimiento de una planta está supeditada a ciertos elementos nutricionales muy aparte del agua disponible, CO_2 y la energía solar, necesarios en el proceso de fotosíntesis; es por esto que, en los libros se encuentra citado a los elementos esenciales, de las cuales 3 se encuentran disponibles en el agua y aire, mientras que hay 13 elementos se encuentran disponibles en el sustrato o el agua del medio donde se está desarrollando la planta, sin embargo, para que estos elementos sirvan como nutrimentos a la planta se deben encontrar en una cantidad suficiente y asimismo en su forma asimilable, de esta manera la planta encuentra lo suficiente para nutrirse en la cantidad necesaria. Los elementos esenciales en la planta son: Fósforo (P), Potasio (K), Nitrógeno (N), Azufre (S), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Manganeso

(Mn), Cloro (Cl), Molibdeno (Mo), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Boro (B) (TAIZ y ZEIGER, 2006; NAVARRO y NAVARRO, 2003).

MARSCHNER (1986) indica que la aplicación de las nutrientes al sustrato tiene diversos efectos positivos, es así que desde hace más de 2000 años se emplearon sustancias para favorecer el desarrollo fisiológico de las plantas, tales como limo o ceniza de madera; sin embargo, recién en el siglo XIX, Justus Von Liebig formuló análisis y teorías acerca de los elementos minerales, quien plantea que hay ciertos elementos esenciales para el desarrollo fisiológico de las plantas, tales como nitrógeno, azufre y fosforo.

Arnon y Stout (1939), citados por MARSCHNER (1986) y JONES (1983) indican que, existen ciertas exigencias que un elemento sea calificado como nutrimento necesario para la planta:

1. Un crecimiento diferente y limitado puede ser a causa de la falta de algún elemento, ya que este puede influir en la actividad fisiológica de la planta, así también puede traer como efecto la muerte del tejido vegetal.
2. Cada elemento no puede ser sustituido por otro debido a que aquel elemento cumple una función única en el metabolismo vegetal.
3. Aquellos elementos que no influyan directamente en el metabolismo y desarrollo vegetal no será considerado como elemento esencial. Por lo cual el elemento debe influir directamente en el desarrollo de este para ser considerado esencial.

Arnon y Stout (1939), citados por MARSCHNER (1986) y JONES (1983) expresan que en la actualidad se tienen reconocidos diecisiete elementos que tienen efecto directo en el desarrollo vegetal, los cuales son generalmente fraccionan en dos grupos: macroelementos y microelementos. A continuación, en el Cuadro 1 se muestran los elementos esenciales divididos en los dos grupos.

Cuadro 1. Macroelementos y microelementos necesarios para el crecimiento.

Macroelementos		Microelementos	
Carbono	C	Hierro	Fe
Hidrógeno	H	Manganeso	Mn
Oxígeno	O	Cobre	Cu
Nitrógeno	N	Zinc	Zn
Fosforo	P	Molibdeno	Mo
Azufre	S	Boro	B
Potasio	K	Cloro	Cl
Calcio	Ca	Níquel	Ni
Magnesio	Mg		

Fuente: Arnon y Stout (1939) citados por MARSCHNER (1986) y JONES (1983)

2.3.1. N – Nitrógeno

NAVARRO y NAVARRO (2003) y TAIZ y ZEIGER (2006) expresan que el nitrógeno es el elemento más representativo en el desarrollo de plantas, está presente dentro de la cadena de los ácidos nucleicos, proteínas, aminoácidos, así mismo está presente en las moléculas de la clorofila. Si se tiene una óptima dosificación de este elemento se tiene asegurada el pronto desarrollo

vegetativo, con color verde oscuro en el tejido vegetal, siendo este el reflejo de una óptima actividad fotosintética que desarrolla la planta.

BONNER y GALSTON (1961) Indican que este elemento está presente en un porcentaje de 1 – 5 % de la biomasa seca de las hojas, y también en un porcentaje un tanto menor en la biomasa del resto del tejido vegetal. DOMINGUEZ (1997) afirma que el nitrógeno está presente en un 80 a 85 % en las proteínas y en un 10% presente en los ácidos nucleicos.

ALCANTAR y TREJO (2007) expresan que las plantas más evolucionadas, poseen la habilidad de absorber el NH_4^+ y NO_3^- , siendo estas sus formas inorgánicas del nitrógeno. Sin embargo, ambos autores coinciden que estas formas de nitrógeno es apenas un porcentaje pequeño del total de nitrógeno presente en nuestro planeta.

RODRIGUEZ (1982) afirma que el nitrógeno inorgánico (NH_4^+ y el NO_3^-) al ingresar a las células de las plantas, forma parte de las bases nitrogenadas, con el fin de cumplir variadas funciones bioquímicas; al ingresar en los aminoácidos inducen la elaboración de las proteínas vegetales; asimismo el nitrógeno puede encontrarse en la clorofila, ácidos nucleicos y fitohormonas. Al existir alta concentración de nitrógeno, a la par se incrementa la densidad de la clorofila, dando como resultado una mejoría en la síntesis y asimilación de compuestos orgánicos, esto puede evidenciarse fácilmente en la coloración verdosa del tejido vegetal, asimismo en un mayor desarrollo de volumen y biomasa de la planta.

RESH (2006) expresa que la falta de este elemento influye en el limitado desarrollo y en una pobre inflorescencia de color pálido, la deficiencia del nitrógeno en las sustancias de reserva en la época de verano-otoño, induce el corrimiento de inflorescencia en la siguiente primavera

NAVARRO y NAVARRO (2003) y TAIZ y ZEIGER (2006) expresan que la abundancia de nitrógeno también es perjudicial en la planta, ya que induce el crecimiento exagerado del tallo y retarda la maduración de los frutos, por ejemplo en los frutos del tomate se torna de diferente color, volviéndolo además propenso a enfermedades y plagas, debido a que fácilmente los tejidos tiernos pueden ser parasitados; asimismo el exceso de nitrógeno índice a la reducción de disponibilidad de hierro, boro, y cobre, también acrecienta la salinidad del suelo y los efectos negativos de las sequías.

2.3.2. P – Fosforo

DOMINGUEZ (1997) expresa que el fosforo está presente en las plantas en un porcentaje que varía desde 0.1% a 1.2%, de estos el 80 % está presente en los compuestos orgánicos de las plantas.

La forma disponible para la absorción de fosforo (P) es HPO_4^{2-} Y H_2PO_4^- , siendo estas las formas aniones de este elemento. Sin embargo, la planta libera grupos fosfatos de moléculas orgánicas, por medio de sus enzimas, para luego ser absorbidos. El fosforo es incluido a las moléculas orgánicas en la fase misma de oxidación, ya que no es reducida cuando ha sido asimilado por la planta (ALCÁNTAR y TREJO, 2007)

NAVARRO y NAVARRO (2003), RESH (2006), TAIZ y ZEIGER, (2006) expresan que el fósforo es componente esencial del ARN y ADN (ácidos nucleicos), así mismo tiene un papel fundamental en el almacén y transferencia de energía (ATP). En las concentraciones adecuadas de fósforo, aporta un buen desarrollo de tejido vegetal, induce la floración, fecundación y maduración del fruto de las plantas, así mismo influye en el desarrollo adecuado de semillas y frutos, permite que las raíces desarrollen correctamente, y cumple un rol importante en la fotosíntesis, como elemento que aporta calidad a la planta, ya que aporta resistencia a enfermedades y plagas en las plantas.

NAVARRO y NAVARRO (2003), RESH (2006), TAIZ y ZEIGER, (2006) expresan que la abundancia de fósforo influye en la rápida madurez, acelera el desarrollo radicular, influye en la limitación de hierro, cobre, boro y zinc. Asimismo, el déficit de este elemento es notable por el limitado desarrollo de la planta, madurez lenta, limitado proceso en la formación de semillas y frutos, hojas con ápice necrosado, en el follaje se manifiesta color de tonalidad rojo-púrpura (TAIZ y ZEIGER, 2006; NAVARRO y NAVARRO, 2003).

2.3.3. K – Potasio

NAVARRO y NAVARRO (2003), RESH (2006), TAIZ y ZEIGER (2006) indican que el potasio es el componente activo de numerosas enzimas necesarias en el proceso de respiración y fotosíntesis, impulsa enzimas que están ligadas a la actividad de constituir proteínas y almidón, impulsa la creación de hidratos, incrementa la biomasa de frutos y semillas, convirtiéndolos en abundante zumo y azúcar, induciendo además una mejor condición de

conservación, el potasio aporta sanidad a la planta al inducir un mejor desarrollo radicular las plantas presentan mejor resistencia a eventos como heladas, sequias, enfermedades y plagas.

NAVARRO y NAVARRO (2003), RESH (2006), TAIZ y ZEIGER (2006) expresan que la falta de potasio causa el enrollamiento de los folios, necrosando además el ápice y margen de las hojas, asimismo, ocasiona un pobre sistema radicular la cual induce que las raíces tengan poca profundidad, fructificación chico, semillas rugosas, y con desarrollo lento, su falta también genera la falta de los siguientes elementos: magnesio cobre, hierro, magnesio

2.4. Generalidades de los cultivos hidropónicos

2.4.1. Sustrato

MONTERO (2002) expresa que los suelos empleados como sustratos deben de cumplir ciertos requisitos, tales como: alta porosidad (aproximadamente puede ser 70% de espacio vacío y 30 % de suelo) y granulometría, ofreciendo así un buen medio para el desarrollo de la planta, en especial su sistema radicular. Cuando el sustrato posee una buena porosidad, el agua y aire ocupan estos espacios vacíos, y cuanto mayor es el porcentaje de agua que capta el sustrato va a requerir menos cuidados de riego. Mezclando sustratos compactos + gránulos gruesos + porosos, se puede llegar a obtener sustratos con el óptimo de porosidad necesario en el desarrollo de la planta.

En el tiempo el sustrato debe de conservar su capacidad de porosidad adecuada, por lo que ésta depende de la estabilidad estructural que posee un determinado sustrato, y esto varía de acuerdo a su poder de

descomposición y disgregación, siendo menor lo adecuado. Los gránulos inferiores a 2 mm tienden a generar falta aireación (pase de oxígeno) y mayor compactación del suelo. MONTERO (2002) explica que el sustrato debe ser inocuo, es decir en ausencia de patógenos y enfermedades, asimismo debe ser inactivo químicamente. Marulanda citado por CASTILLO (2002) expresa que en las técnicas de cultivos hidropónicos los sustratos no necesariamente son materiales sólidos, sino que también pueden ser líquidos, y sobre estos se da el crecimiento radicular de las plantas.

Convencionalmente los métodos de cultivo hidropónico se han dividido en cuatro categorías denominadas:

- 1) Cultivo hidropónico de solución nutritiva
- 2) Cultivo hidropónico con sustrato: agregado
- 3) Cultivo hidropónico con sustrato: grava
- 4) técnicas misceláneas.

La técnica hidropónica en solución nutritiva, también ha sido llamado cultivo en agua y se refiere al cultivo de las plantas en recipientes que contienen soluciones nutritivas, en las cuales las raíces de las plantas se encuentran sumergidas (SÁNCHEZ y ESCALANTE, 1983). En el cultivo en agregado, el sustrato usado es la arena o agregados que presentan características semejantes, tales como la agrolita, la vermiculita, aserrín, etc., (SÁNCHEZ y ESCALANTE, 1983). El cultivo en grava comprende al tipo de cultivo en el que se usan sustratos de textura gruesa (con diámetro de 2 milímetros aproximadamente) con materiales como el, carbón, roca volcánica y hasta partes de ladrillo (SÁNCHEZ y ESCALANTE, 1983). Dentro de las técnicas

misceláneas, estos autores mencionan que quedan incluidos otros métodos que utilizan técnicas un poco especializadas, tales como el auto-riego de los sustratos empleados, cultivos de plantas de forraje con técnicas hidropónicas y la técnica solución nutritiva en película. El método de cultivo hidropónico puede afectar el crecimiento de las plantas de manera indirecta al influir en características como la aireación y el pH del medio de cultivo.

El cultivo en agua, por ejemplo, requiere generalmente de un sistema de aireación para que la respiración de las raíces no llegue a constituir una limitante en el crecimiento de las plantas. La aireación mejora la relación parte aérea/raíz y por consiguiente la calidad de planta, aunque su beneficio solo se nota si las soluciones y permanecen en los tanques por períodos largos (Olson ,1944, citado por LÓPEZ, 1990).

Los cultivos en agregado y grava, en ocasiones pueden llegar a presentar problemas en cuanto al contenido de sustancias extrañas como la cal, que pueden repercutir en el pH de las soluciones nutritivas (SÁNCHEZ y ESCALANTE, 1983).

2.4.2. Solución nutritiva

Uno de los elementos más importantes que define el desarrollo de la planta es el agua, sin embargo, si se expresa en porcentaje un 90 por ciento de la biomasa seca de las plantas están dominadas casi por el Hidrogeno, Oxigeno y Carbono. Cuando se disuelve los nutrientes en agua, los que necesita la planta para desarrollarse, es denominada como solución nutritiva (Huterwal, 1983, citado por PICHARDO, 2012).

La solución de los nutrientes se ha venido expresando de varias maneras, tales como gramos por litro, miligramos, equivalentes por litro, átomos, microgramos, soluciones molares y partes por millón, siendo los últimos los tres más usados. Debido a la gran variedad de plantas, el desarrollo peculiar y las necesidades nutrimentales que tiene cada uno, no existe una dosis única de solución nutritiva, ya que incluso al estadio de desarrollo en el que se encuentra requiere de una solución nutritiva equilibrada para acelerar el crecimiento adecuado de una planta, o si se busca favorecer el desarrollo de las frutos, tubérculos u hojas. Es así que los elementos fundamentales: nutrientes diluidos en agua conforman la solución nutritiva (Solano, 1985, citado por CANO, 1997).

