

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**PRODUCCIÓN DIFERENCIAL DE BIOMASA EN PLANTONES DE CEDRO
COLORADO (*Cedrela odorata* L.) BAJO GRADIENTES DE LUZ Y
HUMEDAD DEL SUELO**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN
FORESTALES**

Presentado por:

LORENA DELGADO TAPULLIMA

2014



T
FOR
Delgado Tapullima, Lorena

Producción diferencial de Biomasa en plántones de Cedro Colorado (*Cedrela odorata* L.) Bajo gradientes de luz y humedad del suelo

81 páginas; 23 cuadros; 52 figuras.; 38 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. en Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables

- | | | |
|--------------------|--------------|---------------|
| 1. CEDRELA ODORATA | 2. BIOMASA | 3. LUMÍNICOS |
| 4. HUMEDAD | 5. PLANTONES | 6. GRADIENTES |



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 02 de diciembre del 2014, a horas 9:00 a.m. en la Sala de Grados de la UNAS, para calificar la Tesis titulada:

“PRODUCCIÓN DIFERENCIAL DE BIOMASA EN PLANTONES DE CEDRO COLORADO (*Cedrela odorata* L.) BAJO GRADIENTES DE LUZ Y HUMEDAD DEL SUELO”

Presentado por la Bachiller: **LORENA DELGADO TAPULLIMA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, la sustentante queda apta para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 03 de diciembre de 2014.

Ing. M.Sc. **LADISLAO RUIZ RENGIFO**
PRESIDENTE

Ing. **EDILBERTO DÍAZ QUINTANA**
VOCAL

Ing. **RAUL ARAUJO TORRES**
VOCAL



Ing. M.Sc. **LUIS A. VALDIVIA ESPINOZA**
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que fueron y son el motivo de seguir luchando cada día por mis sueños y metas planteadas.

A mi mamá **Judith Tapullima Nube**;

Soy tu amor hecho gente,

Soy tu rosa hecha vida

Soy el fruto de tu belleza

y contemplo en tu mirada

una luz renovada

que ilumina mi existencia.

¡GRACIAS MAMÁ!

A mi papa **Héctor F. Delgado Pimentel**; de quien conozco el amor, sacrificio, perseverancia y la paciencia, paciencia en la cual la tuvo para mi desde el día en que nació. "Cuando un padre se lamenta que su hijo se encamina por la senda del mal, ¿Qué debe hacer? Amarlo más que nunca" (El Talmud).

Quienes con su ejemplo me formaron y me supieron inculcar la dedicación, la confianza en mi misma, la honestidad, la rectitud y perseverancia al estudio y trabajo.

A mis abuelitos Georgina Nube Tutusima (Q.E.P.D), Luisa Pimentel Chota (Q.E.P.D) y a mi abuelito al cual quiero muchísimo Belisario Tapullima Salas, gracias por todos los bellos momentos.

A mis hermanos: Rina S. Delgado Tapullima, Fernando Delgado Tapullima, Arthur J. Delgado Tapullima y Alfredo Delgado Tapullima; por ser el motivo de mi lucha día a día, por ofrecerme momentos de felicidad por el aliento y apoyo desinteresado, al compañero y amigo Jorge Pinedo, a todos ellos por el amor y el apoyo incondicional en mi formación profesional

A mis amigos de colegio etapa importante en mi vida; Karina Arévalo Saldaña, Rocío del Pilar Nicolás Meza, Luis Antonio Ramírez Marrache; a mis amigos y compañeros de la Universidad que hasta la actualidad me brindan su amistad desinteresadamente y son parte importante en mi vida; la amistad es el regalo más preciado de Dios, a Adrián Farro Paredes, Milagros del Carmen Bernales Muñoz, Jaqueline Velasco Caccpa, Ingrid Rada Lloclla, Lady Flores Lozano, Silvia Sánchez Saldaña, Rocío Muñoz Sisniegas, Nataly Meredit Mas Cieza, Al Yohan Astete, Víctor Najar Rivadeneyra y Dayvis Castillo Pérez; a mis amigos de trabajo los estimo mucho por sus enseñanzas y consejos Iván M. Campos Verdi, Levi Trujillo Salas y Luis Ordoñez Tapia.

A Sergio Guillen, por enseñarme a través de la danza la puntualidad ante todo, el esfuerzo, las ganas y dedicación en todo lo que

hacemos; porque para los que practican el arte conocemos muy bien un dicho "Nadie es indispensable, todos somos reemplazables".

A mis amigos hermanos, en especial a Yonel Celis Guerra y al Sr. Iván López Pizarro; quienes me apoyaron en momentos difíciles de mi vida, cuando mi voluntad y los ánimos se derrumbaban estuvieron allí para levantarme y alentarme; a Luz Marina Yankán Fasabi, Renato Ríos Viñas, Amparo Pérez, Katy Lanares Díaz, Maricarmen Villanueva Sandoval, Yessenia Córdoba Sangama, Jarry Tapia; gracias a todos ustedes por enseñarme el verdadero valor de la amistad y a pesar de las peleas y dificultades que podamos tener, espero que siempre nos recordemos y mantengamos siempre unidos esta amistad. Los quiero...

AGRADECIMIENTO

A Dios; por permitirme seguir viendo cada día su inmenso amor.

Durante mi formación profesional, personal y elaboración de la presente investigación he recibido el valioso consejo y apoyo incondicional de varias personas a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y su plana de catedráticos, por la oportunidad brindada de estudiar en esta institución y por transmitir sus conocimientos y/o herramientas para seguir con mi formación profesional.

Sin embargo, haciendo un análisis objetivo me muestra inmediatamente la magnitud del aporte que no hubiera logrado sin el apoyo de personas que me han facilitado este trabajo para que llegue a un buen final. Así que considero que este es el mejor momento para poder expresar un sincero agradecimiento a todos aquellos que formaron parte directa e indirectamente en el desarrollo de esta tesis.

Al Blgo. Eneque Armando Poicon; profesional que brindó las recomendaciones durante la ejecución de la investigación.

Al Ing. Mg. Sc. Luis Alberto Valdivia Espinoza; catedrático asesor que brindó su tiempo y conocimiento durante el periodo de la investigación.

Al Ing. Mg. Sc. Rafael Robles; catedrático que brindó apoyo en el análisis estadístico de las variables registradas en la investigación.

Al Ing. Frits Palomino Vera; persona que de alguna manera brindó recomendaciones sobre el análisis de términos en la investigación.

A los señores: Leyden Hermógeles Fuchs Donayre y Mario Soza Shapiama; técnicos del Área de Laboratorio y Taller de aprovechamiento y Maquinaria Forestal y al Sr. Carlos Segundo Cárdenas Shupingagua; técnico del vivero Forestal El Silvicultor de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, personas sencillas, humildes y con alto valor en conocimiento que hicieron posible este trabajo.

A todos, porque la lista puede continuar y me llevaría un documento igual al que ahora presento para agradecer con detalle cada momento de mi vida, sin embargo sea este trabajo un pequeño detalle para recordarlos.

¡Muchas Gracias!

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Biomasa de plántonos forestales.....	4
2.2. Efecto de la luz en el crecimiento de plántulas de shihuahuaco (<i>Dipteryx micrantha</i> Harms) transplantadas a sotobosque, claros y plantaciones.....	5
2.3. Interacción luz-agua en el crecimiento de plantas.....	7
2.4. Capacidad de campo.....	11
2.5. Descripción de la especie cedro colorado (<i>Cedrela odorata</i> L.)	13
2.5.1. Taxonomía (CRONQUIST, 1981)	13
2.5.2. Descripción botánica.....	13
2.5.3. Observaciones para el reconocimiento de la especie	15
2.5.4. Distribución y hábitat.....	15
2.5.5. Fenología	16
2.5.6. Estado de conservación.....	16
2.5.7. Usos.....	16

2.6.	Antecedentes de investigación en producción de biomasa	17
2.6.1.	Biomasa	17
2.6.2.	Producción total de biomasa	18
2.6.3.	Relación área foliar/biomasa total (AF/BT).....	18
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1.	Lugar de ejecución	21
3.1.1.	Ubicación	21
3.1.2.	Condiciones climáticas.....	21
3.1.3.	Zona de vida	21
3.2.	Materiales	22
3.2.1.	Material genético.....	22
3.2.2.	Sustratos.....	22
3.2.3.	Materiales, herramientas y equipos	22
3.3.	Metodología.....	24
3.3.1.	Etapa de vivero	24
3.3.2.	Cuantificación de la producción de biomasa de hojas, tallos y raíces en plantones de <i>Cedrela</i> <i>odorata</i> L.....	29
3.3.3.	Cálculo de la producción total de biomasa en plantones de <i>Cedrela odorata</i> L.....	30