Son considerados a diecisiete elementos como los esenciales para el desarrollo y crecimiento de los vegetales, de la gama de elementos químicos descubiertos (92 elementos), de los elementos esenciales se subdividen en macroelementos y microelementos (elementos traza), siendo el primero denominado así ya que las plantas los requieren en mayores proporciones, y el segundo siendo los elementos que están presentes en las plantas en menor proporción (Lara, 1999, citado por PICHARDO, 2012).

2.4.3. Control de soluciones y variaciones del pH

MONTERO (2002) nos expresa que cuando el sustrato haya absorbido el agua presente, debe de adicionarse ese mismo volumen de agua “perdido”, con la finalidad de suspender o reducir la concentración de sales que sucedieron por la transpiración o evaporamiento de agua, ya que esto sucede de

forma inmediata en comparación que la absorción de sales. El nitrógeno y potasio disminuye rápidamente durante la primera semana, en un 25 % y 50 % de la solución nutritiva, y en un 15 % a 25 % se reduce el fosforo en igual periodo. Por lo cual es necesario reintegrar en un 50 % del total de nutrientes consumido en el medio soluble usado en la técnica hidropónica.

Asimismo, MONTERO (2002) indica que es necesario tener en cuenta siempre la concentración de sales, y que estas en 4 a 3 semanas deben ser remplazadas. Por el contrario, esto no aplica al hierro, ya que esta no se moviliza, y tampoco para transiciones de pH, pero que sin embargo debe de tenerse en cuenta al menos una vez a la semana.

2.4.4. Periodicidad de los riegos

La periodicidad de los riegos con la solución nutritiva depende en gran medida del tipo y volumen del sustrato utilizado. La agrolita y la vermiculita son sustratos con mucha capacidad de retención de humedad, mientras que la arena y la grava presentan menor capacidad, en ese orden, no sólo el tipo de sustrato determina la periodicidad de los riegos, sino que este factor se relaciona con el tamaño de las plantas, la temperatura, la nubosidad, el tipo de solución y la concentración de la misma (SÁNCHEZ y ESCALANTE ,1983).

En cultivo en arena, las concentraciones de los nutrimentos en la solución nutritiva deben ser mayores al aumentar el período entre los riegos y menores al disminuir dicho periodo (Brix y Van Der Driessche ,1974, citados por LÓPEZ 1990).

2.4.5. Aireación de los cultivos

El aporte de oxígeno al sistema radicular es importante, la cual en sustratos como suelos esto está garantizado, de acuerdo a la porosidad que posee el suelo, ya que por los poros se airea el suelo y raíces; sin embargo, en técnicas hidropónicas lo recomendable que se sacudir el agua con el fin de suministrar oxígeno al sistema radicular de la planta, ya que investigaciones realizadas en hidroponía aseguran que para optimizar la producción se necesita garantizar la oxigenación de la planta (Cultivos hidropónicos Ltda,1989, citado por CASTILLO, 2002).

No es recomendable que la totalidad de sistema radicular este inmersa en el agua, ya que puede ocasionar asfixia en la planta. Para este caso se debe garantizar que el agua este siempre agitada, siendo de esta manera que el sistema radicular se proporcione de oxígeno (Alpi,1991, citado por CASTILLO 2002).

Especies como el arroz pueden soportar largos tiempos de inundación o sumersión en agua, caso contrario con otras especies, ya que no se adaptaron para tales situaciones, por lo que es necesario una buena técnica para su cultivo con medios hidropónicos, garantizando el aporte de oxígeno al sistema radicular (Salisbury y Ross 1994, citados por CASTILLO 2002).

Gracia y Pacheco (1997) citados por CASTILLO (2002) indican que existen fallas metabólicas ocasionadas por la pobre oxigenación al sistema radicular, tales como:

- Déficit de absorción de sales minerales, como nitratos

- Proceso fotosintético alterado y disminuido en capacidad
- Capacidad reducida de permeabilidad del sistema radicular al agua
- Depósito de sustancias perjudiciales (toxinas) las cuales son originadas por agentes microorganismos presentes en el sistema radicular.

2.5. Cultivo hidropónico en agregados

El cultivo hidropónico en agregado, donde los nutrientes esta disueltos en agua los cuales son transportados hasta las raíces. En este sistema las raíces están creciendo en un medio sólido inerte capaz de retener suficiente humedad, pero que drene el exceso y que permita una aireación adecuada. Algunos medios sólidos utilizados en este tipo de sistemas son perlita, vermiculita, arena, arcilla expandida, gravilla, musgo, cascarilla de arroz, turba, etc. Para los sistemas de cultivo hidropónico es de importancia que la solución nutritiva contenga todos los elementos necesarios y en la composición correcta. La composición correcta depende del cultivo y de su fenología (BELTRANO y GIMENEZ, 2015).

ASTUDILLO (2015) Indica que en estos sistemas las raíces de las plantas crecen y desarrollan en sustratos inertes; la solución nutritiva fluye entre las partículas del sustrato humedeciendo las raíces. En este sistema, la solución nutritiva o el agua es suministrada a cada planta a través de goteros conectados en tuberías o cintas de goteo de polietileno. El riego se hace aplicando pequeñas cantidades de solución nutritiva directamente en la zona radicular. En el cultivo en agregado, el sustrato usado es la arena o agregados que presentan

características semejantes, tales como la agrolita, la vermiculita, aserrín, etc., (SÁNCHEZ y ESCALANTE, 1983).

2.6. Antecedentes

LÓPEZ (1990), realizó un estudio de nutrición con el objetivo de establecer las curvas de abastecimiento de nitrógeno, fosforo y potasio y sus niveles óptimos en plántulas de *Pinus patula* en sistema hidropónico utilizando tezontle rojo, con riego de superficie usando la formula nutritiva de Hewitt y Smith en condiciones de invernadero donde encontró que no se logró determinar la curva de abastecimiento de fosforo debido a que los niveles proporcionados fueron muy elevados. Todas las variables estudiadas a excepción de la longitud de la raíz presentaron un crecimiento optimo cuando el abastecimiento de fosforo fue de 134 ppm. La longitud de la raíz no mostro correlación con los niveles aplicados de nitrógeno, en ninguna de las otras variables se logró determinar el nivel óptimo de nitrógeno.

GONZALES (2001), realizó un estudio sobre el efecto de tres tratamientos de dosis de fertilizante (N, P, K) en plántulas de dos especies de pino piñonero en condiciones en invernadero, donde aplicó diferentes concentraciones de nitrógeno, fosforo y potasio (N, P, K) para ver el efecto al generar plantones de *Pinus nelsonni* Shaw y *Pinus cembroides* Zucc mediante envases de polietileno negro, bajo condiciones de invernadero. En este trabajo determinó que en *Pinus cembroides* únicamente se encontraron diferencias para la variable altura de la planta alcanzando su mayor desarrollo con el tratamiento con nitrato de amonio, NH_4NO_3 con 15.35 cm de altura.

GARCIA (2001), hizo un experimento sobre el efecto de tres tratamientos de fertilización sobre tres especies de pino en etapa de vivero bajo condiciones de invernadero, donde evaluó el crecimiento de las especies de *Pinus pinceana* Gord., *Pinus cembroides* Zucc y *Pinus pseudostrobus* Lindl., durante la etapa de vivero, utilizando tres tratamientos con tres dosis de fertilización cada uno. El autor encontró que, a la edad de 9 meses, las plántulas de las especies estudiadas apenas comienzan a manifestar la respuesta a la fertilización.

SANTIAGO (2011), hizo un experimento sobre la respuesta del *Cosidrum sativum* L. (cilantro) al uso de fertilizantes inorgánicos y organominerales, que consistió en la siembra de cilantro en tres surcos, cada surco se secciono en cuatro partes, designado cada tres metros de surco para cada nivel completo y para el nitrógeno fue cada surco completo donde concluye que una raíz que encuentra en su crecimiento cantidades necesarias de nutrientes, no tiene necesidad de incrementar su longitud de búsqueda y en consecuencia su crecimiento es limitado afectando de manera directa el crecimiento de la planta.

PICHARDO (2012), en su investigación de producción de plántulas de la especie *Pinus cembroides* Zucc con el uso alternativo de agua residual en medios hidropónicos bajo condición invernadero, se usaron 4 soluciones de sales minerales y 3 mezclas de sustrato donde encontró que la mayoría de las variables evaluadas fueron altamente significativas en las diferentes soluciones y mezclas de sustratos que se utilizaron en el experimento. No se encontró

significancia para longitud de raíz (LR), altura de la planta (ALTP) y peso seco de raíz (PSR) en ambos factores.

CASTRE (2018), realizó un estudio sobre el efecto de pruebas de estrés sobre la germinación de semillas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en distintos sustratos bajo medios de laboratorio y uso 9 tratamientos diferentes donde encontró que el mejor tratamiento fue el T₅ (aserrín + prueba en frío) con un 96 % de poder germinativo y 65 % de energía germinativa, además que el mejor sustrato es el aserrín por su fuerte respuesta a los factores de germinación. El aserrín descompuesto como sustrato generó influencias significativas en las características biométricas de las plántulas como son largo de la parte aérea, longitud radicular y biomasa en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), presentando las mejores respuestas.

Los trabajos antes mencionados han tenido como propósito el encontrar las dosis óptimas de nutrimentos para una etapa de desarrollo de las plantas, generalmente la etapa de vivero, definiendo ese nivel óptimo como el nivel del nutrimento estudiado que produce el mejor crecimiento a lo largo del período de observación. Sin embargo, en muchos viveros forestales del mundo se ha dividido a esa etapa en varias fases para dar diferentes cantidades y proporciones de nutrimentos en cada una de ellas, logrando muchas veces mejores crecimientos. Esta división ha dado como resultado la estructuración de diversos programas nutricionales que no son otra cosa que la aplicación de niveles óptimos por períodos más reducidos del desarrollo de las plantas; Generalmente, estos programas se aplican a la producción de plántulas en invernaderos, aunque en muchos casos se están aplicando también a la

producción de plántula a raíz desnuda o en envase al aire libre. El manejo de las plántulas en el vivero presenta efectos no sólo sobre el desarrollo de las plántulas en esa etapa, sino también sobre su comportamiento, aún después del establecimiento en campo (Turner y Henry, 1939, citados por CASTRE, 2018).

OLSON (1944) menciona que SPENCER y SHIVE (1933) obtuvieron mejores crecimientos de RHODODENDRON bajo cultivo hidropónico que en suelo y, al trasplantar las plántulas a campo, presentaron una alta sobrevivencia y buen crecimiento. Cuando CARLSON y SHAW (1981) establecieron un experimento con plántulas de *Tsuga heterophylla* proporcionando diferentes programas nutricionales, encontraron que tales programas presentaron efectos sobre el peso de tallos, peso de raíz, la proporción parte aérea/raíz, puntos activos de crecimiento de raíz y sobre el número de puntos activos de crecimiento de raíz por gramo de material] seco del mismo órgano. Es de esperarse que las características que se obtienen en las plántulas como consecuencia de la aplicación de los diversos programas de nutrición, tengan manifestaciones posteriores al establecimiento de ese material vegetal en campo. Los autores mencionados anteriormente, determinaron que después de un año de establecidas las plántulas en el lugar de plantación, los programas nutricionales aplicados durante la etapa de vivero tuvieron efectos sobre la cantidad de raíces, altura o longitud parte aérea y el diámetro en plantas al nivel del suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación fue llevado a cabo en los interiores del Laboratorio de Semillas Forestales, la cual es dependencia de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en Tingo María, la cual se encuentra en la región Huánuco, provincia de Leoncio Prado y distrito de Rupa Rupa, con ubicación geográfica de coordenadas UTM; Este: 390312 y Norte: 8970774.

3.1.2. Clima y zonas de vida

La zona presenta temperaturas variables desde los 19.2 °C hasta los 29.4 °C, con un promedio de temperatura de 24.3 °C, la zona se encuentra a una altitud de 660 metros sobre el nivel del mar, asimismo presenta una precipitación alta, la cual tiene como media por año de 3300 mm con un aproximado de 87% de HR (humedad relativa). HOLDRIDGE (1987) indica que, por su diagrama bioclimático a clasificado zonas de vida, por la cual la zona donde se realizó los estudios está ubicada u denominada como bmh – PT (bosque muy húmedo Premontano Tropical). Asimismo, por PULGAR (1938) quien plantea las regiones naturales del Perú, la zona de estudio está dentro de la denominada Rupa Rupa o llamada Selva alta.

El trabajo de investigación se llevó a cabo desde octubre hasta diciembre de 2019, para lo cual se evaluó al primer mes y último mes de este lapso de investigación. Esta época en la cual se llevó a cabo la investigación coincide con la de lluvias, la cual extiende algunas veces a abril. Se tuvo una temperatura promedio desde 20.1 °C hasta 29.8 °C, con una precipitación promedio de 372.66 mm

Cuadro 2. Datos meteorológicos para el periodo de evaluación.

Año	Meses	T° Mínima (°C)	T° Máxima (°C)	Precipitación (mm)
2019	Octubre	19.9	30.2	284
	Noviembre	20.2	29.8	391
	Diciembre	20.3	29.4	443

Fuente: Estación SENAMHI Tingo María

3.2. Materiales, equipos y herramientas

3.2.1. Material biológico

Plántulas de la especie *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), las cuales se obtuvieron por germinación de semillas botánicas que se compraron a la empresa comercializadora de semillas forestales “Gemula E.I.R.L”. Las semillas fueron sembradas en baldes de dimensiones de 34 cm x 15 cm x 12 cm con sustrato aserrín.

Las plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) al momento de la aplicación tenían 30 días de germinados, contaban con una longitud parte aérea promedio de 8.05 cm y como fertilizante inorgánico líquido se utilizó JBL

ProScape con contenido de N – P – K (50 mg de N, 2 mg de P y 30 mg de K por 1 ml).

3.2.2. Materiales y equipos

Lampa, Costal de plástico, Baldes de plástico, Regla graduada; dentro de los equipos tenemos la Balanza digital, conservadora, cámara fotográfica, Estufa, refrigeradora, probeta graduada, pipeta graduada, regadera, Libreta de campo; en insumos tenemos el fertilizante en liquido “JBL ProScape” y sustrato (Aserrín descompuesto).

3.3. Metodología

La presente investigación se realizó en cuatro fases:

3.3.1. Fase de planificación

Luego de la investigación correspondiente, se procedió a buscar la solución apropiada para ser usado en el cultivo hidropónico en agregado, se decidió usar el fertilizante “JBL ProScape” y dosificarlo para tener 7 soluciones.

3.3.1.1. Diseño de las soluciones nutritivas

Para el diseño de las soluciones nutritivas se hizo lo siguiente:

a) Se calculó en base a la dosis recomendada del producto, una dosificación que permitió obtener 7 tratamientos y 1 testigo.

b) Se obtuvieron las dosis por litro de cada tratamiento, lo que permitió determinar los intervalos de dosis siguientes: nitrógeno (N) de 1.5 – 10.5 mg/L, fósforo (P) de 0.6 – 0.42 mg/L, y potasio (K) de 0.9 – 6.3 mg/L.

c) Se diseñaron las soluciones nutritivas con los intervalos mencionados en b, considerando el tratamiento 0 como testigo.

Cuadro 3. Dosificación de tratamientos NPK formulada a partir de la dosis recomendada.

Tratamientos	Dosis (ml)	N (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Concentración NPK
Testigo 0	0	0	0	0	0, 0, 0
Tratamiento 1	3	1.5	0.06	0.9	1.5, 0.06, 0.9
Tratamiento 2	6	3.0	0.12	1.8	3.0, 0.12, 1.8
Tratamiento 3	9	4.5	0.18	2.7	4.5, 0.18, 2.7
Tratamiento 4	12	6.0	0.24	3.6	6.0, 0.24, 3.6
Tratamiento 5	15	7.5	0.30	4.5	7.5, 0.30, 4.5
Tratamiento 6	18	9.0	0.36	5.4	9.0, 0.36, 5.4
Tratamiento 7	21	10.5	0.42	6.3	10.5, 0.42, 6.3

3.3.1.2. Diseño de la investigación

A) Tipo y nivel de investigación

La investigación planteada es de tipo experimental dado que se tiene planteada una causa-efecto, manipulándose una variable (variable independiente) (dosis de NPK) para obtener un efecto sobre otras variables (variable dependiente) (longitud parte aérea, longitud de raíz y biomasa). También la naturaleza de esta investigación es explicativo y probabilístico, dado que se aclara la causa-efecto entre variables (independiente sobre la dependiente) y porque la muestra seleccionada tiene la misma probabilidad de

haber sido seleccionada de toda la población. La muestra fue distribuida mediante un DCA (diseño completamente al azar).

B) Población y muestra

La población está constituida por 800 plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), que después de haber germinado tienen 2 meses, de las cuales se utilizó una muestra de 256 plántulas por evaluación.

C) Diseño experimental

En esta investigación se empleó un diseño DCA para la distribución aleatoria de las UE (unidad experimental), estas UE son los tratamientos distribuidas en cuatro repeticiones. Para la cual se tuvieron 32 UE:

- Plantas por cada UE : 25
- Plantas por cada tratamiento : 100
- Tratamientos : 08
- Número de plantas a evaluar por tratamiento : 32
- Número de plántulas a evaluar : 256

El modelo aditivo lineal de la presente investigación es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es la respuesta obtenida en la k-ésima repetición, donde se aplicó el i-ésima tratamiento NPK

μ = Es la media general del experimento

T_i = Es el efecto del i-ésimo tratamiento NPK

ε_{ij} = Es el efecto aleatorio del error experimental obtenida en la k-ésima repetición, donde se aplicó el i-ésimo tratamiento NPK.

Para:

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ Tratamiento NPK

$j = 1, 2, 3, 4$ Repeticiones

3.3.1.3. ANVA

Se hizo la prueba estadística F (Fisher) en el ANVA (análisis de varianza) para la investigación, teniendo en cuenta que se utilizó con DCA (diseño completo al azar), contando con cuatro repeticiones, distribuyendo en ellos ocho tratamientos nutricionales, con los cuales se forman treinta y dos UE (unidades experimentales) (Cuadro 3).

Cuadro 4. Modelo del análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	Fc
Tratamientos	7	SC_A	$SC_A / t-1$	CM_A/CM_E
Error	24	SC_E	$SC_E / t (r-1)$	
Total	31	SC_{Total}		

T: Tratamientos

3.3.1.4. Análisis funcional

Se realizó la prueba de Tukey al 5% de significación para todas las variables en estudio que presentaron diferencias estadísticas significativas

($p < 0.05$) y el cálculo de coeficiente de variación se expresó en porcentaje con la finalidad de determinar la homogeneidad o heterogeneidad de los datos.

3.3.2. Fase de instalación

3.3.2.1. Preparación del área de investigación y los equipos

Se eligió un área con iluminación natural dentro del laboratorio de semillas de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, con circulación de aire y limpia de objetos extraños, siendo además este ambiente cerrado con factores ambientales controlados, temperatura, humedad y luz, así mismo se verificó el estado de los equipos como son conservadora, balanza analítica, termohigrómetro entre otros, para la metodología mencionada.

3.3.2.2. Preparación del sustrato para la germinación

Para la preparación del cultivo hidropónico en agregado, se seleccionó y desinfecto el táper de plástico de 35 cm x 15 cm x 12 cm el cual se rellenó hasta los 12 cm de altura, con aserrín que fue previamente esterilizado, el cual sirvió como soporte para las semillas, de tal forma que las semillas quedaron en contacto con el medio acuoso, sin que se ahoguen.

3.3.2.3. Proceso para la germinación

Se realizó la selección de semillas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) por tamaño eligiendo las semillas más vigorosas, se sumergieron en agua por una hora y se sembraron en el taper. Se utilizó 25 semillas ordenada de acuerdo al protocolo propuesto por el ISTA (2002) y se evaluó la germinación diaria. Para ello se adecuo a un Diseño Completo al Azar (DCA) (Figura 2).

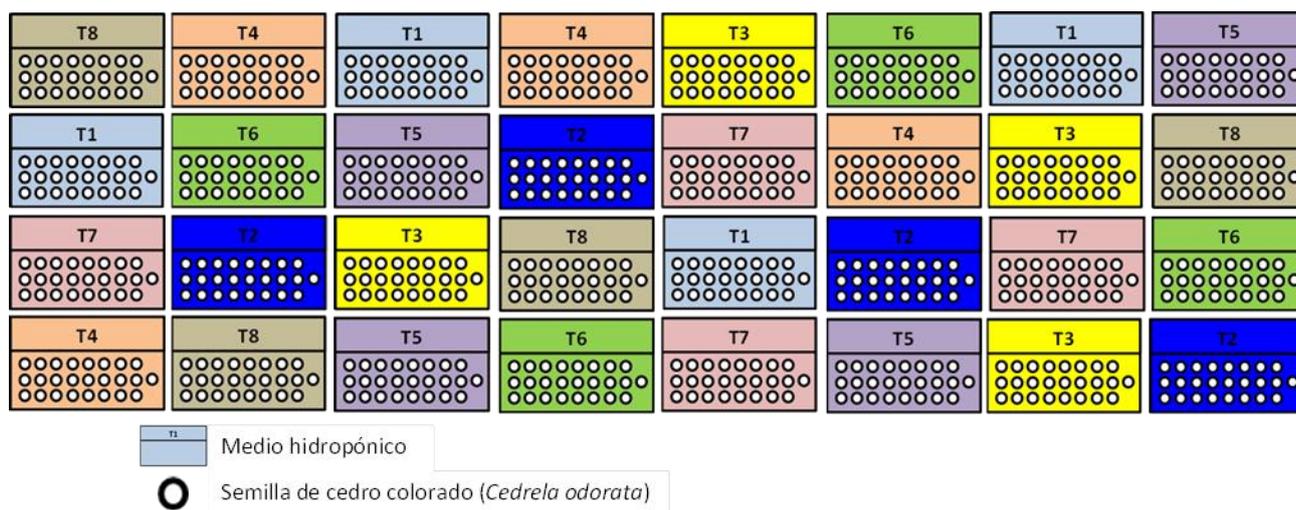


Figura 2. Diseño de los tratamientos con sus repeticiones

3.3.3. Fase de aplicación de soluciones nutritivas

En esta fase se aplicó las soluciones nutritivas al cultivo hidropónico en agregado, siendo dosificado en el sustrato para la asimilación por las plántulas que germinaron, en las cuales se aplicaron los tratamientos de NPK. El medio hidropónico para la investigación fue el cultivo hidropónico en agregado, ya que se utilizó aserrín descompuesto, más las soluciones nutritivas y agua destilada a temperatura ambiente. Este procedimiento se repitió 3 veces para tener datos de una primera, segunda y tercera aplicación.

3.3.3.1. Preparación del medio hidropónico en agregado para plántulas

Para cada tratamiento (solución nutritiva) se utilizó un litro de agua destilada a la que usando una pipeta se le adiciono las dosis con los elementos en base a los rangos anteriormente calculados, no fue necesario ajustar el pH de las soluciones nutritivas ya que al usar un producto comercial el mismo ya viene con un pH estable.

3.3.4. Evaluación de variables

Se realizaron las evaluaciones de acuerdo a la metodología propuesta por CASTRE (2018), al finalizar las pruebas de acuerdo al diseño estructurado para la investigación, además de ello se observó las plántulas de forma periódica para monitorear aparición de plagas, enfermedades y/o hongos que pudieran alterar el resultado de la investigación.

3.3.4.1. Medición de la longitud parte aérea (LPA)

Para evaluar esta variable se tomó el 30% de plantas por repetición, midiéndoseles desde la base del tallo (al ras del sustrato) hasta la punta del último folio, para llevar a cabo esta medición fue necesario contar con una regla graduada en milímetros

Longitud de la parte aérea (LPA): Se tomó el 30% de las plántulas de cada repetición al azar, de las cuales se midió en centímetros usando una regla graduada la longitud de la parte aérea, desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la última hoja.

3.3.4.2. Medición de la longitud de raíz (LR)

Esta variable fue evaluada también empleándose una regla graduada en milímetros, para la cual se registró esta longitud desde la punta de la raíz hasta el cuello de esta.

3.3.4.3. Medición peso seco de plántula

VERA (1995) nos dice que el peso seco es igual a la biomasa de las plántulas, por lo tanto, para evaluar esta variable se tomó las mismas plantas

utilizadas para evaluar la LPA y longitud de raíz, estas muestras fueron codificadas, pesadas en una balanza analítica e introducidas a la estufa con temperatura constante de 80 °C por 3 días, posteriormente se evaluará nuevamente su peso, siendo éste el peso seco o biomasa de la plántula de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado).

3.3.4.4. Labores posteriores

Se midió constantemente la humedad, temperatura con el termohigrómetro y la luz de manera que no influya en la germinación y la nutrición de las plántulas en la investigación, además se hizo el riego periódico de 1 a 2 veces por semana dependiendo de las condiciones climáticas debido a que el aserrín tiene una alta absorción de agua.

IV. RESULTADOS

4.1. Influencia de NPK en crecimiento en altura en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

En el Cuadro 5, se muestran los datos estadísticos: media, error estándar, desviación estándar, coeficiente de variación, valores mínimos y máximos para la variable longitud parte aérea de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) notándose el incremento de la media en las 3 evaluaciones registradas, teniendo 11.02 cm en la primera evaluación, 11.43 cm en la segunda y 12.44 cm en la tercera; asimismo se registraron bajos valores de coeficiente de variación (3.84 % a 7.52 %).

Cuadro 5. Medidas de resumen para la variable longitud parte aérea.

Medida de resumen	1 Evaluación	2 Evaluación	3 Evaluación
Media (cm)	11.02	11.43	12.44
Mínimo (cm)	10.28	10.65	10.30
Máximo (cm)	11.97	12.69	13.99
Rango (cm)	1.69	2.04	3.69
Desviación estándar (σ)	0.42	0.49	0.94
Varianza (σ^2)	0.18	0.24	0.87
Error estándar (E.E)	0.07	0.09	0.17
Coeficiente de variación (C.V) (%)	3.84	4.28	7.52

En el Cuadro 6, presenta la prueba de normalidad de los datos para las tres evaluaciones de la variable longitud parte aérea de plántulas de *Cedrela*

odorata L. (cedro colorado). Haciendo uso de la prueba estadística de Shapiro-Wilks modificado, donde se observan que los “valores de p” es son 0.116, 0.246 y 0.270, siendo superiores a 0.05, lo cual nos permite concluir que los datos de la longitud parte aérea siguen una distribución normal.

Cuadro 6. Prueba de Shapiro-wilks (modificado) de la variable longitud parte aérea de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado).

Variable	Media (cm)	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Longitud parte aérea – 1	11.02	0.42	0.93	0.116
Longitud parte aérea – 2	11.43	0.49	0.94	0.246
Longitud parte aérea – 3	12.44	0.94	0.94	0.270

Asimismo, en la figura Q-Q plot se visualiza la distribución normal de los datos en las tres evaluaciones realizadas en la longitud parte aérea de plántulas de *Cedrela odorata* L. (Figura 3).