3.3.4. Determinación de la relación área foliar/biomasa total en plantones de <i>Cedrela odorata</i> L.	30
3.3.5. Diseño estadístico	31
3.3.6. Modelo estadístico	33
3.3.7. Variables dependientes.....	34
3.3.8. Variables independientes.....	35
IV. RESULTADOS.....	36
4.1. Cuantificación de la producción de biomasa de hojas, tallos y raíces en plantones de <i>Cedrela odorata</i> L.	36
4.1.1. Biomasa de hojas.....	36
4.1.2. Biomasa de tallo.....	42
4.1.3. Biomasa radicular	48
4.2. Producción total de biomasa en plantones de <i>Cedrela odorata</i> L. bajo cuatro niveles de luz y dos niveles de humedad del suelo	54
4.3. Relación biomasa aérea/biomasa subterránea (BA/BS).....	60
4.4. Relación área foliar/biomasa total (AF/BT) ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$).....	62
V. DISCUSIÓN	64
5.1. Cuantificación de la producción de biomasa de hojas, tallos y raíces en plantones de <i>Cedrela odorata</i> L.	64

5.2.	Producción total de biomasa producida en plantones de <i>Cedrela odorata</i> L. bajo cuatro niveles de luz y dos niveles de humedad del suelo	66
5.3.	Biomasa aérea/biomasa subterránea (BA/BS).....	67
5.4.	Relación área foliar/biomasa total (AF/BT) (cm ² .g ⁻¹).....	68
VI.	CONCLUSIONES.....	71
VII.	RECOMENDACIONES	72
VIII.	ABSTRACT	73
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	ANEXO.....	81

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Incidencias lumínicas para la determinación de los porcentajes en unidades Lux.....	24
2. Porcentaje de incidencia de luz.....	25
3. Detalle de las dosis (niveles) de abono orgánico.....	25
4. Tratamientos del experimento factorial.....	32
5. Fuentes de variación y grados de libertad del experimento factorial.....	34
6. Análisis de varianza para la biomasa de hojas correspondiente a cada mes de evaluación, con un nivel de significancia del 5%.	37
7. Análisis del efecto simple entre intensidad lumínica en cada nivel de humedad del suelo como influencia en la biomasa de hoja lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).	38
8. Análisis del efecto simple entre el nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica como influencia en la biomasa de hoja lograda al quinto mes de evaluación.	40
9. Análisis de Varianza para la biomasa de tallo correspondiente a cada mes de evaluación, con un nivel de significancia del 5%.	43

10. Análisis del efecto simple entre los niveles de intensidad lumínica en cada nivel de humedad del suelo como influencia en la biomasa de tallo lograda al quinto mes de evaluación.	44
11. Análisis del efecto simple entre el nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica como influencia en la biomasa de tallo lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).	46
12. Análisis de varianza para la biomasa radicular correspondiente a cada mes de evaluación, con un nivel de significancia del 5%.	49
13. Análisis del efecto simple entre nivel de intensidad lumínica en cada nivel de humedad del suelo como influencia en la biomasa radicular lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).	50
14. Análisis del efecto simple entre el nivel de humedad del suelo en cada tipo de sustrato como influencia en la biomasa radicular lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).	52
15. Análisis de varianza para la producción total de biomasa correspondiente a cada mes de evaluación, con un nivel de significancia del 5%.	55
16. Análisis del efecto simple entre los niveles de intensidad lumínica en cada nivel de humedad del suelo como influencia en la producción de biomasa total lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).	56

17. Análisis del efecto simple entre el nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica en la producción de biomasa total lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).....	58
18. Datos de la primera evaluación (primer mes).....	85
19. Datos de la segunda evaluación (segundo mes).....	86
20. Datos de la tercera evaluación (tercer mes).....	87
21. Datos de la cuarta evaluación (cuarto mes).....	88
22. Datos de la quinta evaluación (quinto mes).....	89
23. Área foliar en las cinco evaluaciones.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Croquis del experimento.	33
2. Biomasa de hoja (g) lograda por cada nivel de humedad del suelo en los cuatro niveles de intensidad lumínica.	39
3. Biomasa de hoja (g) lograda por cada nivel de intensidad lumínica en dos niveles de humedad del suelo.	41
4. Medias de biomasa de hojas en ocho tratamientos de estudio, como producto de la interacción de cuatro niveles de intensidad lumínica y dos niveles de humedad del suelo.	42
5. Biomasa de tallo (g) lograda por cada nivel de humedad del suelo en los cuatro niveles de intensidad lumínica.	45
6. Biomasa de tallo (g) lograda por cada nivel de intensidad lumínica en dos niveles de humedad del suelo.	47
7. Medias de biomasa de tallo en los ocho tratamientos de estudio, como producto de la interacción del nivel de intensidad de luz y humedad del suelo.	48
8. Biomasa radicular (g) lograda en cada nivel de humedad del suelo y niveles de intensidad lumínica.	51

9.	Biomasa radicular (g) lograda por efecto del nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica.	53
10.	Medias de biomasa radicular en los ocho tratamientos de estudio, como producto de la interacción del nivel de intensidad lumínica y niveles de humedad del suelo.	54
11.	Producción total de biomasa (g) lograda por cada nivel de humedad del suelo y cuatro niveles de intensidad lumínica.	57
12.	Producción total de biomasa (g) lograda por nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica.	59
13.	Producción de biomasa total en ocho tratamientos, como producto de la interacción de la intensidad lumínica y humedad del suelo.	59
14.	Relación biomasa aérea-biomasa radicular en ocho tratamientos por efecto de la interacción entre nivel de intensidad lumínica (4, 24, 44 y 64 %) y nivel de humedad del suelo (40 - 60 % y 80 - 100 %) a la quinta evaluación.	60
15.	Contenido de la biomasa radicular y biomasa aérea (T-H) en ocho tratamientos a la quinta evaluación.	61
16.	Porcentaje del contenido de biomasa radicular de la biomasa total.	61
17.	Proporción de área foliar y biomasa total de los ocho tratamientos evaluados al quinto periodo.	62

18. Índice de la relación área foliar – biomasa total en ocho tratamientos de la quinta evaluación.....	63
19. Mapa de ubicación del experimento.....	82
20. Precipitación y humedad relativa en el periodo de investigación.	84
21. Luxímetro para la determinar la iluminación (Lux).....	91
22. Acondicionamiento de sombra a las camas de cría con el Luxímetro.	91
23. Acondicionamiento de camas de cría con tinglado de malla raschel de acuerdo a las intensidades de luz.	92
24. Modelo de cama de cría realizado para la colocación de los plantones de cedro.....	92
25. Preparación del sustrato para el llenado de las bolsas.	93
26. Llenado de las bolsas.....	93
27. En total se llenaron 480 bolsas para la evaluación.	94
28. Traslado de las bolsas llenas a las camas de cría.	94
29. Camas de cría acondicionadas con las bolsas de sustrato y malla rashel.	95
30. Saturación del sustrato para la determinación de la capacidad de campo.	95

31. Peso de una muestra de 100 g del sustrato después de 48 horas de haber saturado el suelo.....	96
32. Colocación de la muestra a estufa a una temperatura de 105 °C.....	96
33. Recolección de las plántulas de regeneración natural de <i>Cedrela odorata</i> L.....	97
34. Repique de las plántulas de <i>Cedrela odorata</i> L. a las bolsas de sustratos.....	97
35. Labores culturales; control de malezas.....	98
36. Riego a los plantones de <i>Cedrela odorata</i> L. según la capacidad de campo determinado.....	98
37. Evaluación durante cinco meses, se tomaron muestras de 10 plantones por tratamiento al azar.....	99
38. Extracción de plantones de <i>Cedrela odorata</i> L. de las bolsas, sin alterar las raíces.....	99
39. Lavado de la raíz en los plantones de <i>Cedrela odorata</i> L.....	100
40. Seccionamiento de los plantones de <i>Cedrela odorata</i> L. a la altura del cuello de la raíz y las hojas, para obtener valores del peso de tallos, hojas y raíces.....	100
41. Determinación del área foliar de los plantones de <i>Cedrela odorata</i> L.....	101