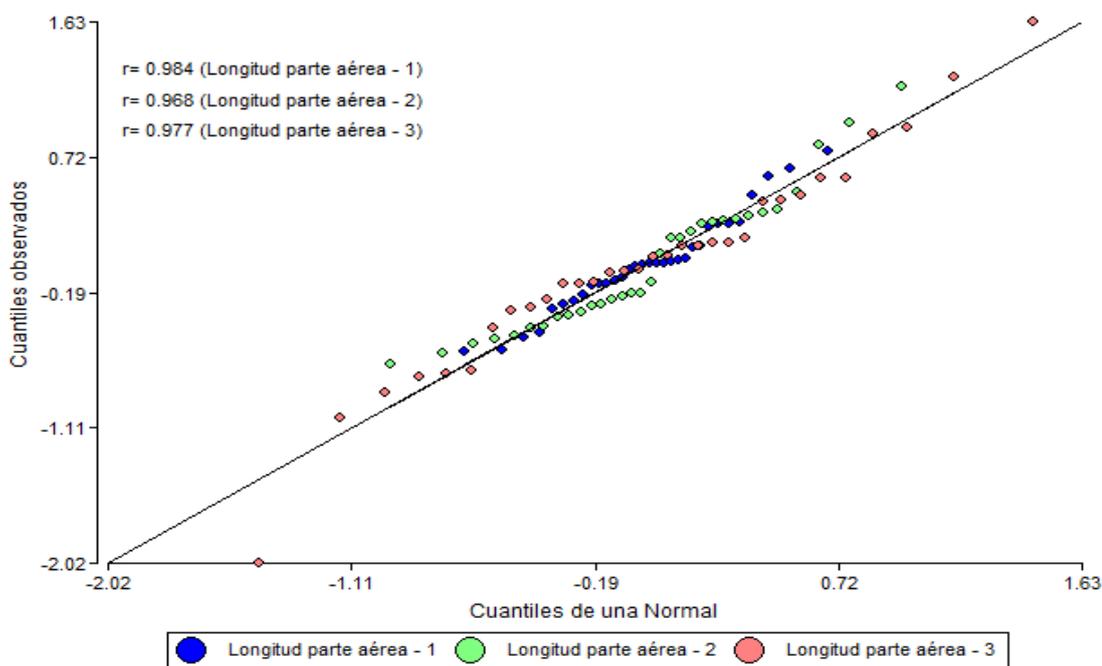


Figura 3. Q-Q plot de distribución normal de la variable longitud parte aérea de plántulas de *Cedrela odorata* L.

En el Cuadro 7, se muestra el ANVA de las tres evaluaciones de LPA de plántulas de *Cedrela odorata* L., donde las dosis de aplicación de NPK (tratamientos: T₇ T₆ T₅ T₄ T₃ T₂ T₁ T₀) no mostraron diferencias estadísticas significativa en las dos primeras evaluaciones (p-valor: 0.069 y 0.913); sin embargo, en la tercera evaluación de dicha variable, sí se encontró diferencia estadística significativa (p-valor: 0.034).

Cuadro 7. Resumen ANVA de la variable evaluada longitud parte aérea.

FV	1 Evaluación		2 Evaluación		3 Evaluación	
	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Trat	2.214	0.069 ^{ns}	0.366	0.913 ^{ns}	2.666	0.034*
CV (%)	3.4		4.63		6.41	

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

En el Cuadro 8, muestra la prueba Tukey, donde se llega a reafirmar que los tratamientos en las dos primeras evaluaciones no registran diferencias estadísticas entre sí; sin embargo, en la tercera evaluación se encontró que la dosis T₁ (3 ml de NPK) se mostró como el mejor tratamiento para el crecimiento en longitud de la parte aérea; obteniéndose 13.426 cm frente a los demás tratamientos.

Así mismo en la Figura 4, el tratamiento (T₁) y (T₃) son los que mayor incremento de longitud parte aérea registraron, con una media de 13.426 cm y 13.406 cm respectivamente, observándose qué solo la dosis de NPK (T₁) es la que fue estadísticamente significativo, seguido de los tratamientos (T₀), (T₇), (T₄),

(T₅) y (T₆) con 12.319 cm, 12.275 cm, 12.247 cm, 12.180 cm 12.075 cm respectivamente; siendo el tratamiento T₂ (6 ml de NPK) el que presento un menor incremento de longitud de la parte área con 11.557 cm.

Cuadro 8. Prueba Tukey para los tratamientos de la variable longitud parte aérea.

Trat	1 Eva.	Significancia	2 Eva.	Significancia	3 Eva.	Significancia
0	10.678	a	11.575	a	12.319	ab
1	10.772	a	11.494	a	13.426	a
2	10.726	a	11.122	a	11.557	b
3	11.385	a	11.625	a	13.406	ab
4	11.047	a	11.325	a	12.247	ab
5	11.022	a	11.428	a	12.180	ab
6	11.216	a	11.353	a	12.075	ab
7	11.350	a	11.494	a	12.275	ab

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$)

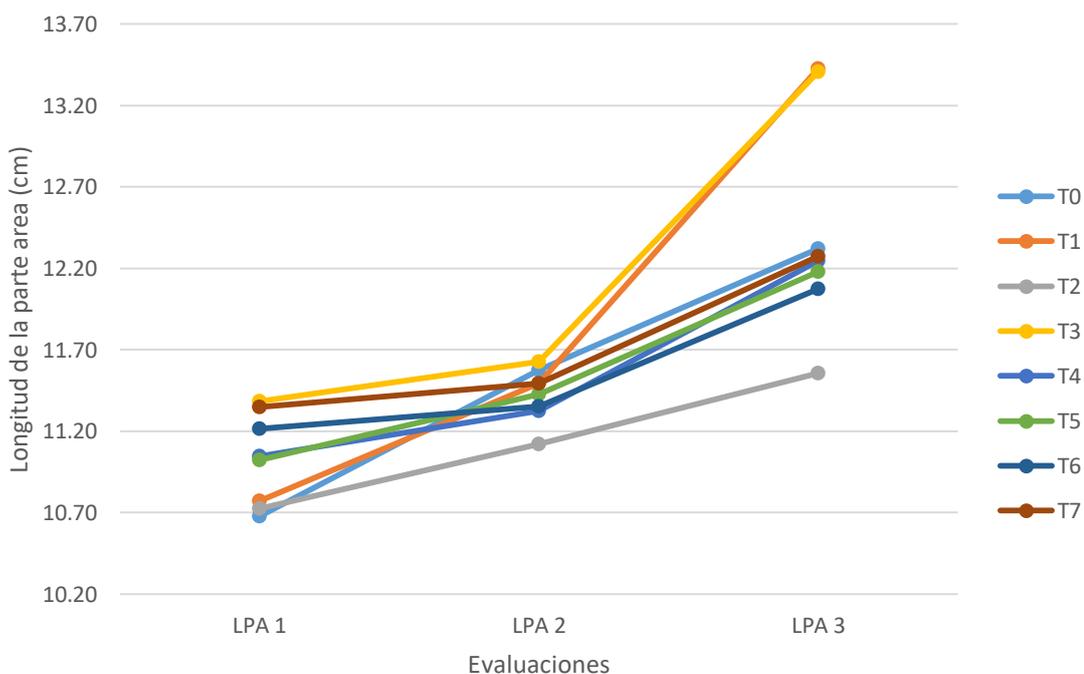


Figura 4. Incremento de longitud parte aérea en tres evaluaciones.

4.2. Influencia de NPK en crecimiento en longitud radicular en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

En el Cuadro 9 se muestran los datos estadísticos: media, error estándar, desviación estándar, coeficiente de variación, valores mínimos y máximos para la variable longitud parte aérea de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) notándose que hubo un estancamiento en el crecimiento de longitud radicular en las medias de las 3 evaluaciones registradas, teniendo 3.86 cm en la primera evaluación, 3.84 cm en la segunda y 3.82 cm en la tercera; asimismo se registraron bajos valores de coeficiente de variación (9.66 % a 11.83 %).

Cuadro 9. Medidas de resumen para la variable longitud radicular.

Medida de resumen	1 Evaluación	2 Evaluación	3 Evaluación
Media (cm)	3.86	3.84	3.82
Mínimo (cm)	3.19	3.15	3.03
Máximo (cm)	5.11	4.75	4.8
Rango (cm)	1.92	1.6	1.77
Desviación estándar (σ)	0.46	0.37	0.43
Varianza (σ^2)	0.21	0.14	0.19
Error estándar (E.E)	0.08	0.07	0.08
Coeficiente de variación (C.V) (%)	11.83	9.66	11.27

El cuadro 10 presenta la prueba de normalidad de los datos para las tres evaluaciones de la variable crecimiento de la longitud radicular de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado); Haciendo uso de la prueba estadística de Shapiro-Wilks modificado, donde se observan que los “valores de p” es son

0.207, 0.768 y 0.696, siendo superiores a 0.05, lo cual nos permite concluir que los datos de la longitud radicular siguen una distribución normal.

Cuadro 10. Prueba de Shapiro-wilks (modificado) de la variable longitud radicular de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado).

Variable	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Longitud radicular - 1	3.862	0.457	0.937	0.207
Longitud radicular - 2	3.842	0.371	0.967	0.768
Longitud radicular - 3	3.817	0.43	0.964	0.696

Asimismo, en la figura Q-Q plot se visualiza la distribución normal de los datos en las tres evaluaciones realizadas en la longitud radicular de plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) (Figura 5).

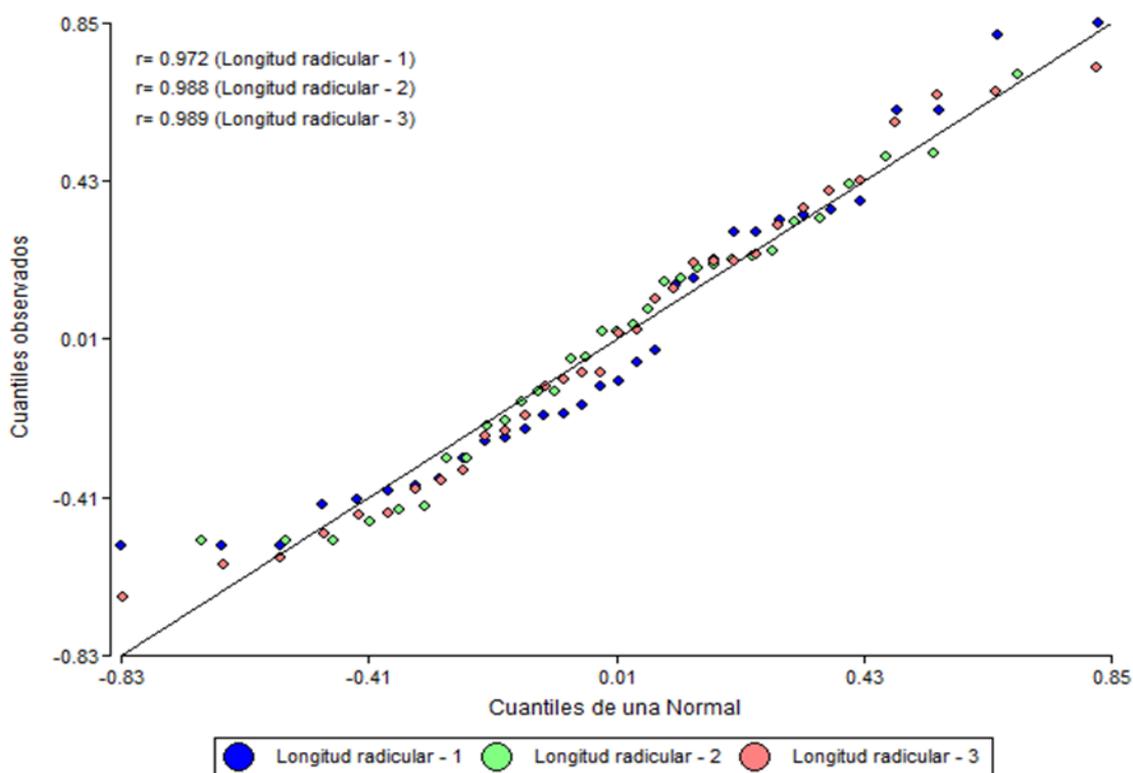


Figura 5. Q-Q plot de distribución normal de la variable longitud radicular de plántulas de *Cedrela odorata* L.

El Cuadro 11, muestra el análisis de varianza (ANVA) para las tres evaluaciones de longitud radicular de plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), observándose que, no encontrándose diferencia estadística significativa entre los tratamientos de NPK (T₇, T₆, T₅, T₄, T₃, T₂, T₁, T₀), en las tres evaluaciones (p-valor: 0.454, 0.638 y 0.801).

Cuadro 11. Resumen análisis de varianza de la variable longitud radicular.

FV	1 Evaluación		2 Evaluación		3 Evaluación	
	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Trat	1.002	0.454 ^{ns}	0.744	0.638 ^{ns}	0.532	0.801 ^{ns}
CV (%)	11.83		9.95		11.92	

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

El Cuadro 12, muestra la prueba de Tukey, donde se reafirma que los tratamientos en las tres evaluaciones no se registran diferencias estadísticas entre sí, además se puede observar que la dosis neutra (tratamiento T₀- Testigo), es quien registró la mayor longitud radicular en la primera evaluación (4.290 cm) y el menor desempeño de crecimiento radicular en la segunda evaluación (3.708 cm).

De acuerdo a la Figura 6, el tratamiento T₂ (6 ml de NPK), es el único que presentó un incremento de longitud radicular constante a lo largo de las 3 evaluaciones, con una media de 4.13 cm en la tercera evaluación, observándose que las demás dosis de NPK presentan un estancamiento en el crecimiento de longitud radicular, con un incremento en la segunda evaluación seguido de una disminución en cuanto al crecimiento de longitud radicular en la tercera, siendo el T₇ (21 ml de NPK) el que menor disminución presenta con una media de 3.875

cm en la tercera evaluación de la seguido de los tratamientos (T₅), (T₁), (T₄), (T₀) y (T₃) con 3.855 cm, 3.830 cm, cm, 3.797 cm , 3.712 cm y 3.795 cm respectivamente; siendo el tratamiento (T₆) el que presento un menor incremento de longitud de la parte área con 3.538 cm.

Cuadro 12. Prueba Tukey para los tratamientos de la variable longitud radicular.

Trat	1eva	Significancia	2eva	Significancia	3eva	Significancia
0	4.290	a	3.708	a	3.712	a
1	4.077	a	3.857	a	3.830	a
2	3.967	a	4.050	a	4.130	a
3	3.715	a	3.835	a	3.795	a
4	3.728	a	3.955	a	3.797	a
5	3.780	a	3.678	a	3.855	a
6	3.625	a	3.615	a	3.538	a
7	3.712	a	4.035	a	3.875	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$)

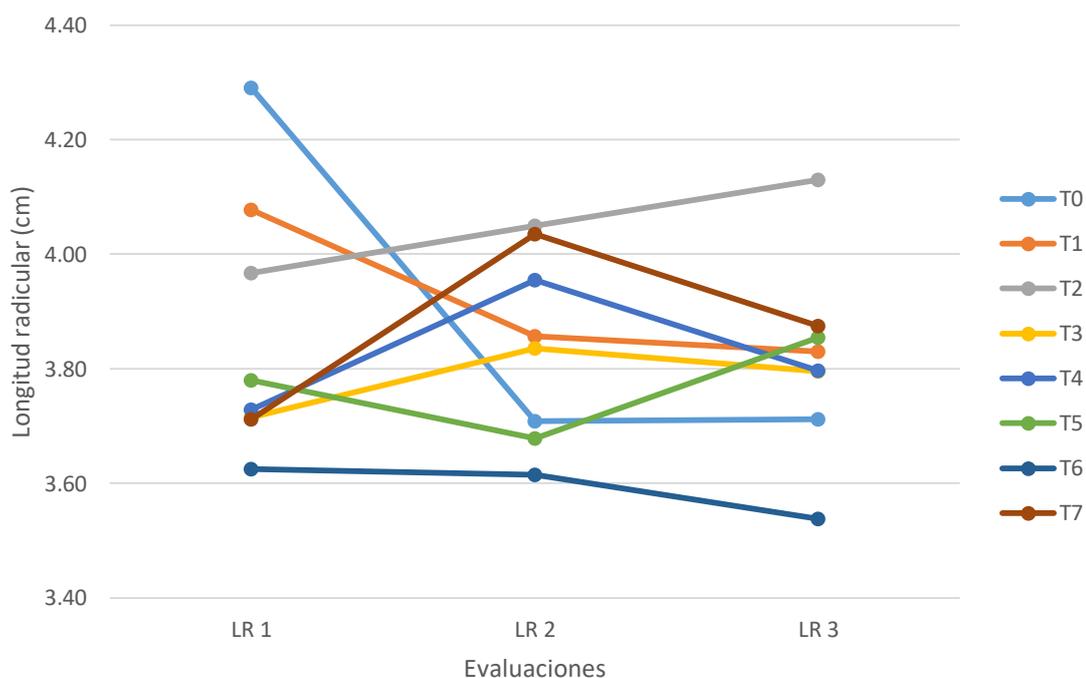


Figura 6. Incremento de longitud radicular en tres evaluaciones.

4.3. Influencia de NPK en crecimiento de biomasa en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

En el Cuadro 13, se muestran los datos estadísticos: media, error estándar, desviación estándar, coeficiente de variación, valores mínimos y máximos para la variable incremento del peso seco (biomasa) de plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) notándose el incremento del promedio en las 3 evaluaciones registradas, teniendo 20.34 mg en la primera evaluación, 21.90 mg en la segunda y 25.67 mg en la tercera; asimismo se registraron bajos valores de coeficiente de variación (6.02 % a 9.88 %).

Cuadro 13. Medidas de resumen para la variable biomasa.

Medida de resumen	1 Evaluación	2 Evaluación	3 Evaluación
Media (mg)	20.34	21.90	25.67
Mínimo (mg)	17.62	18.70	21.40
Máximo (mg)	23.46	24.70	32.10
Rango (mg)	5.84	6.00	10.70
Desviación estándar (σ)	0.002	0.001	0.003
Varianza (σ^2)	2.0E-06	2.0E-06	6.0E-06
Error estándar (E.E)	3.0E-04	2.0E-04	4.0E-04
Coeficiente de variación (C.V) (%)	7.16	6.02	9.88

El Cuadro 14 presenta la prueba de normalidad de los datos para las tres evaluaciones de la variable incremento de la biomasa (peso seco) en plantas de *C. odorata* L. (cedro colorado). Usándose la prueba estadística: Shapiro-Wilks modificado, donde se observan que los “valores de p” es son 0.675, 0.925 y

0.648, siendo superiores a 0.05, lo cual nos permite concluir que los datos de la longitud parte aérea siguen una distribución normal.

Cuadro 14. Prueba de Shapiro-wilks (modificado) de la variable biomasa.

Variable	Media (mg)	D.E.	W*	p (Unilateral D)
1 evaluación - Biomasa	20.34	0.001	0.963	0.675
2 evaluación - Biomasa	21.90	0.001	0.978	0.925
3 evaluación - Biomasa	25.67	0.003	0.961	0.648

Asimismo, en la figura Q-Q plot se visualiza la distribución normal de los datos en las tres evaluaciones realizadas en el incremento de la biomasa de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) (Figura 7).

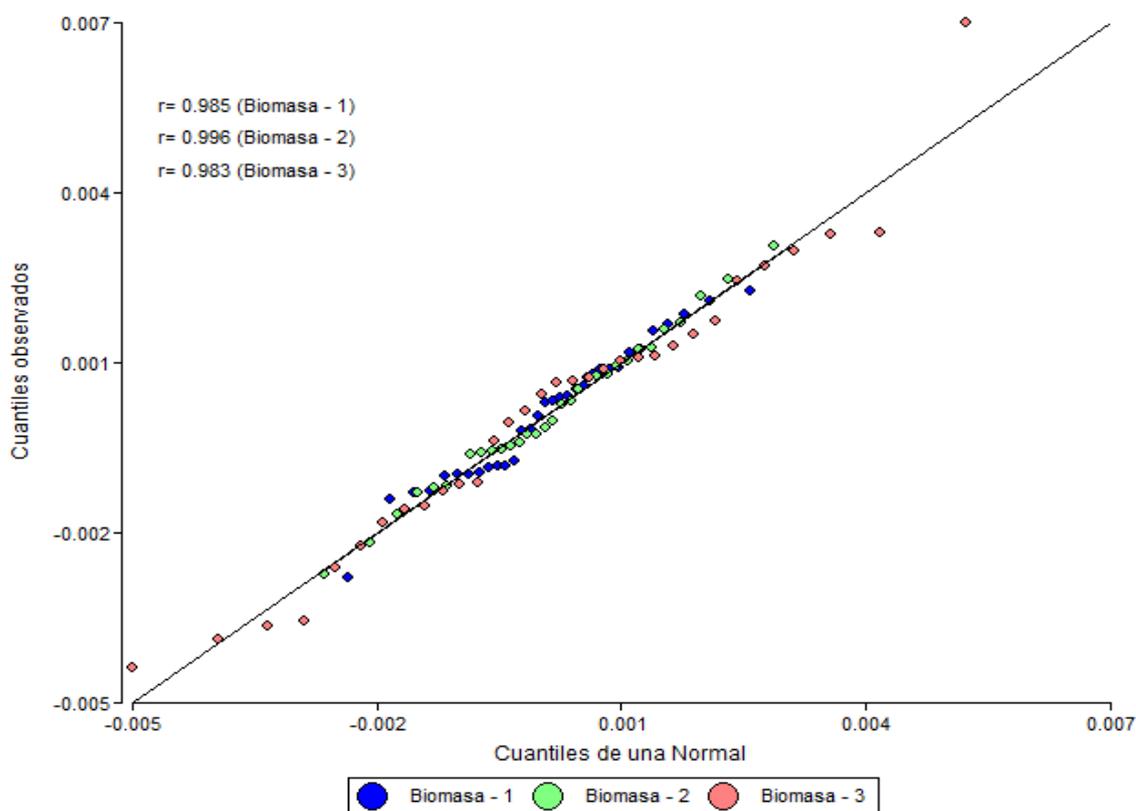


Figura 7. Q-Q plot de distribución normal de la variable biomasa.

El Cuadro 15, muestra el análisis de varianza (ANVA) para las tres evaluaciones de incremento de biomasa de plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), observándose que no existe diferencia estadística significativa entre dosis de aplicación de NPK (tratamientos: T₇ T₆ T₅ T₄ T₃ T₂ T₁ T₀), en las tres evaluaciones (p-valor: 0.067, 0.950 y 0.761).

Cuadro 15. Resumen análisis de varianza de la variable biomasa.

FV	1 Evaluación		2 Evaluación		3 Evaluación	
	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Trat	2.24	0.067 ^{ns}	0.29	0.950 ^{ns}	0.59	0.761 ^{ns}
CV (%)	6.333		6.566		10.381	

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

En el Cuadro 16, muestra la prueba Tukey, con la cual se puede volver a afirmar que en los tratamientos en las tres evaluaciones no se registran diferencias estadísticas entre sí, encontrando que la dosis T₄ (12 ml de NPK), fue el que presentó el mayor incremento de biomasa en la tercera evaluación (28.00 mg). El tratamiento T₀ (Testigo), tuvo menor desempeño de incremento de biomasa (24.82 mg).

En la Figura 8, se muestra el incremento de biomasa, donde se registró que la dosis T₄ fue el que mayor biomasa incremento (28.00 mg), seguido de los tratamientos (T₅), (T₁), (T₇), (T₃), (T₂) y (T₆) con 25.77 mg, 25.70 mg, 25.65 mg, 25.58 mg y 24.88 mg respectivamente, por último siendo el tratamiento testigo (T₀) el que presentó un menor incremento de biomasa con 24.82 mg.

Cuadro 16. Prueba Tukey para los tratamientos de la variable biomasa.

Trat	1eva	Significancia	2eva	Significancia	3eva	Significancia
0	20.20	a	21.55	a	24.82	a
1	19.46	a	21.73	a	25.70	a
2	18.52	a	21.95	a	24.98	a
3	20.70	a	22.20	a	25.58	a
4	20.26	a	21.62	a	28.00	a
5	21.14	a	22.30	a	25.77	a
6	21.43	a	21.40	a	24.88	a
7	20.99	a	22.47	a	25.65	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p <= 0.05$)

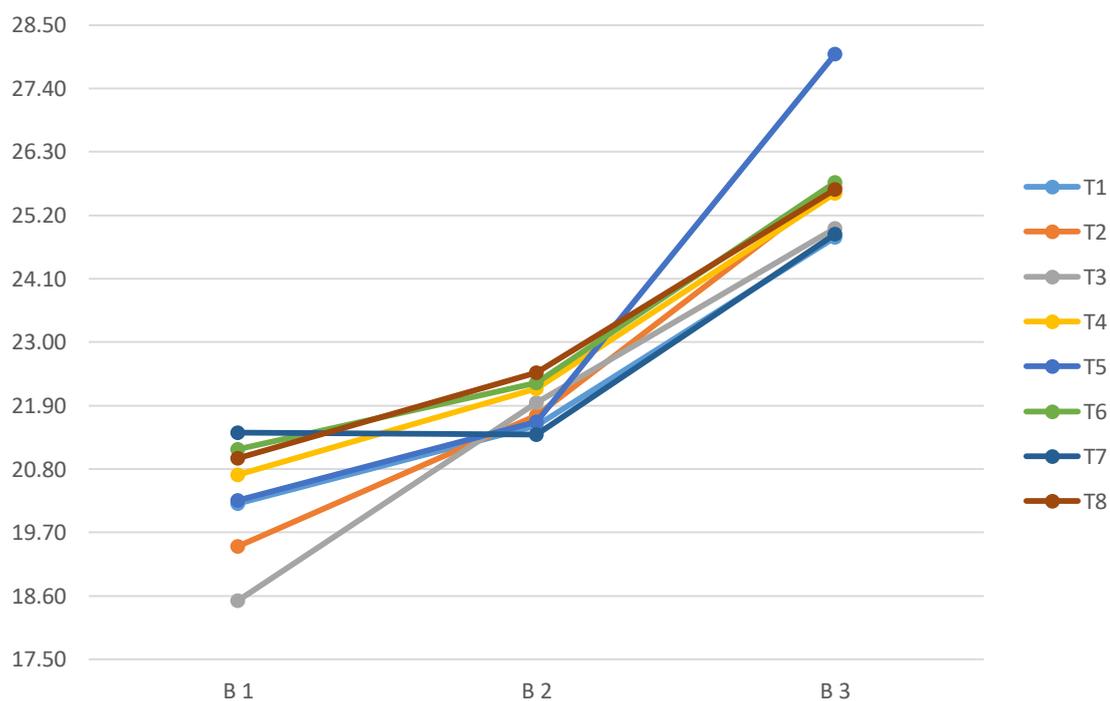


Figura 8. Incremento de biomasa en tres evaluaciones.

V. DISCUSIÓN

5.1. Influencia de NPK en crecimiento en altura en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Después de la tercera evaluación se confirma que al usar diferentes dosis de fertilizante de NPK, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (T_0 , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , T_7), donde resulto que la dosis T_1 (3 ml de solución de NPK) fue la que tuvo un mayor crecimiento en la longitud parte aérea de plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), la cual registro 13.43 cm de media, mientras que las plantas que fueron expuestas al tratamiento T_2 (6 ml de NPK) los que menos desarrollo en altura presentaron 11.56 cm, esto nos indica que puede ser que a mayor dosis de NPK exista una saturación de nutrientes en el crecimiento, ya que la menor dosis es ligeramente la más adecuada para el crecimiento.