42. Peso de las partes seccionadas de los plantones para determinar el peso fresco de cada uno de ellos.....	101
43. Empaque de las secciones de los plantones de <i>Cedrela odorata</i> L. para luego ser llevadas a estufa.....	102
44. Colocación de las muestras a estufa con una temperatura de 70 °C por 48 horas.....	102
45. Retiro de muestras de la estufa para determinar el peso seco de cada plantón.....	103
46. Muestras en el desecador al momento de ser retirado de la estufa, para evitar la captación de la humedad.....	103
47. Peso de las muestras para determinar el peso seco de los plantones de <i>Cedrela odorata</i> L.....	104
48. Determinación del peso seco de las hojas de los plantones de <i>Cedrela odorata</i> L.....	104
49. Diferencias en tamaños de los plantones al cuarto mes de evaluación.....	105
50. Sr. Juan Bernales Shapiama, dueño de la parcela de donde se obtuvo la regeneración natural de <i>Cedrela odorata</i> L.....	105
51. Recolección de muestras botánicas para la determinación de la especie.....	106
52. Determinación del pH en el sustrato utilizado.....	106

RESUMEN

La importancia económica, ecológica y ornamental que tiene *Cedrela odorata* L., urge tomar medidas para su conservación, debiendo asumirse la responsabilidad de encontrar diversas soluciones para evitar su posible extinción. Se planteó entonces la investigación con el propósito de evaluar la producción de biomasa en plántulas de *Cedrela odorata* L. bajo gradientes lumínicos e hídricos del suelo. Se realizó en el Vivero Forestal de la Facultad de Recursos Naturales y Renovables "Las Heliconias" y el Laboratorio de Certificación de Semillas Forestales, ambos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; establecido bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 4A x 2B, el factor A con intensidades de luz (4%, 24%, 44% y 64%), y el factor B con la humedad del suelo (40 – 60% y 80 – 100%), y se midieron variables que representarían la producción de biomasa. A los cinco meses, hubo mayor producción de biomasa en las hojas crecidas con menor luminosidad (4%), indiferentemente al nivel de humedad del suelo (1.03 g y 1.21 g), la mejor producción de biomasa en el tallo se logra con suelos entre 80 – 100% de humedad y con la mayor luminosidad (2.73 g por planta); la producción de biomasa radicular (1.64 g) y biomasa total (4.84 g) se obtuvo en plántulas que recibieron mayor luminosidad (64%) y mayor humedad del suelo (80 – 100%); mejor relación entre la biomasa aérea/subterránea se logró con la intensidad lumínica alta y la mayor relación área foliar/biomasa total se logró con más luminosidad y humedad del suelo.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos siglos, la actividad humana ha modificado muchos bosques tropicales creando paisajes dominados por la agricultura o por el desarrollo urbano (BRADSHAW *et al.*, 2010). Esta transformación ha generado dificultades dado que no solo se ha perdido biodiversidad, sino también porque ha afectado al suministro de muchos productos forestales y servicios ecosistémicos valiosos. De acuerdo a estudios del Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y Contaminación del Aire (PROCLIM), la superficie total deforestada en la Amazonía peruana al año 2000 asciende aproximadamente a 7.2 millones de hectáreas, conservándose aún como bosque alrededor de 69 millones de hectáreas, equivalentes al 90% del bosque original. Asimismo, indica que la velocidad de deforestación para la década 1990 - 2000 fue de 150 mil hectáreas al año, menor a las 260 mil hectáreas al año registradas en la década del 80.

Por su parte, DOUROJEANNI (1982) sostiene que el agotamiento de las especies codiciadas de los lugares más accesibles, como bordes de ríos, quebradas y carreteras, propició la explotación de otras especies (*Ceiba*, *Virola*, *Cedrelinga*, *Amburana*, etc.) con características para aserrío y laminado, que pronto se hicieron valiosas.

Sin embargo, la pérdida y la degradación generalizadas de los bosques han creado nuevas oportunidades para la regeneración natural, cuyo éxito es considerado como la clave para el manejo sostenible de los bosques tropicales. Asegurar el reemplazo de individuos aprovechados ha sido una preocupación constante para los ecólogos y especialistas forestales, con el fin de mantener la estructura y composición de los bosques (PROYECTO DE MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE (BOLFOR), 2001). En tal sentido, las propuestas silvícolas para *Cedrela odorata* L. se basan en abrir lo suficiente el dosel como para estimular el crecimiento de las plántulas, modificando la disponibilidad hídrica y lumínica ambiental, siendo dos factores críticos para el crecimiento de las mismas luego del aprovechamiento forestal.

En tal sentido, debido a la importancia económica y ecológica que tiene la especie Cedro colorado (*Cedrela odorata* L); urge tomar medidas para su conservación, debiendo asumirse la responsabilidad de encontrar diversas soluciones para evitar su posible extinción.

La presente investigación evaluó la producción de biomasa en plantones de *Cedrela odorata* L. en gradientes lumínicos e hídricos del suelo, a lo largo de una temporada de crecimiento bajo condiciones controladas de luz y riego.

La hipótesis asegura que la interacción de diferentes gradientes de luz y humedad del suelo, influyen en la producción de biomasa en plantones de *Cedrela odorata* L. durante un periodo de su crecimiento.

Asimismo, con la finalidad de obtener resultados deseados en la investigación, se propuso los siguientes objetivos:

General

- Calcular la producción total de biomasa en plantones de *Cedrela odorata* L. bajo cuatro niveles de luz y dos niveles de humedad del suelo (sustrato).

Específicos

- Cuantificar la producción de biomasa de hojas, tallos y raíces en plantones de *Cedrela odorata* L. bajo cuatro niveles de luz y dos niveles de humedad del suelo (sustrato).
- Determinar la relación de biomasa aérea/subterránea (BA/BS) (g.g^{-1}) en plantones de *Cedrela odorata* L., bajo cuatro niveles de luz y dos niveles de humedad del suelo (sustrato).
- Determinar la relación área foliar/biomasa total en plantones de *Cedrela odorata* L. bajo cuatro niveles de luz y dos niveles de humedad del suelo (sustrato).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Biomasa de plántulas forestales

Investigaciones realizadas determinaron que el peso seco (biomasa) o el peso en verde de plántulas, tiene gran correlación en la sobrevivencia en campo. Para mayor consistencia en los resultados se sugiere utilizar el peso seco, dado que el peso en verde tiene gran variación de agua en los tejidos dentro de la misma especie (VERA-CASTILLO, 1995). El peso seco se correlaciona con la sobrevivencia en campo con la misma consistencia que el diámetro del tallo (THOMPSON, 1985). También, el diámetro está fuertemente correlacionado con el peso de la parte aérea y del sistema radicular (MEXAL y LANDIS, 1990). El peso seco también es un indicador efectivo cuando se relaciona la parte aérea con el sistema radicular.

Estudios realizados con *Pinus pseudostrobus* y *Pinus douglasiana*, indican que las características óptimas de la planta ideal para reforestaciones, deben tener una altura de 15 - 20 cm, un diámetro del cuello de la raíz de 3 a 4 mm, una proporción parte aérea: sistema radical de 1.5 - 2:1 y una relación de materia seca aérea: materia seca radical de 2:1 (GARCÍA, 1996).

Para especies de crecimiento de hábito cespitoso como *Pinus monte zumae* y *Pinus michoacana* se recomienda una altura de 8 a 10 cm,

diámetro de collar de 5 a 8 mm, longitud de la raíz de 12 a 15 cm, una relación altura/diámetro de collar de 8 a 10 y una relación de peso seco raíz/peso seco del tallo de 0.15 a 0.50; la poda de raíz y/o de la parte aérea, el aumento del área de crecimiento y la siembra temprana mejoran la relación peso raíz/peso tallo (GARCÍA, 2002).

2.2. Efecto de la luz en el crecimiento de plántulas de shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms) transplantadas a sotobosque, claros y plantaciones

En el bosque húmedo tropical en general, la luz es uno de los factores que más afecta la supervivencia y crecimiento de las plántulas (también llamadas regeneración natural). Sin embargo, los niveles de luz en el sotobosque donde se encuentran las plántulas son muy bajos, variando entre 0.5 - 30% de luz abierta. La mayoría de las veces los niveles de luz se encuentran alrededor del 2% (Canham, 1989, Chazdon & Fetcher, 1984, Chazdon, 1988, Clark *et al.*, 1993, Smith *et al.*, 1992, Osunkoya *et al.*, 1994, Zagt, 1997; citados por ROMO, 2005). Sólo en los claros del bosque los niveles de luz pueden llegar a 10 - 30% de luz (Canham, 1989, Osunkoya *et al.*, 1993, Osunkoya *et al.*, 1994, Van der Meer, 1998; citados por ROMO, 2005) permitiendo un considerable incremento en el crecimiento de los estadios jóvenes. Sin embargo los claros se cierran o cubren en pocos meses (42 - 64 meses) (De Steven, 1988, Brokaw & Whitmore, 1992, Van der Meer, 1998, Fraver *et al.*, 1998; citados por ROMO, 2005) retornando a niveles de luz similares a los del bosque circundante.

No solo el tiempo de los claros es corto sino también su frecuencia. En Cocha Cashu, el promedio de mortalidad de árboles es de 1.6% (Gentry & Terborgh, 1990; citados por ROMO, 2005) sugiriendo que las oportunidades para que los árboles (o plántulas) crezcan más que el promedio debido a la luz producida por un claro, son en realidad raras. Así en el sotobosque, un ambiente de muy poca luz, el crecimiento de las plántulas es muy lento con eventos de crecimiento mayor sólo según la frecuencia de caídas de árboles y la existencia de claros de luz. En consecuencia, el crecimiento de un individuo antes de llegar a ser un árbol adulto del dosel es extremadamente lento y puede llegar a cientos de años en muchas especies de árboles (Canham, 1989; citado por ROMO, 2005), especialmente aquellas de maderas duras. Para el caso de *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell. por ejemplo, una especie con genérica y muy similar a *Dipteryx micrantha* Harms "shihuahuaco", la edad de una plántula de 4 cm de diámetro se calcula que es de 72 años (Clark & Clark, 1992; citados por ROMO, 2005).

El estudio anteriormente mencionado, que además incluyó otras 5 especies de árboles tropicales, demostró que la existencia de individuos en un bosque tropical es influenciada principalmente por la supervivencia y crecimiento cuando las plantas tienen menos de 4 cm de diámetro. Es entonces muy importante estudiar y comprender los factores que las afectan durante esta edad, especialmente el factor luz.

En contraste con los ambientes naturales, la luz en ambientes deforestados y plantaciones forestales tiene niveles significativamente

mayores. Aunque hay especies que no crecen en plantaciones con la misma morfología o cualidades de la madera que los que crecen en bosques naturales, lo cual no es el caso de *Dipteryx*, tanto *D. panamensis* (Lois *et al.*, 2003; citados por ROMO, 2005) como *D. odorata* (Volpato *et al.*, 1973; citados por ROMO, 2005), puesto que se reportan árboles “normales” en plantaciones.

2.3. Interacción luz-agua en el crecimiento de plantas

La luz y el agua son dos factores que co-varían e interaccionan, particularmente en ambientes secos, por tanto las respuestas de las plantas a la luz van a estar muy afectadas por la disponibilidad hídrica (Valladares y Pearcy, 1997; citados por VALLADARES, 2004). Los gradientes de luz y de agua, y consiguientemente las respuestas vegetales asociadas, se dan tanto dentro del follaje de una planta individual, como en el dosel de un bosque o en los transectos claro-sotobosque de un ecosistema (Niinemets y Valladares, 2004; citados por VALLADARES, 2004).

El estrés hídrico, como cualquier otro estrés, limita la capacidad de la planta de emplear fotosintéticamente la luz que absorbe. Por tanto altera la tolerancia a la sombra (o a pleno sol) de forma que ésta tolerancia es en realidad un concepto relativo y no absoluto para cada especie. De hecho, en un estudio con plántulas de robles y pinos se ha comprobado que la tolerancia a la sombra se ve afectada por el estrés hídrico, aunque el efecto difirió entre especies y no es factible generalizar (Sánchez-Gómez *et al.*, 2004; citados por VALLADARES, 2004).

A nivel de planta entera y de una forma muy simplificada, cabe plantear que si una planta creciendo en condiciones limitantes de agua y luz invierte mucha biomasa en su parte aérea para captar luz, quedará en mala situación para captar agua y viceversa (Tilman, 1988; citado por VALLADARES, 2004). Esto sería un primer marco conceptual para la existencia de limitaciones en la tolerancia de una especie a la sombra y a la sequía, ya que la captación de ambos recursos, luz y agua, no puede ser maximizada simultáneamente (Valladares, 2001a; citado por VALLADARES, 2004).

Smith y Houston (1989), citados por VALLADARES (2004) han propuesto un modelo de dinámica de comunidades en el que aplican el principio de que la tolerancia a un estrés (baja temperatura, luz o agua) es alcanzada a cambio de una reducción de la capacidad máxima de crecimiento. Como resultado de este modelo, la tolerancia a la sombra estaría correlacionada con la necesidad de agua. Las características anatómicas y morfológicas de las plantas determinarían de este modo que las especies tolerantes de sombra no puedan tolerar también la sequía, lo que se conoce como compromiso (*trade-off*) entre la tolerancia a la sombra y a la sequía (Smith y Houston, 1989; citados por VALLADARES, 2004).

Analizando los valores de tolerancia a la sequía y a la sombra de la flora europea se ha comprobado que predominaron las especies intolerantes de sombra y las que tuvieron una tolerancia intermedia a la sequía sobre un total de 2,458 especies. Al realizar el cruce de los valores de tolerancia a

ambos factores se encontró que las especies más tolerantes de sequía son menos tolerantes de sombra, apoyando empíricamente el modelo propuesto por Smith y Houston (1989), citados por VALLADARES (2004).

No obstante, algunos estudios experimentales recientes apuntan en otro sentido. En un estudio en condiciones controladas de las respuestas de plántulas de *Liriodendron tulipifera* a la luz y a la sequía se observó que la sombra generó un mejor desarrollo independientemente de la disponibilidad o no de agua, y se ha pretendido concluir a partir de este estudio que la sombra tiene un efecto beneficioso en condiciones áridas (Holmgren, 2000; citado por VALLADARES, 2004). Por el contrario, en estudios con juveniles de *Fagussyl vatica* en condiciones submediterráneas se han encontrado efectos negativos de la sombra (Aranda *et al.*, 2002, 2004; citados por VALLADARES, 2004).

Un problema habitual de los ensayos de este tipo es la interacción experimental no deseable entre luz y agua, de forma que en los tratamientos de más iluminación la sequía es mayor que en los de sombra y viceversa, algo técnicamente difícil de evitar. Además, especies que transpiran más que otras desecan más rápidamente el sustrato y por tanto están sometidas a mayor estrés hídrico que las demás especies del mismo tratamiento.

Sack y Grubb (2002), citados por VALLADARES (2004) estudiaron la interacción agua-luz en plántulas de *Viburnum* sp. y *Hedera helix* y observaron efectos "ortogonales" entre estos dos factores, es decir, independientes, ya que la sombra redujo el crecimiento en la misma proporción

con y sin limitaciones hídricas. Es decir, la sombra y la sequía tuvieron un efecto multiplicativo sobre el crecimiento, pero no hubo interacción, en otras palabras, el efecto de la sequía no fue proporcionalmente mayor a la sombra. Además, el patrón de inversión de biomasa (*allocation*) en cada nivel de radiación no se vio alterado por la disponibilidad hídrica.