De estos resultados se puede interpretar que la dosis de 3 ml de solución de NPK (T_1) permite ligeramente el mayor crecimiento en altura de plántulas de Cedro colorado, esto debido a que contiene la dosis idea del (alta dosis de nitrógeno, potasio y fosforo para el óptimo crecimiento en altura de las plántulas, también se puede decir que las plántulas se adaptaron al sustrato fertilizado en el experimento (aserrín descompuesto), permitiendo a la planta un buen desarrollo radicular, que es lo que le permite tener una mayor capacidad de asimilación de los nutrientes dosificados en los tratamientos. Esto se deba a

la correcta dosis de nitrógeno presente en la dosis, ya que las hojas de las plántulas presentaron un color verde muy pronunciado.

Los resultados obtenidos en este experimento coinciden con los mencionados por GONZALES (2001), que realizó un estudio sobre el efecto de tres tratamientos de dosis de fertilizante (NPK) en plántulas de dos especies de pino piñonero en condiciones en invernadero, donde aplicó diferentes concentraciones de nitrógeno, fosforo y potasio (NPK) para generar plantones de *Pinus nelsonni* Shaw y *Pinus cembroides* Zucc en envase de polietileno negro bajo condiciones de invernadero. En este trabajo determinó que en *Pinus cembroides* únicamente se encontraron diferencias para la variable altura de la planta alcanzando su mayor desarrollo con el tratamiento con nitrato de amonio, NH_4NO_3 con 15.35 cm de altura. Resultados inversos fueron obtenidos por PICHARDO (2012), en su investigación de producción de plantones de la especie *Pinus cembroides* Zucc) con el uso alternativo de agua residual en medios hidropónicos bajo condición invernadero, se usaron 4 soluciones de sales minerales: 1) 100% Líquido de lombriz, 2) 75% líquido de lombriz + 25% sales minerales. 3) 50% líquido de lombriz + 50% sales minerales, 4) 25% líquido de lombriz + 75% sales minerales para producir plántulas de pino, además se probaron tres mezclas de sustratos: 1) 41% Vermiculita + 30% Peat moss + 29% perlita. 2) 50% Perlita + 50% Peat moss, 3) 100% Perlita, donde encontró que la mayoría de las variables evaluadas fueron altamente significativas en las diferentes soluciones y mezclas de sustratos que se utilizaron en el experimento. Sin embargo, no se encontró significancia para el crecimiento en altura de la planta en ambos factores.

Al respecto NAVARRO Y NAVARRO (2003), manifiestan que el nitrógeno es el elemento más representativo en el desarrollo de plantas, está presente dentro de la cadena de los ácidos nucleicos, proteínas, aminoácidos, así mismo está presente en las moléculas de la clorofila. Si se tiene una óptima dosificación de este elemento se tiene asegurada el pronto desarrollo vegetativo, con color verde oscuro en el tejido vegetal, siendo este el reflejo de una óptima actividad fotosintética que desarrolla la planta y su exceso aumenta la salinidad en el suelo, lo que reduce su desarrollo vegetativo ya que reduce el crecimiento y la división celular.

Esto contrasta en explicar el por qué en la presente investigación la dosis con mejor NPK presento un crecimiento ligeramente mayor al resto, asimismo MENGEL Y KIRBY (1978), coincide que, en términos generales existen dos premisas sobre la nutrición de las plantas. Que todas las plantas dependen de la asimilación de uno o más nutrimentos y una disponibilidad de estos para que sus procesos fisiológicos puedan producir un desarrollo en el tamaño de la planta y su correcto funcionamiento. Asimismo, para el desarrollo y crecimiento fisiológico de la planta se necesita que los nutrientes sean adsorbidos, almacenados y metabolizados.

De estas experiencias y de lo dicho anteriormente sobre el sustrato usado en esta investigación (aserrín descompuesto), podemos interpretar que también depende de cómo la especie se adapte al sustrato usado para poder tener una correcta asimilación de los fertilizantes y quizás los sustratos usados.

Asimismo respecto al sustrato empleado, CASTRE (2018) afirma que es el adecuado para obtener buenas variables de longitud aérea, radicular y biomasa en *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), ya que en su investigación sobre el efecto de pruebas de estrés sobre la germinación de semillas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en distintos sustratos bajo medios de laboratorio y uso 9 tratamientos diferentes donde encontró que el mejor tratamiento fue el T₅ (aserrín + prueba en frío) con un 96 % de poder germinativo y 65 % de energía germinativa, además que el mejor sustrato es el aserrín por su fuerte respuesta a los factores de germinación. El aserrín descompuesto como sustrato generó influencias significativas en las características biométricas de las plántulas como son largo de la parte aérea, longitud radicular y biomasa en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), presentando las mejores respuestas.

5.2. Influencia de NPK en crecimiento en longitud radicular en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

En plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) producidas con distintas dosis de NPK, después, después de tres evaluaciones no se encontró diferencias significativas entre las distintas dosis de NPK (T₇, T₆, T₅, T₄, T₃, T₂, T₁, T₀). Sin embargo, posteriormente a realizar la prueba de medias de Tukey podemos observar que al momento de la tercera evaluación se obtuvo que la dosis de NPK donde las plántulas alcanzaron mayor longitud de raíz fue la T₂ (6 ml de NPK) y las que tuvieron menor longitud fueron las de la dosis T₆ (18 ml de NPK), así mismo se encontró que las medias de longitud radicular de las tres evaluaciones tuvieron un estancamiento en su crecimiento, teniendo 3.86 cm en la primera evaluación, 3.84 cm en la segunda y 3.82 cm en la tercera, este

comportamiento podría deberse a la falta de la concentración ideal de fosforo en las dosis de NPK.

Resultados similares se obtuvieron por LÓPEZ (1990), quien realizó un estudio de nutrición con el objetivo de establecer las curvas de abastecimiento de nitrógeno, fosforo y potasio y sus niveles óptimos en plántulas de *Pinus patula* en sistema hidropónico utilizando tezontle rojo, con riego de superficie usando la formula nutritiva de Hewitt y Smith en condiciones de invernadero donde encontró que no se logró determinar la curva de abastecimiento de fosforo debido a que los niveles proporcionados fueron muy elevados. Todas las variables estudiadas a excepción de la longitud de la raíz presentaron un crecimiento optimo cuando el abastecimiento de fosforo fue de 134 ppm.

De igual manera PICHARDO (2012) coincide en estos resultados, de menor respuesta del sistema radicular a la nutrición con cultivo hidropónico, dado que en su investigación de producción de plantones de la especie *Pinus cembroides* Zucc con el uso alternativo de agua residual en medios hidropónicos bajo condición invernadero, donde se usaron 4 soluciones de sales minerales y 3 mezclas de sustrato donde encontró que no existe significancia estadística para longitud de raíz.

Al respecto NAVARRO Y NAVARRO (2003), dicen que el fosforo es componente esencial del ARN y ADN (ácidos nucleicos), así mismo tiene un papel fundamental en el almacén y transferencia de energía (ATP). En las concentraciones adecuadas de fosforo, aporta un buen desarrollo de tejido vegetal, induce la floración, fecundación y maduración del fruto de las plantas,

así mismo influye en el desarrollo adecuado de semillas y frutos, permite que las raíces desarrollen correctamente, y cumple un rol importante en la fotosíntesis, como elemento que aporta calidad a la planta y anticipación, ya que aporta resistencia a enfermedades y plagas en las plantas. Asimismo, el déficit de este elemento es notable por el limitado desarrollo de la planta, madurez lenta, limitado proceso en la formación de semillas y frutos, hojas con ápice necrosado, en el follaje se manifiesta color de tonalidad rojo-purpura, y la abundancia de fósforo influye en la rápida madurez, acelera el desarrollo radicular, influir en la limitación de hierro, cobre, boro y zinc. Esto puede explicar lo que paso con la longitud radicular en este experimento, ya que los niveles de fosforo no lograron un desarrollo óptimo del sistema radicular, y tampoco se notó un exceso en el crecimiento de las raíces, lo que si noto en algunas plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) fue que, las hojas se tornaron de color verde oscuro con el ápice necrosado, lo que puede indicar que hubo una deficiencia de fosforo en las dosis de NPK.

Otras investigaciones como la de SANTIAGO (2011), donde hizo un experimento sobre la respuesta del *Cosiantrum sativum* L. (cilantro) al uso de fertilizantes inorgánicos y organominerales, donde concluye que una raíz que encuentra en su crecimiento cantidades necesarias de nutrientes, no tiene necesidad de incrementar su longitud de búsqueda y en consecuencia su crecimiento es limitado afectando de manera directa el crecimiento de la planta. Esto puede explicar lo que paso en esta investigación gracias al sustrato utilizado ya que el aserrín descompuesto por lo antes mencionado tiene una alta retención de agua y porosidad adecuada, por lo tanto, las raíces de las plántulas de

Cedrela odorata L. (cedro colorado) al encontrarse siempre con los nutrientes necesarios no tuvieron que incrementar su longitud.

5.3. Influencia de NPK en crecimiento de biomasa en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Con respecto a la biomasa de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) luego de realizar el ANVA, se encontró que luego de tres evaluaciones no existen diferencias significativas entre las dosis de aplicación de NPK (T₇ T₆ T₅ T₄ T₃ T₂ T₁ T₀). Con el uso del estadístico de Tukey, no reafirma la no existencia de diferencia estadística entre tratamientos, sin embargo, se observó que, el tratamiento T₄ (dosis 12 ml de NPK) tuvo mayor incremento en biomasa. El tratamiento que tuvo un menor desempeño de incremento de biomasa fue el tratamiento T₀, que no contenía ninguna dosis de NPK, a pesar que no existe diferencias significativas entre las dosis empleadas, sin embargo se encontró un incremento en la media de las 3 evaluaciones, (20.30 mg, 21.90 mg y 25.70 mg respectivamente); se constata que hubo un incremento en la biomasa de las plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) y por lo tanto una respuesta a la fertilización con dosis de NPK, que como se dijo anteriormente el tratamiento que mostro menos incremento de biomasa fue la dosis que no contenía ningún nutrimento y era solo agua filtrada pura.

De estos resultados se desprende: Que si bien la dosis T₄ (12 ml de NPK) fue la que alcanzo un mayor incremento de biomasa en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), las demás dosis a excepción de la T₀ (Testigo), presentaron resultados similares en cuanto al incremento de biomasa

por lo tanto no se lograron diferencias significativas; como la bibliografía revisada nos menciona la falta o exceso de algún nutriente en la dosis puede ocasionar una respuesta positiva o negativa, si bien en este experimento hubo una respuesta a la fertilización como se vio en el aumento de las medias de cada evaluación, los resultados deseados eran observar una influencia más marcada de las dosis de NPK en las plántulas y que quizás no fue posible por la falta de una cantidad adecuada de un nutriente.

Los tratamientos con mayor dosificación de nitrógeno registraron mejores valores de biomasa, estos resultados coinciden con lo encontrado por LÓPEZ (1990), donde observo que en las curvas de abastecimiento de nitrógeno para las variables de respuesta continuaron subiendo aun cuando se aplicaron 226 ppm de nitrógeno, máxima cantidad suministrada para este nutrimento. Esto sugiere que hubiera sido posible encontrar plantas con mayor biomasa incrementando el abastecimiento de nitrógeno, observo además que las plantas que tuvieron las dosis más altas de nitrógeno, exhibieron un mayor incremento en cuanto a la longitud de las hojas primarias y una aparición más temprana de las hojas secundarias.

Al respecto RODRÍGUEZ (1982), dice que el nitrógeno inorgánico (NH_4^+ y el NO_3^-) al ingresar a las células de las plantas, forma parte de las bases nitrogenadas, con el fin de cumplir variadas funciones bioquímicas; al ingresar en los aminoácidos inducen la elaboración de las proteínas vegetales; asimismo el nitrógeno puede encontrarse en la clorofila, ácidos nucleicos y fitohormonas. Al existir alta concentración de nitrógeno, a la par se incrementa la densidad de la clorofila, dando como resultado una mejoría en la síntesis y

asimilación de compuestos orgánicos, esto puede evidenciarse fácilmente en la coloración verdosa del tejido vegetal, asimismo en un mayor desarrollo de volumen y biomasa de la planta.

Es importante también tener en cuenta un aspecto muy importante como es que en el experimento se tuvo un estancamiento en el crecimiento de la longitud de la raíz de las plántulas, siendo este factor importante para el incremento de la biomasa. Tal como asegura SANTIAGO (2011), quien comparó fertilizantes inorgánicos y orgánominerales, concluyendo que el tamaño de la raíz es importante para el crecimiento de la materia verde y seca, es decir, que a medida que crece la raíz también crece la biomasa, como consecuencia de la actividad radicular, por eso es fundamental tener una raíz grande y ramificada.

Así como también el tiempo del estudio fue de 2 meses, al respecto GARCIA (2001), quien hizo un experimento sobre el efecto de tres dosis de fertilización sobre tres especies de pino, donde evaluó el crecimiento de las especies de *Pinus pinceana* Gord., *Pinus cembroides* Zucc y *Pinus pseudostrobus* Lindl., durante la etapa de vivero, utilizando tres tratamientos con tres dosis de fertilización cada uno. El autor encontró que, a la edad de 9 meses, las plántulas de las especies estudiadas apenas comienzan a manifestar la respuesta a la fertilización, esto ocurrió porque solo utilizó N, P, K, ya que el exceso o carencia de uno u otro nutrimento afecta el rendimiento.

VI. CONCLUSIONES

- En *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) mayor crecimiento en la parte aérea en cultivos hidropónicos en agregados, se obtuvo con la dosis de 3 ml de NPK (T₁), alcanzando una longitud promedio de 13.426 cm, siendo esta dosificación estadísticamente significativa.
- No se encontró diferencia estadística en la longitud radicular por efecto de las dosis de NPK en el cultivo hidropónico en agregado, sin embargo, la dosis de 9 ml de NPK (T₂) registró el mayor crecimiento radicular (4.13 cm).
- Así mismo, en la biomasa en plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), no existió significancia estadística entre los tratamientos; sin embargo, el tratamiento con la dosis de 12 ml de NPK (T₄) registró mayor incremento de biomasa (peso seco), con 28.00 mg.