El que las respuestas a la luz y al agua puedan ser independientes, sugiere una mayor posibilidad de segregación del nicho ecológico potencial de las distintas especies que coexisten en un hábitat, ya que las especies pueden diferenciarse no sólo por su tolerancia a la sombra, que llevaría implícita una cierta sensibilidad a la sequía según el modelo de Smith y Houston (1989), citados por VALLADARES (2004) sino además por su tolerancia a la sequía. La limitación de este tipo de estudios experimentales radica en el bajo número de especies que es posible abarcar (en el peor de los casos una, como en el trabajo de Holmgren (2000), citado por VALLADARES (2004), generalmente 4 - 6, sólo en contadas ocasiones en torno a 10, lo cual es aún insuficiente para muchos análisis). Además, extraer conclusiones sobre el impacto de la interacción luz-agua en la facilitación o competencia entre especies a partir de estudios de esta interacción en condiciones experimentales controladas realizadas con unas pocas especies e individuos tratados de forma separada y en contenedores es muy aventurado. Un riesgo adicional lo supone el hecho de que mientras una mayor inversión en raíz puede tener consecuencias favorables para el crecimiento y supervivencia en condiciones de sequía en el campo, no suponen ninguna ventaja en contenedores y macetas donde la cantidad de agua en el suelo no suele aumentar con la profundidad. Para lo

que este tipo de experimentos es sólido es para la detección de interacciones, la separación del efecto de cada factor y la identificación de los mecanismos ecofisiológicos y las implicancias de estas interacciones entre factores para el crecimiento y supervivencia de la especie o especies estudiadas (Valladares; 1997; citado por VALLADARES, 2004). Para interpretar los efectos de esta interacción en la distribución de las plantas es preciso estudiar lo que ocurre en condiciones naturales, aunque el separar los efectos de cada factor resulte poco menos que imposible.

2.4. Capacidad de campo

Se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros mayores de 0.05 mm de diámetro; sin embargo, la capacidad de campo puede corresponder a poros que varían entre 0.03 y 1 mm de diámetro. El concepto de Capacidad de Campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una Capacidad de Campo claramente definida. La Capacidad de Campo se determina mejor en el campo saturando el suelo y midiendo su contenido de agua después de 48 horas de drenaje. El suelo a capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos (FAO, 2005).

La capacidad de campo de un suelo es el contenido hídrico después de que se hayan vuelto muy lento el escurrimiento del agua gravitacional, y relativamente estable el contenido hídrico. La situación existe generalmente de 1 a 3 días después de que el suelo haya sido totalmente mojado por la lluvia o el riego. La capacidad de campo también se ha llamado capacidad de conducción de campo, capacidad de humedad normal y capacidad capilar. No es un verdadero valor de equilibrio, sino sólo una condición de un movimiento de agua tan lento que el contenido húmedo no cambie apreciablemente de una medida a otra. Aun cuando los suelos profundos llegan a la capacidad de campo bastante aprisa, la presencia de un manto freático cerca de la superficie prolongará el tiempo necesario para el escurrimiento. Y por eso, si un suelo profundo está inicialmente saturado hasta una profundidad de varios metros, el escurrimiento de la capa superficial hasta la capacidad de campo será mucho más lento que si sólo el metro superficial está mojado. La falta de homogeneidad del suelo afecta al contenido de agua en capacidad de campo (KRAMER, 1969).

Por ejemplo, un suelo de textura fina situado sobre un suelo de textura gruesa tendrá un contenido hídrico más elevado que un suelo de textura fina uniforme. De ese modo, la capacidad de campo de un suelo se relaciona con las condiciones en que se mide así como las características del suelo mismo. Por ejemplo, el contenido del suelo que puede escurrirse en el campo podría ser totalmente distinto del contenido hídrico de un cilindro del mismo suelo escurrido en invernadero sobre una capa de arena. Tales factores

deben tomarse en cuenta al interpretar los datos de capacidad de conducción. (KRAMER, 1969).

2.5. Descripción de la especie cedro colorado (*Cedrela odorata* L.)

2.5.1. Taxonomía (CRONQUIST, 1981)

Reino : Plantae Haeckel, 1866

División : Magnoliophyta Cronquist, Takht. & Zimmerm., 1966

Clase : Magnoliopsida Cronquist, Takht. & Zimmerm., 1966

Subclase: Rosidae Takht., 1966

Orden : Sapindales Benth. & Hook., 1862

Familia : Meliaceae Juss., 1789

Género : *Cedrela* P. Browne

Especie : *Cedrela odorata* L.

2.5.2. Descripción botánica

2.5.2.1. Aspecto general

REYNEL y MARCELO (2009) indican que es un árbol de porte mediano a grande. Mide entre 18 m y 40 m de altura y 40 cm a 200 cm de diámetro. Tiene la copa globosa y el follaje denso. Por su parte, CASTILLO (2010) manifiesta que se trata de árboles dominantes, grandes a muy grandes, alcanzan 150 cm de diámetro y alturas totales de 35 m, copa amplia. Fuste

recto y cilíndrico, con modificaciones de aletas muy bajas, crecen en zonas escarpadas o terrenos de laderas “faldas” rocosas. Ocupa el estrato superior en el bosque. Ramificación simpódica.

2.5.2.2. Corteza

La corteza externa es agrietada, de color marrón claro. Desprende placas leñosas, alargadas, de unos 10 cm a 15 cm de longitud por 3 a 4 de ancho. La corteza interna es de color rosado muy claro. Es fibrosa y tiene un olor tenue que recuerda al de los ajos (REYNEL y MARCELO, 2009).

2.5.2.3. Hojas

Las hojas son compuestas, pinnadas, alternas y dispuestas en espiral. Miden unos 35 cm a 40 cm de longitud y tienen tendencia a agruparse en los extremos de las ramitas. Tienen 7 a 9 pares de láminas oblongas, algo asimétricas, de unos 13 a 16 cm de longitud por 3 a 5 cm de ancho, con el ápice agudo y largo, base obtusa y asimétrica, y borde entero. Las láminas no tienen pelos.

2.5.2.4. Flores

Las flores se hallan dispuestas en panículas axilares de 25 cm a 50 cm de longitud, con gran cantidad de flores. Las flores son pequeñas, de unos 8 mm a 10 mm de longitud. Son hermafroditas (tienen los dos sexos a la vez). Tienen un cáliz con 5 dientes pequeños y una corola con 5 pétalos blancos.

Tienen 5 estambres muy pequeños y un pistilo de 5 mm a 8 mm de longitud (REYNEL y MARCELO, 2009).

2.5.2.5. Frutos

Los frutos son cápsulas leñosas, de 3 cm a 5 cm de longitud y 2 cm de diámetro, que se abren en 5 tapas y bajo cada una de ellas se encuentran numerosas semillas de 2 cm a 2.5 cm de longitud (en promedio 50 a 60 semillas por fruto). Las semillas son aladas y membranosas, de aproximadamente 3 cm x 1.5 cm, de color marrón claro a rojizo.

2.5.3. Observaciones para el reconocimiento de la especie

Se reconoce por su porte grande, sus hojas compuestas con numerosas láminas con el ápice alargado, y por sus frutos en forma de cápsulas leñosas con semillas aladas (REYNEL y MARCELO, 2009). Por su parte, CASTILLO (2010) refiere que las siguientes características permiten su identificación en el bosque: corteza externa de color marrón oscuro negruzco, con ritidoma exfoliante (encrespado) muy similar a la caoba. La corteza interna es de color rosado-lila, oxidando a negruzco. En árboles jóvenes el color rosado-lila de la corteza interna es más intenso.

2.5.4. Distribución y hábitat

REYNEL y MARCELO (2009) manifiestan que se halla en Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay, Perú, Ecuador; pudiéndose también

encontrar en Honduras, Panamá y México hasta los 3.400 msnm. En el Perú se encuentra mayormente en el centro y sur del país, en áreas de sierra y ceja de selva, en bosques premontanos y montanos, subhúmedos y húmedos, entre 500 y 3,500 msnm. Se le observa cultivada o en zonas de bosque maduro.

2.5.5. Fenología

Flores registradas entre febrero y junio; frutos entre mayo y julio.

2.5.6. Estado de conservación

Pese a que el rango de distribución en nuestro territorio es amplio, las poblaciones de esta especie son usualmente de escasos individuos. Su madera es de excelente calidad, lo que ha determinado que se le tale con intensidad. Se trata de una especie en situación de peligro aparente en el país.

2.5.7. Usos

- La madera es de grano recto, textura y densidad medias, de color rojizo; es muy trabajable y durable, excelente para ebanistería.
- De las hojas se extrae un tinte de color beige empleado para el teñido de textiles, principalmente de algodón y lana (REYNEL y MARCELO, 2009).

2.6. Antecedentes de investigación en producción de biomasa

2.6.1. Biomasa

De acuerdo con el IPCC (2001), la biomasa es considerada como la masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado; a menudo se incluyen los restos de plantas que han muerto recientemente (biomasa muerta). Por otra parte la FAO (1998) considera que la biomasa es un elemento principal para determinar la cantidad de carbono almacenado en el bosque

AMÉZQUITA *et al.* (2008) afirma que la acumulación de biomasa de la planta se produce a través del metabolismo vegetal que inicia con la fotosíntesis, el cual a una biomasa de más de 50 gramos el número de hojas y el índice de área foliar está asociado directamente con la biomasa foliar (DE LA MAZA *et al.*, 2003); aunque PARDE (1980) afirma que la biomasa foliar presenta una mayor variación, sobre todo en los primeros meses de edad hasta estabilizarse.

Según los estudios de VALLADARES (2004) sobre estrés causado por luz y agua en plantas de bosque, existe una clara influencia y correlación sobre cualquier variación sobre la biomasa lograda, estando que si la planta entrase a mayor estrés, la biomasa se verá afectada directamente proporcional. Por su parte ROMO (2005) en el cual afirma que el factor que más afecta a las plantas en el sotobosque es el factor luz cuyo factor es determinante para

lograr la probabilidad de sobrevivencia, esta sobrevivencia se traduce como mayor biomasa.

Uno de los factores determinantes en la degradación de la materia orgánica es la humedad del suelo esta se torna importante medio de disolución de los nutrientes y del transporte de este hacia el metabolismo de la planta (CALVO *et al.*, 2008 y BINKLEY *et al.*, 1998).

2.6.2. Producción total de biomasa

NAVARRO *et al.* (2013) confirman que las plantas de especies forestales, requieren en su etapa inicial nutrientes que le permitan desarrollar el sistema radicular y la biomasa total, por tanto ROMO (2005), indica que en zonas deforestadas (mayor luz) se logran mayores contenidos de biomasa total, basado principalmente en sistema radicular asegurando su sobrevivencia. Existen trabajos realizados en diferentes investigaciones donde las mejores biomasa se dieron en las mejores condiciones de humedad y luz en distintas especies forestales (THOMPSON, 1985; KRÜGER, 2007; NEGREROS *et al.*, 2010).

2.6.3. Relación área foliar/biomasa total (AF/BT)

La humedad brinda las mejores condiciones para el desarrollo radicular y el metabolismo de la planta (VALLADARES, 2004; HAYASHIDA *et al.*, 2001; VALAREZO, 2001). NACIMA (2006) confirma que el método de verificación del desarrollo de la planta es con base a los indicadores de la

biomasa aérea y radicular, logran con ello determinar el potencial de la especie a ser evaluada.

NEGREROS *et al.* (2010) presenta resultados favorables de la relación biomasa aérea y subterránea en tres especies forestales los cuales coinciden con los obtenidos cuando las plantas fueron sometidas a mejores condiciones nutrimentales y de humedad. Estudios sobre la relación biomasa aérea y biomasa radicular fueron para GARCÍA (1996) de una relación de 2:1 para especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus douglasiana*.

Los cambios en la disponibilidad de luz pueden conducir a diferencias en las características fotosintéticas (MARTÍNEZ PASTUR *et al.*, 2007), en la anatomía de las hojas, y consiguientemente, en el crecimiento de las plantas (TOGNETTI *et al.*, 1998). Numerosos estudios demuestran que especies demandantes de luz maximizan su potencial de crecimiento al desarrollar una alta área foliar, destinando los fotosintatos principalmente al crecimiento, y poco de ellos a defensas o acumulación (LUSK y DEL POZO, 2002). Es por ello que en plantas con alta tolerancia a la sombra, el crecimiento se sacrifica en favor de la persistencia (WALTERS y REICH, 1999).

La producción de fotosintatos de los plantones están directamente relacionadas con la intensidad lumínica (LARCHER, 2003); en cambio la reducción en la evapotranspiración mejora el nivel hídrico de la planta, y mejora la actividad fotosintética y el crecimiento de la misma (AUSSENAC, 2000).

El grado de sombra que reciben los plantones de especies leñosas puede, alternativamente, facilitar o inhibir la supervivencia de los mismos, dependiendo de las condiciones hídricas del suelo (HOLMGREN *et al.*, 1997). Las plantas leñosas presentan marcadas diferencias en la respuesta y tolerancia al estrés hídrico.

Mejorar el entendimiento sobre la interacción del microclima y la ecofisiología de los árboles, especialmente en cuanto a la cantidad de luz y humedad del suelo disponible, permite generar prácticas silvícolas viables y útiles durante la formación y manejo de un rodal (AUSSENAC, 2000).

Bosque (2007); la producción de biomasa en plántulas de *Nothofagus pumilio* según las condiciones hídrico/lumínicas a las que son expuestas al cabo de una temporada de crecimiento. Las plántulas alcanzan la mayor producción de biomasa total con al menos un 26% de la luz incidente natural. Sin embargo, al incrementarse la cantidad de luz se genera una menor relación de biomasa total y área foliar, aumentando la proporción de raíces. Cuando los niveles de humedad a los que son expuestas las plantas superan el 80% de la capacidad de campo, la biomasa de las plántulas se ve perjudicada. Esta pérdida en el crecimiento se intensifica bajo altos niveles de luz, donde el crecimiento de las raíces disminuye significativamente. Los cambios en la compartimentación de la biomasa constituyen estrategias ventajosas para la supervivencia frente a cambios en las condiciones ambientales, como las generadas por la cosecha forestal.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación

La investigación se realizó entre diciembre 2013 y junio 2014, ubicado en el vivero forestal de la Facultad de Recursos Naturales y Renovables "Las Heliconias" de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) y en el Laboratorio de Certificación de Semillas Forestales; ambos se ubican políticamente en el distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, región Huánuco. Geográficamente el área experimental se localiza en las coordenadas UTM: 390232 Este y 8970744 Norte.

3.1.2. Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas, son de temperatura máxima de 29.4 °C, una mínima de 19.2 °C y la media de 24.3 °C; precipitación promedio anual de 3,300 mm, humedad relativa de 87 % y altitud de 660 m.s.n.m.

3.1.3. Zona de vida

De acuerdo a la clasificación de las zonas de vida y el diagrama bioclimático de HOLDRIDGE (1987), el distrito de Rupa Rupa se encuentra

ubicado en la formación vegetal de bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh - PT) y de acuerdo a las regiones naturales del Perú, se encuentra en la Selva Alta o Rupa Rupa.

3.2. Materiales

3.2.1. Material genético

- Plántulas de la especie forestal cedro (*Cedrela odorata* L.), provenientes de regeneración natural de la plantación localizada en la parcela del Sr. Juan Bernales Shapiama, ubicado en el km “51”, margen a la carretera Pucallpa. Se localiza en las coordenadas UTM: 388687 Este y 8986682 Norte.

3.2.2. Sustratos

- Tierra agrícola - 60%
- Aserrín descompuesto - 30%
- Arena lavada - 10%

3.2.3. Materiales, herramientas y equipos

- Malla raschel con cuatro diferentes intensidades de luz (4%, 24%, 44% y 64%).
- Plástico de 2 mm de espesor (control de lluvias).
- Luxímetro, para medir las diferentes intensidades de luz.

- Bolsas de polietileno de 5 kg de capacidad, para traslado de material vegetativo.
- Bolsas negras de polietileno de 6" x 10", para producción de plantones en vivero.
- Tamiz de ¼ de pulgada. (cernidor de sustrato).
- Sacabocado de 1 x 1 cm².
- Sobres de papel manteca, para secado en estufa del material vegetativo.
- Regla graduada de 30 cm, para medición de la altura de los plantones de *Cedreia odorata* L.. provenientes de regeneración natural.
- Wincha de 05 metros.
- Tablas, bambú, clavos y alambre para acondicionar las camas de cría.
- Alicata y martillo, para la construcción de camas cría.
- Pala recta, para preparación de sustratos.
- Balanza digital con precisión de centésimas de gramo.
- GPS Garmin 76 CSx, para localización del lugar de establecimiento de la investigación.
- Estufa para el secado de las diferentes secciones de los plantones.