VII. RECOMENDACIONES

- En producción de plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en condiciones como el laboratorio, emplear la dosis de 3 ml de NKP para obtener mejores plántulas en cuanto al crecimiento de la parte aérea.
- Se recomienda que el tiempo de duración del experimento sea más largo para obtener resultados más completos, debido al lento crecimiento de la especie, ya que se sabe que hay especies forestales que recién a los 9 meses de edad de las plántulas muestran efectos de la fertilización.
- Darle seguimiento a este trabajo para saber las respuestas que puedan tener las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) más adelante al quedar establecidas en campo.
- Debe realizarse un análisis económico que pueda orientar si es rentable el pasar de una producción con sustratos tradicionales a una producción con sustratos hidropónicos.
- Ejecutar investigaciones similares en distintas en condiciones climáticas diferentes, ya que la presente investigación se realizó en condiciones del área de secado del laboratorio de semillas, donde la humedad es más elevada, pudiendo obtenerse resultados diferentes en condiciones de humedad normales.

- Producir plántulas de otras especies forestales con las mismas dosis de NPK, debido a que es viable el generar plantas de estas especies con buenas características y en un menor lapso de tiempo.
- Fomentar las investigaciones de este tipo, buscando probar otras dosificaciones para especies forestales presentes en nuestra zona de selva alta.

INFLUENCE OF DIFFERENT DOSES OF NPK IN THE GROWTH OF COLORED CEDRO (*Cedrela odorata* L.) IN HYDROPONIC CROPS IN AGGREGATES

VIII. ABSTRACT

The present research work was carried out with the aim of determining the influence of different doses of NPK NPK on the initial growth of red cedar (*Cedrela odorata* L.) seedlings in Hydroponic crops in aggregates, in the nursery phase. It was developed in the Forest Seed Certification Laboratory of the National Agrarian University of La Selva, Tingo María. JBL ProScape was used as a liquid inorganic fertilizer with N-P-K content (50 mg of N, 2 mg of P and 30 mg of K per 1 ml). 7 doses of NPK were tested: 3 ml dose of NPK (T₁), 6 ml dose of NPK (T₂), 9 ml dose of NPK (T₃), 12 ml dose of NPK (T₄), 15 ml of NPK dose (T₅), 18 ml NPK dose (T₆), 21 ml NPK dose (T₇) and a Control treatment (T₀) and decomposed sawdust as hydroponic substrate in aggregates. The completely randomized design (DCA) was used, with 8 treatments and 4 repetitions. Variables height growth, root length growth and biomass accumulation of the plant were evaluated. The greatest increase in height occurred with the NPK (T₁) dose with 13,426 cm. Likewise, for the accumulation of biomass, the treatment (T₄) registered 28.00 mg. In the root length increase, all the treatments presented low qualities regarding the fertilization response with the NPK doses, however, the treatment (T₂) was the one that presented a constant root length increase with 4.13 cm.

Keyword: *Cedrela odorata* L., Doses NPK, Hydroponic crops.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALCÁNTAR G. y TREJO L. 2007. Nutrición de cultivos. Mundi-Prensa México y Colegio de Postgraduados, México. 438 p.
- ALPÍZAR, L. 2006. Hidroponía: cultivo sin tierra. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 35 p.
- AROSTEGUI, A. 1982. Recopilación y Análisis del Estudio Tecnológico Maderas Peruanas. Documento de trabajo FAO N°2. Lima-Perú, 57 p.
- ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE ANALISIS DE SEMILLAS. 2002. Reglas Internacionales para ensayos de semillas. 1 ed. 2002., ISTA. Ver. español Madrid, España. 280 p.
- ASTUDILLO, F. 2015. Diseño e Implementación de un Sistema de control de Temperatura y Humedad para el Cultivo de Lechuga Hidropónico. Proyecto de tesis Ingeniero Electronico y Telecomunicaciones. Piura, Perú. Universidad Nacional de Piura. 115 p.
- BARRIOS, O. 2004. Construcción de un invernadero. [En línea]: (www.fucoa.gob.cl/pdf_zip/capacitacion/manual_invernadero.pdf. Documento, 23 abril 2005).

- BELLO, L. y CIBRIÁN, T. 2000. Evaluación técnica de la reforestación 1998. Resúmenes del 1er. Congreso Nacional de Reforestación, Colegio de Postgraduados, Méx. 109 p.
- BELTRANO, J y GIMENEZ, D. 2015. Cultivo en Hidroponía. 1ed adaptada. La Plata: Universidad Nacional de la Plata, Argentina, Edulp. 181 p.
- BOONER, J y GALSTON. A. 1961. Principles of plant physiology. W. H. Freeman and Company Publishers. Traducción de Portillo F. 1961. Principios de fisiología vegetal. Ed. Aguilar, Madrid. 485 p.
- CARLSON, A., SHAW, G. 1981. Effects of nursery nutritional schedules on development of western hemlock seedlings in the field. In. Scarratt, J. B., Glerum y C.A. Plexman, 1981. Proceedings of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium. Ontario, Canada. 379 - 387 p.
- CASTILLO BALDARES, P. 2002. Informe de Practica de Especialidad, Escuela de Ingeniería Forestal: Utilización de Técnicas Hidropónicas Para la Propagación de Especies Forestales. Cartago, Costa Rica. TEC. 137p.
- CASTRE C, J. 2018. Efectos de Pruebas de Estrés en la Germinación de Semillas de Cedro colorado (*Cedrela odorata* L.) Bajo Diferentes Sustratos en Condiciones de Laboratorio, Tingo María. Tesis Ing. Forestal. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- CANO P. 1997. Evaluación de Cuatro Sustratos en Hidroponía bajo el Sistema Vertical con el Cultivo del Chile (*Capsicum annum* i.). Tesis. Licenciatura. Uaaan. Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2007. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. s.d.t.
- COURTIS, A. 2013. Germinación de semillas. Fisiología vegetal. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes (Argentina). Guía de estudio 22p. [En línea]: UNNE, (http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Guia_de_estudio-Germinacion.pdf, guía, 23 de Jun. 2016).
- CRONQUIST, A. 1981. Un sistema integrado de clasificación de las Angiospermas. Ed. Columbia University Press. 1062 p.
- DOMÍNGUEZ, V. 1997. Tratado de la fertilización. Mundial Prensa. Madrid, España. 42-47 p.
- DORADO, J. 2009. Tu zona Cholula., Puebla. Proyectos de ingeniería de la universidad iberoamericana Puebla. Año 2009. No. 1 Ejemplar gratuito, publicación catorcenal, marzo. Cholula, Puebla. 8 p.
- FLORES, R. 2008. Evaluación nutrimental de potasio en especies forestales en cultivo hidropónico. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, México. 62 p.
- FLORES, S. 2010. Determinación de dosis óptimas NPK en Especies de Interés Económico y Forestal en Cultivo Hidropónico. MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO, 71 p.
- FRITZ, E. 1991. Forest fertilization-present state and history with special reference South German conditions. Fertilizer research 27(1):71-86.

- GARCIA G, S. (2001). Efecto de tres tratamientos de fertilización sobre tres especies de pino en etapa de vivero bajo condiciones de invernadero. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 58 p.
- GONZALES L, A. (2001). Efecto de tres secuencias de dosis en fertilizante (N, P, K,) en plántulas de dos especies de pinos piñoneros en condiciones de invernadero. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 37 p.
- GONZÁLEZ, N. 2006. Avanzan los sistemas hidropónicos en México. Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial Agro Sín. S.A. de C.V. México D.F.: 6.
- GRUPO PARA LA FILOGENIA DE LAS ANGIOSPERMAS. 2009. Sistema de clasificación (APG III). [En línea]: EFN (<http://www.efn.uncor.edu/departamentos/divbioeco/divveg2/CLADOS%20curso%202010.pdf>). Documento, 22 de enero 2017).
- HAECKEL, E. 1887. Report on Radiolaria collected by H.M.S. Challenger during the years 1873-76. Rep. Voyage H.M.S. Challenger, Zool. 18:1-1803.
- HALE, M. y ORCUTT, D. 1987. The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons, USA. 206 p.
- HEWITT, E. y, SMITH, T. 1975. Plant mineral nutrition. The University Press Ltd. 298 p.
- HERNÁNDEZ, S., SÁNCHEZ, D., PEÑA, L. y MONTALVO, H. 2005. Sustratos y frecuencias de riego para la producción de jitomate en hileras a diferente

- altura. Terra Latinoamericana. Vol 23. Núm 3. Julio-septiembre. pp. 341-349. México.
- HERRERA, C. 1996. Propagación masiva de cedro montaña (*Cedrela odorata* L.) por semillas y estaquillas en bosques locales. Rev. Genetica, (Argentina) Vol. 2: p. 453-456.
- HOLDRIDGE, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Trad. por Humberto Jiménez Saa. 20 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay). 2007. Hidroponía. Montevideo, Uruguay.
- ITTO (INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION). 2002. International Tropical Timber Organization guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests, ITTO Policy Development Series No 13. ITTO, Yokohama.
- JONES, J. 1983. A guide for the hydroponic and soilless culture grower. Portland, OR: Timber Press. 124 p.
- LAMB, A. 1969. Especies maderables de crecimiento rápido en la tierra baja tropical. *Cedrela odorata* L. Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación- Capación, Venezuela, Boletín No. 31-31, p. 15-59.
- LANDIS, T., TINUS, R., MCDONALD, S. y BARNETT, J. 1989. Manual de vivero para la producción de especies forestales en contenedor, Vol. 4 Fertilización y riego. (Trad.) Trejo, D. A. R. Dirección General del Programa Nacional de Reforestación, Méx. 126 p.

- LÓPEZ, L. 1990. Estudio de Nutrición de *Pinus patula* Schl. et Cham., en Sistema Hidropónico. Tesis profesional. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. 69 p.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego CA. 674 p.
- MARTÍNEZ, G. y MARTÍNEZ, D. 1996. Diseño de experimentos con fertilizantes. Publicación especial 5, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Colegio de Postgraduados. 155 p.
- MENGEL, K. y KIRKBY E. 1978. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. 593 p.
- MEGÍAS, M., MOLIST, P. y POMBAL, M. 2015. La semilla: Atlas de histología vegetal y animal órganos vegetales. Universidad de Vigo. Boletín. España. 10 p.
- MONTERO, W. 2002. Cultivo Hidropónico. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Regional San Carlos. Santa Clara, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Mimeo. 8p.
- NAVARRO, B. y NAVARRO, G. 2003. Química agrícola; el suelo y los elementos químicos esenciales. 2ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España. 52 p.
- NUEZ, F. 2001. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundiprensa 1ª reimpresión. Barcelona España. 793 p.

- OLSON, R. 1944. The use of hydroponics in the practice of forestry. Jour.. For. 42: 264-268
- ORTI, A. 2009. Germinación de la semilla. Unidad de Geología y Biología, Manises Valencia. (España). Guía práctica 25 p. [En línea]: cac. (<http://www.cac.es/cursomotivar/resources/document/2010/7.pdf>, guía), Documento, 15 de abril 2016.
- PULGAR, V. 1938. Las ocho regiones naturales del Perú. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Tesis. Lima, Perú. 115 p.
- PICHARDO, A. 2012. Aprovechamiento de Agua Residual en la Producción de Pino (*Pinus cembroides* Zucc) en Sustratos Hidropónicos. Tesis profesional. Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro, División de Agronomía. 46 p.
- RECORD, S. y HESS, R. 1949. Timbers of the New World. Yale University Press, Londres, p. 359-374.
- RESH, M. 2006. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España. 558 p.
- RODRÍGUEZ, S. 1982. Fertilizantes. A. G. T. Editor, México. 157 p.
- ROIG, J. 1935. El cedro. Estudio botánico agrícola. Estación agronómica, Cuba. 31 p.
- ROJAS, B. 1962. The San Cristobal design for fertilizer experiments. Proc. Of the Int. Soc. of Sugarcane Technologist 11:197-203.

- ROJAS, B. 1981. Planeación y análisis de experimentos de fertilizantes. INIA, SARH. México, D. F. 45 p.
- SÁNCHEZ, F., ESCALANTE R. y ESPINOSA R. 1983. Hidroponía: Un sistema de producción (Principios y métodos de cultivo). 2da. PATUACH. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Mex. 176p.
- SÁNCHEZ, F., ESCALANTE R. y ESPINOSA R. 1991. Experiencias sobre la producción de flores y hortalizas en México con sistemas hidropónicos. Rev. Chapingo. Serie Hort. (73-74): 7-13.
- SANTIAGO, R. J. 2011. Respuesta del cilantro (*Cosiantrum sativum* L.) al uso de fertilizantes inorgánicos y organominerales. Tesis. Licenciatura. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- STRASBURGER, E. 2004. Tratado de botánica. 35 ed. Barcelona, España. Omega S.A. 627 p.
- TAIZ, L. y ZEIGER, E. 2006. Fisiología vegetal. 3ª ed. Editorial Universitat Jaume. Brazil. 1338 p.
- URRESTARAZU, G., M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España. 5 p.
- VELÁZQUEZ, J. 2007. Informe técnico final del proyecto “Estudio nutricional en especies forestales y restauración económica y ecológica del Bosque de La Primavera, Guadalajara” (CONAFOR-2002-C01-6506).

X. ANEXO

Cuadro 17. Datos evaluados de longitud parte aérea.

Tratamiento	Repetición	1° Evaluación	2° Evaluación	3° Evaluación
1	1	10.47	11.23	13.20
1	2	10.70	11.93	12.20
1	3	10.59	11.85	13.58
1	4	10.95	11.30	10.30
2	1	11.41	12.69	13.85
2	2	10.76	11.16	13.49
2	3	10.28	11.14	12.99
2	4	10.64	10.99	13.38
3	1	10.71	10.93	12.13
3	2	10.85	10.84	10.84
3	3	10.73	11.43	11.24
3	4	10.61	11.30	12.02
4	1	11.39	12.43	13.83
4	2	11.39	11.20	13.99
4	3	11.98	11.69	13.28
4	4	10.79	11.19	12.54
5	1	10.91	12.28	13.16
5	2	11.16	11.54	11.49
5	3	11.31	10.84	12.39
5	4	10.80	10.65	11.95
6	1	11.28	11.60	13.81
6	2	11.04	11.71	11.44
6	3	10.71	11.21	12.33
6	4	11.06	11.19	11.14
7	1	11.98	11.84	12.20
7	2	10.75	11.15	12.13
7	3	10.64	11.68	12.04
7	4	11.50	10.75	11.94
8	1	11.31	11.79	12.40
8	2	11.81	11.86	12.45
8	3	11.20	11.38	12.21
8	4	11.08	10.95	12.04

Cuadro 18. Análisis de varianza de la primera evaluación de longitud parte aérea.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	2.183	7	0.312	2.214	0.0694 ^{ns}
Trat	2.183	7	0.312	2.214	0.0694 ^{ns}
Error	3.380	24	0.141		
Total	5.563	31			
CV (%)	3.44				

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 19. Prueba Tukey de la primera evaluación de longitud parte aérea.

Tratamiento	Media (cm)	E.E.	Sig.
4	11.39	0.19	a
8	11.35	0.19	a
7	11.22	0.19	a
5	11.05	0.19	a
6	11.02	0.19	a
2	10.77	0.19	a
3	10.73	0.19	a
1	10.68	0.19	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$).

Cuadro 20. Análisis de varianza de la segunda evaluación de longitud parte aérea.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	0.716	7	0.102	0.366	0.9129 ^{ns}
Trat	0.716	7	0.102	0.366	0.9129 ^{ns}
Error	6.704	24	0.279		
Total	7.421	31			
CV (%)	4.63				

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 21. Prueba Tukey de la segunda evaluación de longitud parte aérea.

Tratamiento	Media (cm)	E.E.	Sig.
4	11.63	0.26	a
1	11.58	0.26	a
2	11.49	0.26	a
8	11.49	0.26	a
6	11.44	0.26	a
7	11.35	0.26	a
5	11.34	0.26	a
3	11.12	0.26	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$).

Cuadro 22. Análisis de varianza de la tercera evaluación de longitud parte aérea.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	11.860	7	1.694	2.666	0.0343*
Trat	11.860	7	1.694	2.666	0.0343*
Error	15.255	24	0.636		
Total	27.115	31			
CV (%)	3.86				

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 23. Prueba Tukey de la tercera evaluación de longitud parte aérea.

Tratamiento	Media (cm)	E.E.	Sig.
2	13.43	0.4	a
4	13.41	0.4	a b
1	12.32	0.4	a b
8	12.28	0.4	a b
5	12.25	0.4	a b
6	12.18	0.4	a b
7	12.08	0.4	a b
3	11.56	0.4	b

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$).

Cuadro 24. Datos evaluados de longitud radicular.

Tratamiento	Repetición	1° Evaluación	2° Evaluación	3° Evaluación
1	1	4.10	3.55	3.14
1	2	5.11	3.74	4.30
1	3	3.91	3.74	3.48
1	4	4.04	3.80	3.93
2	1	4.70	3.55	3.64
2	2	4.06	3.73	3.44
2	3	3.66	4.06	4.19
2	4	3.89	4.09	4.05
3	1	4.59	3.83	4.80
3	2	3.43	4.26	4.25
3	3	3.54	4.01	3.68
3	4	4.31	4.10	3.79
4	1	4.01	3.39	3.55
4	2	3.55	4.33	4.01
4	3	3.41	3.36	3.68
4	4	3.89	4.26	3.94
5	1	3.19	3.43	3.21
5	2	3.19	3.75	3.34
5	3	3.95	4.46	4.53
5	4	4.58	4.18	4.11
6	1	3.68	4.00	3.49
6	2	3.55	3.55	3.88
6	3	3.73	3.15	3.76
6	4	4.16	4.01	4.29
7	1	3.98	3.31	3.46
7	2	3.51	3.58	3.46
7	3	3.23	3.78	4.20
7	4	3.78	3.79	3.03
8	1	3.35	4.28	3.20
8	2	3.45	3.60	3.91
8	3	4.01	4.75	4.28
8	4	4.04	3.51	4.11

Cuadro 25. Análisis de varianza de la primera evaluación de longitud radicular.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	1.463	7	0.209	1.002	0.4542 ^{ns}
Trat	1.463	7	0.209	1.002	0.4542 ^{ns}
Error	5.006	24	0.209		
Total	6.469	31			
CV (%)	11.83				

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 26. Prueba Tukey de la primera evaluación de longitud radicular.

Tratamiento	Media (cm)	E.E.	Sig.
1	4.29	0.23	a
2	4.08	0.23	a
3	3.97	0.23	a
6	3.78	0.23	a
5	3.73	0.23	a
4	3.72	0.23	a
8	3.72	0.23	a
7	3.63	0.23	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p < 0.05$).

Cuadro 27. Análisis de varianza de la segunda evaluación de longitud radicular.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	0.761	7	0.109	0.744	0.6379 ^{ns}
Trat	0.761	7	0.109	0.744	0.6379 ^{ns}
Error	3.508	24	0.146		
Total	4.269	31			
CV (%)	9.95				

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 28. Prueba Tukey de la segunda evaluación de longitud radicular.

Tratamiento	Media (cm)	E.E.	Sig.
3	4.05	0.19	a
8	4.04	0.19	a
5	3.96	0.19	a
2	3.86	0.19	a
4	3.84	0.19	a
1	3.71	0.19	a
6	3.68	0.19	a
7	3.62	0.19	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$).

Cuadro 29. Análisis de varianza de la tercera evaluación de longitud radicular.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo	0.771	7	0.11	0.532	0.8013 ^{ns}
Tratamiento	0.771	7	0.11	0.532	0.8013 ^{ns}
Error	4.968	24	0.207		
Total	5.739	31			
CV (%)	11.92				

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 30. Prueba Tukey de la tercera evaluación de longitud radicular.

Tratamiento	Media (cm)	E.E.	Sig.
3	4.13	0.23	a
8	3.88	0.23	a
6	3.86	0.23	a
2	3.83	0.23	a
5	3.80	0.23	a
4	3.80	0.23	a
1	3.71	0.23	a
7	3.54	0.23	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$).

Cuadro 31. Datos evaluados de la biomasa.

Tratamiento	Repetición	1° Evaluación	2° Evaluación	3° Evaluación
1	1	20.58	21.20	25.70
1	2	20.40	21.20	23.20
1	3	20.95	23.50	27.80
1	4	18.86	20.30	22.60
2	1	21.33	22.30	26.00
2	2	18.43	21.60	24.40
2	3	18.65	20.50	24.50
2	4	19.41	22.50	27.90
3	1	19.53	22.60	26.50
3	2	17.62	21.40	21.40
3	3	18.70	22.10	25.90
3	4	18.23	21.70	26.10
4	1	21.34	23.60	32.10
4	2	17.95	21.00	22.10
4	3	21.43	20.50	23.00
4	4	22.06	23.70	25.10
5	1	19.26	21.00	28.60
5	2	21.91	22.70	28.50
5	3	19.35	20.30	30.70
5	4	20.54	22.50	24.20
6	1	20.86	21.60	26.50
6	2	22.20	21.70	21.50
6	3	20.10	22.50	26.30
6	4	21.38	23.40	28.80
7	1	23.46	24.20	26.20
7	2	19.99	18.70	23.70
7	3	22.16	20.90	24.90
7	4	20.13	21.80	24.70
8	1	21.45	23.10	24.10
8	2	20.09	21.80	28.10
8	3	19.93	20.30	23.80
8	4	22.48	24.70	26.60

Cuadro 32. Análisis de varianza de la primera evaluación de la biomasa.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	0.00003	7	0.000004	2.24	0.0667 ^{ns}
Trat	0.00003	7	0.000004	2.24	0.0667 ^{ns}
Error	0.00004	24	0.000002		
Total	0.00007	31			
CV (%)	6.333				

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 33. Prueba Tukey de la primera evaluación de la biomasa.

Tratamiento	Media (g)	E.E.	Sig.
7	21.43	0.00064	a
6	21.14	0.00064	a
8	20.99	0.00064	a
4	20.70	0.00064	a
5	20.26	0.00064	a
1	20.20	0.00064	a
2	19.46	0.00064	a
3	18.52	0.00064	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$).

Cuadro 34. Análisis de varianza de la segunda evaluación de la biomasa.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	0.000004	7	0.000001	0.29	0.9499 ^{ns}
Trat	0.000004	7	0.000001	0.29	0.9499 ^{ns}
Error	0.00005	24	0.000002		
Total	0.000054	31			
CV (%)	6.566				

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 35. Prueba Tukey de la segunda evaluación de la biomasa.

Tratamiento	Media (g)	E.E.	Sig.
8	22.47	0.00072	a
6	22.30	0.00072	a
4	22.20	0.00072	a
3	21.95	0.00072	a
2	21.73	0.00072	a
5	21.62	0.00072	a
1	21.55	0.00072	a
7	21.40	0.00072	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$).

Cuadro 36. Análisis de varianza de la tercera evaluación de la biomasa.

FV	SC	GL	CM	F	P-valor
Modelo.	0.000029	7	0.000004	0.59	0.7609 ^{ns}
Trat	0.000029	7	0.000004	0.59	0.7609 ^{ns}
Error	0.00017	24	0.000007		
Total	0.0002	31			
CV (%)	10.381				

*: diferencia estadística significativa; ns: no significativa; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 37. Prueba Tukey de la tercera evaluación de la biomasa.

Tratamiento	Media (g)	E.E.	Sig.
5	28.00	0.00133	a
6	25.77	0.00133	a
2	25.70	0.00133	a
8	25.65	0.00133	a
4	25.58	0.00133	a
3	24.98	0.00133	a
7	24.88	0.00133	a
1	24.82	0.00133	a

Letras distintas presentan significancia estadística para ($p \leq 0.05$).

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 09. Implementación de los baldes de plástico



Figura 10. Recolección del aserrín descompuesto para el sustrato.



Figura 11. Semillas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)



Figura 12. Sembrado de semillas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en el sustrato.



Figura 13. Germinación de semillas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)



Figura 14. Medición de la altura de parte aérea antes de la aplicación.



Figura 15. Etiquetado de los baldes con los respectivos tratamientos



Figura 16. Todos los tratamientos y repeticiones etiquetados.



Figura 17. Fertilizante inorgánico JBL PROSCAPE.



Figura 18, Dosificación de los tratamientos con NPK.



Figura 19. Dilución en agua de las dosis de NPK.



Figura 20. Aplicación de las dosis de los tratamientos en las plántulas.



Figura 21. Evaluación de variables biométricas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)



Figura 22. Medición de la longitud de parte aérea de plántulas

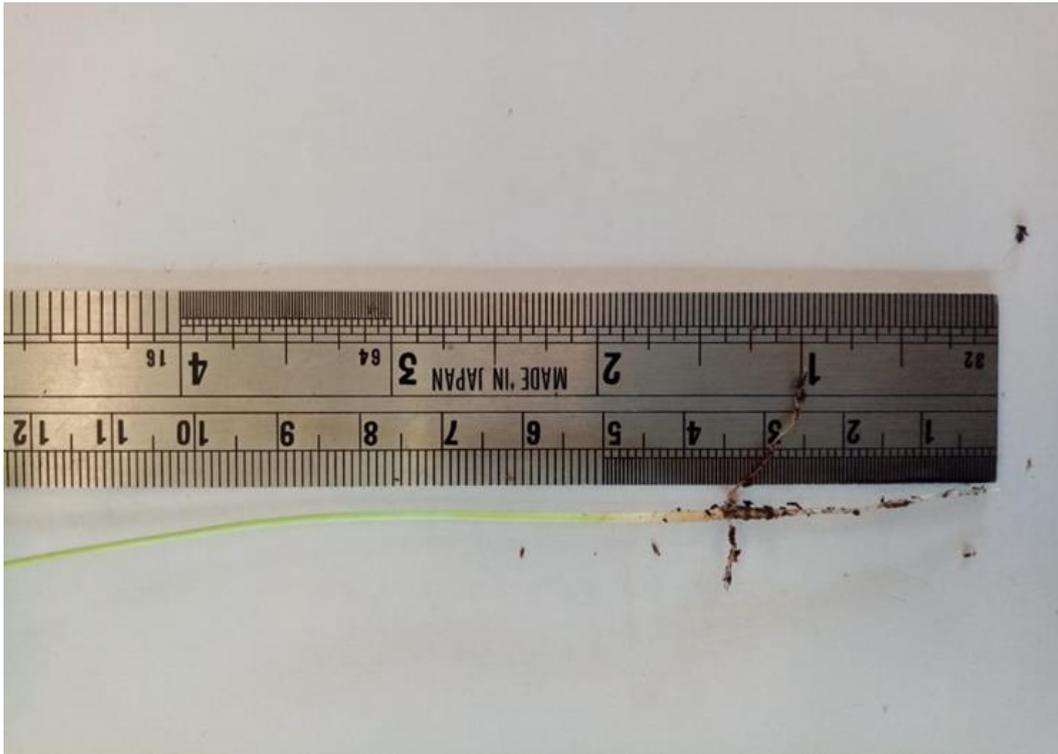


Figura 23. Medición de la longitud de la raíz de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)



Figura 24. Plántulas de evaluadas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)



Figura 25. Plántulas frescas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en la estufa.



Figura 26. Plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) luego de pasar 72 horas a 80° C



Figura 27. Evaluación del peso seco (biomasa) de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)



Figura 28. Pesado de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado).



Figura 29. Medición de la temperatura y la humedad.



Figura 30. Plántulas con puntas muertas por deficiencia de fósforo.