3.3. Metodología

3.3.1. Etapa de vivero

Previo a la instalación de las camas de crías con las cuatro intensidades de luz, se realizó el estudio anticipado de las incidencias lumínicas para la determinación de los porcentajes en unidades Lux. Esta evaluación se realizó por 10 días seguidos, evaluando en los horarios de menor a mayor incidencia de luz cada media hora (desde las 10:30 am hasta 12:30 pm). Con los datos obtenidos se determinó el promedio final; luego se realizó la conversión por regla de tres simple para la determinación de porcentajes en unidades Lux.

Estos datos sirvieron para el tinglado de malla raschel de acuerdo a las cuatro intensidades de luz (4%, 24%, 44% y 64%).

Cuadro 1. Incidencias lumínicas para la determinación de los porcentajes en unidades Lux.

Día/ hora	Días evaluados (100 Lux)										Prom.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10:30 a.m.	216	816	970	995	190	1208	156	240	945	979	671.5
11:00 a.m.	206	910	1125	1062	253	289	1061	265	985	1145	730.1
11:30 a.m.	279	1140	1137	1115	280	318	1158	563	1023	1081	809.4
12:00 p.m.	296	1132	1277	1277	297	615	1164	942	1072	1040	911.2
12:30 p.m.	1023	1190	1390	1377	850	726	1170	1045	1015	1097	1088.3
Promedio	404	1037.6	1179.8	1165.2	374	631.2	941.8	611	1008	1068.4	842.1

Fuente propia.

Cuadro 2. Porcentaje de incidencia de luz.

Valores	Lux
4%	33.684
24%	202.104
44%	370.524
64%	538.944

Fuente propia.

Se realizó el acondicionamiento de las camas de cría de 1 m x 4.80 m, a 1 m del suelo, con tinglado de malla raschel de acuerdo a las cuatro intensidades de luz y mica transparente para evitar el paso del agua de lluvia. Se simuló cuatro intensidades lumínicas (4%, 24%, 44% y 64% de la luz incidente natural) usando una capa para 4%, dos capas para 24%, tres capas para 44% y cuatro capas para 64% de malla raschel, y fueron medidas y establecidas las intensidades lumínicas con un Luxímetro (modelo H 100 - USA) según los datos obtenidos en la evaluación.

Preparación de sustratos. La preparación del sustrato para las plántulas, cuya composición fue de: 60% de tierra agrícola, 30% de aserrín descompuesto y 10% de arena lavada en la proporción de 6:3:1.

Cuadro 3. Detalle de las dosis (niveles) de abono orgánico.

Nivel	Composición	Porcentaje (%)
1	Tierra agrícola	60%
2	Aserrín descompuesto	30%
3	Arena	10%

Determinación de la capacidad de campo (C.c). Este proceso se realizó en el Laboratorio de Suelos de la UNAS, según la metodología propuesta por ARANGO (1993):

1. Consiste en tomar o extraer la muestra del suelo en las profundidades de interés.
2. Agregar agua hasta saturarlo
3. Tomamos muestras después que el suelo se ha drenado a capacidad de campo. El tiempo requerido para alcanzar la capacidad de campo para suelos de textura gruesa es de un día, para suelos de textura media dos días, para los de textura fina tres días. El tiempo requerido se puede precisar más correctamente tomando muestras en días sucesivos y determinando cuando el contenido de humedad del suelo cesa de disminuir significativamente.
4. Pesamos las muestras húmedas del suelo y luego se secan en estufa a una temperatura de 105° C
5. Determinamos el peso seco; y tomamos la diferencia en peso y lo dividimos entre el peso seco para obtener la capacidad de campo.

$$C C = P_s (cc) = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100$$

Donde:

CC = Capacidad de campo.

PSH = Masa suelo húmedo.

PSS = Masa suelo seco.

Llenado de bolsas. Se procedió al llenado de las bolsas negras de polietileno de 6" x 10", con el sustrato respectivo. En total se llenaron con sustrato 480 bolsas.

Recolección de plántulas. Antes de realizar el repique, se procedió a la selección y recolección de las plántulas de la regeneración natural de cedro (*Cedrela odorata* L.), estos individuos fueron recolectados de un sistema agroforestal con plátano (*Musa paradisiaca* L.), cacao (*Theobroma cacao* L.) y cedro, con 10 cm de altura promedio, dimensión considerado desde la base de tallo hasta la punta de la yema terminal.

Estas plántulas fueron recolectadas en las primeras horas de la mañana (6:00 am), con apoyo de un machete, retirándolo cuidadosamente con su respectivo pan de tierra y sobre todo sin dañar las raíces. Una vez recolectadas las plántulas inmediatamente fueron colocadas en papel periódico humedecido, y transportadas en bolsas de polietileno al vivero forestal de la Facultad de Recursos Naturales y Renovables "Las Heliconias".

Repique. En las bolsas con sustrato acondicionadas en la cama de cría del vivero forestal de la Facultad de Recursos Naturales y Renovables "Las

Heliconias” – UNAS, se procedió al repique de las plántulas recolectadas en campo.

Labores culturales. Se realizaron actividades de prevención contra el ataque de plagas y enfermedades (en este caso no fue necesario el control de plagas y enfermedades debido a que las plantas no presentaban característica alguna de enfermedad y plaga), así como el control de malezas en periodos de acuerdo a los requerimientos de los plantones.

Riego. Se realizó manualmente con vasos descartables (medidas ya establecidas y determinadas), manteniendo la mitad de las plántulas a una capacidad de campo del 40 - 60%, mientras que la otra mitad se mantuvo a 80 - 100% de capacidad de campo. Los montos de irrigación fueron determinados gravimétricamente cada tres días.

Evaluación. Mensualmente, y durante cinco meses, se tomaron muestras de 10 plantones por tratamiento; es decir 2 por repetición en forma aleatoria. La cuantificación de biomasa fue realizada extrayendo de manera manual los plantones de las bolsas, las mismas que fueron colocadas sobre una mesa y fueron lavadas quitando el sustrato de las raíces. Cada plantón fue seccionada a la altura del cuello de la raíz y las hojas, para obtener por separado los valores del peso de tallos, hojas raíces.

Asimismo, se obtuvo el área foliar total por individuo y por consiguiente la biomasa en peso seco total y compartimentada en hojas, tallos y raíces, lo cual permitió definir relaciones de biomasa aérea/subterránea

(BA/BS) ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) y área foliar/biomasa total (AF/BT) ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) (LENCINAS *et al.*, 2007).

$$R \text{ BA/BS} = \frac{\text{Biomasa aérea (g)}}{\text{Biomasa de raíz (g)}}$$

$$R \text{ AF/BT} = \frac{\text{Área foliar (cm}^2\text{)}}{\text{Biomasa total (g)}}$$

3.3.2. Cuantificación de la producción de biomasa de hojas, tallos y raíces en plántones de *Cedrela odorata* L.

Se separaron las hojas, tallos y raíces con tijeras manuales; el peso se determinó con una balanza digital a una precisión de centésimas de gramo. Para la cuantificación de producción de biomasa, primero se registró el peso en húmedo (peso fresco) y posteriormente se colocaron dentro de bolsas de papel manteca en una estufa de secado, durante 72 horas a 70 °C y finalmente se evaluó el peso en seco de cada parte de la planta.

La metodología para determinar la biomasa de hojas, tallos y raíces respectivamente, consistió en una adaptación de la propuesta por AREVALO *et al.* (2003) para determinar la biomasa del componente arbustivo/herbáceo:

$$\text{BH (g)} = \frac{\text{PSM}}{\text{PFM}} \times \text{PFT}$$

$$\text{BT (g)} = \frac{\text{PSM}}{\text{PFM}} \times \text{PFT}$$

$$BR (g) = \frac{PSM}{PFM} \times PFT$$

Donde:

BH (g) = Biomasa de hojas en gramos.

BT (g) = Biomasa de tallos en gramos.

BR (g) = Biomasa de raíces en gramos.

PSM = Peso seco de la muestra.

PFM = Peso fresco de la muestra.

PFT = Peso fresco total.

3.3.3. Cálculo de la producción total de biomasa en plántones de *Cedrela odorata* L.

Para el cálculo de producción de biomasa consistió en la suma de la biomasa o peso seco de cada parte de la planta raíz, tallos, y hojas a fin de encontrar la variabilidad entre tratamientos.

3.3.4. Determinación de la relación área foliar/biomasa total en plántones de *Cedrela odorata* L.

Para el área foliar se ha considerado similar principio a lo reportado por PIRE y VALENZUELA (1995) en donde se ha calculado solo de la lámina o limbo de las hojas compuestas, empleando el método de relación peso; para el

caso de la investigación se ha cortado 1 cm² de un foliolo mediante el siguiente procedimiento: se determinó el peso fresco de cada foliolo de la muestra, extrayendo un cuadrado de tejidos de foliolo intermedio por cada plantón; luego, se obtuvo el peso fresco de cada uno de las áreas. Seguidamente, se procedió al cálculo del área foliar de cada foliolo por hoja compuesta, a través de la siguiente relación entre el peso fresco y el área unitaria del disco:

$$\text{Área foliar (cm}^2\text{)} = \frac{\text{Peso total de foliolos por hoja} \times \text{Área del cuadrado}}{\text{Peso promedio del cuadrado}}$$

Para la determinación de la relación área foliar/biomasa total, se procedió tomando datos del área foliar y biomasa total calculados según lo explicado anteriormente, para lo cual se procedió de acuerdo a la metodología propuesta por LENCINAS *et al.* (2007).

$$R \text{ AF/BT} = \frac{\text{Área foliar (cm}^2\text{)}}{\text{Biomasa total (g)}}$$

3.3.5. Diseño estadístico

La investigación corresponde a un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 4 x 2 con cinco repeticiones. Los factores en estudio son:

Factor A: intensidad lumínica

Niveles: 4% (a₁)

24% (a₂)

44% (a3)

64% (a4)

Factor B: humedad del suelo

Niveles: 40 - 60% (b1)

80 - 100% (b2)

La combinación de los factores descritos genera ocho tratamientos, como se indica en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Tratamientos del experimento factorial.

Tratamientos	Nivel de intensidad lumínica	Nivel de humedad del suelo
T ₁	4%	40 - 60%
T ₂	4%	80 - 100%
T ₃	24%	40 - 60%
T ₄	24%	80 - 100%
T ₅	44%	40 - 60%
T ₆	44%	80 - 100%
T ₇	64%	40 - 60%
T ₈	64%	80 - 100%

Croquis del experimento

El número de plantas por tratamiento es de 60, es decir, 12 por cada repetición. En total se trabajó y evaluó 480 plantas de *Cedrela odorata* L.

	T5	T6	T1	T2	T7	T8	T3	T4
R1								
R2								
R3								
R4								
R5								

Figura 1. Croquis del experimento.

3.3.6. Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \text{Factor } A_i + \text{Factor } B_j + \text{Factor } A_i * \text{Factor } B_j + \varepsilon$$

Donde:

Y_{ij} : Respuesta esperada del i-ésimo Factor A con el j-ésimo Factor B.

μ : Media de las unidades experimentales.

Factor A_i : Efecto del i-ésimo Factor A (nivel de intensidad lumínica).

Factor B_j : Efecto del j-ésimo Factor B (nivel de humedad del suelo).

Factor $A_i * \text{Factor } B_j$: Efecto de la Interacción del i-ésimo Factor A con el j-ésimo Factor B.

ε : Error experimental.

El análisis de varianza se realizó con el programa InfoStat (2004) y para las diferencias de medias se utilizó la diferencia mínima significativa de FISHER cuando el valor de $p < 0.05$ (STEEL y TORRIE, 1988); asimismo, se realizó contrastes ortogonales para determinar la tendencia lineal o cuadrática de los niveles de intensidad lumínica en cada nivel de humedad del suelo. Las fuentes de variación y grados de libertad se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Fuentes de variación y grados de libertad del experimento factorial.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Factorial	
Factor A	$(a - 1) = 3$
Factor B	$(b - 1) = 1$
Factor A * Factor B	$(a - 1)(b - 1) = 3$
Error	$t(r - 1) = 32$
Total	$t(r) - 1 = 39$

a: Niveles del factor A, b: Niveles del factor B. t: Tratamientos, r: repeticiones.

3.3.7. Variables dependientes

- Área foliar.
- Biomasa de hojas.
- Biomasa de tallos.
- Biomasa de raíces.

3.3.8. Variables independientes

- Intensidad lumínica.
- Humedad del suelo.

IV. RESULTADOS

4.1. Cuantificación de la producción de biomasa de hojas, tallos y raíces en plántones de *Cedrela odorata* L.

4.1.1. Biomasa de hojas

El análisis de varianza para la variable biomasa de hojas en cinco evaluaciones, muestran que para el primer y quinto mes de evaluación resultan significativos ($p < 0.05$) la interacción intensidad lumínica y humedad del suelo sobre la biomasa de hoja, mientras que en la segunda, tercer y cuarta evaluación resultaron no significativos ($p > 0.05$) (Cuadro 6).

Debido a la importancia de la quinta evaluación (final del experimento) se analizará solo esta etapa. Puede afirmarse que la biomasa de hojas en plántones de *Cedrela odorata* L., está influenciada por la intensidad lumínica y la humedad del suelo.

No se analizan los efectos principales y amerita abrir la interacción para definir esta influencia. Asimismo, esta quinta evaluación presenta un CV de 27%, el cual indica la heterogeneidad de las observaciones, mientras que el 83% de los datos se ajustan al modelo propuesto con un coeficiente de determinación de 0.83.

Cuadro 6. Análisis de varianza para la biomasa de hojas correspondiente a cada mes de evaluación, con un nivel de significancia del 5%.

Fuentes de variación	GL	Primera evaluación		Segunda evaluación		Tercera evaluación		Cuarta evaluación		Quinta evaluación	
		CM	Significancia	CM	Significancia	CM	Significancia	CM	Significancia	CM	Significancia
Luz	3	0.13	0.0014 *	0.73	0.0003 *	0.17	0.1398 ns	0.16	0.4058 ns	1.52	<0.0001 *
Humedad	1	0.0004	0.8865 ns	0.1	0.2815 ns	0.12	0.2405 ns	0.02	0.728 ns	0.0004	0.9059 ns
Luz x Humedad	3	0.08	0.0146 *	0.22	0.0699 ns	0.1	0.3196 ns	0.31	0.1377 ns	0.14	0.0109 *
Error	32	0.02		0.09		0.09		0.16		0.03	
Total	39										
	CV	27.00%		31.00%		30.00%		28.00%		27.00%	
	R ²	0.50		0.52		0.26		0.22		0.83	

(ns) No Significativo.

(*) significativo.

En el análisis de los efectos simples. los niveles de intensidad lumínica resultan significativos ($p < 0.05$) en cada nivel de humedad del suelo. Para un nivel de 40 - 60% de humedad del suelo los mayores valores de biomasa de hoja alcanzados fue cuando se tuvo un nivel de intensidad lumínica de 4% y 24% (1.03 y 0.95 g por planta de biomasa de hoja respectivamente), es decir las de menor intensidad lumínica; mientras que los niveles de 44 y 64% lograron menor producción de biomasa de hojas. Por otra parte, para un nivel de 80 - 100% de humedad del suelo a capacidad de campo, se obtiene mayor biomasa de hoja solo a un nivel del 4% de intensidad lumínica, versus el resto de niveles (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis del efecto simple entre intensidad lumínica en cada nivel de humedad del suelo como influencia en la biomasa de hoja lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).

Clave	Significancia	Intensidad lumínica	Biomasa de hoja (g)
B en a₁			
Intensidad lumínica con 40-60% de humedad en el suelo	<0.0001	4%	1.03 \pm 0.09 a
		24%	0.95 \pm 0.12 a
		44%	0.15 \pm 0.01 c
		64%	0.46 \pm 0.07 b
B en a₂			
Intensidad lumínica con 80-100% de humedad en el suelo	<0.0001	4%	1.21 \pm 0.12 a
		24%	0.63 \pm 0.06 b
		44%	0.31 \pm 0.02 c
		64%	0.47 \pm 0.07 b c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p \leq 0.05$).

En cada nivel de humedad del suelo existe una clara diferencia estadística entre los niveles de intensidad lumínica; para una humedad de 40 - 60% se observa que los niveles de intensidad lumínica que logran mayor biomasa de hoja son de 4 y 24% versus el resto de niveles; asimismo, para un nivel de 80 - 100% de humedad del suelo solo el 4% de intensidad lumínica logra mayor biomasa de hoja versus el resto de niveles (Figura 2).

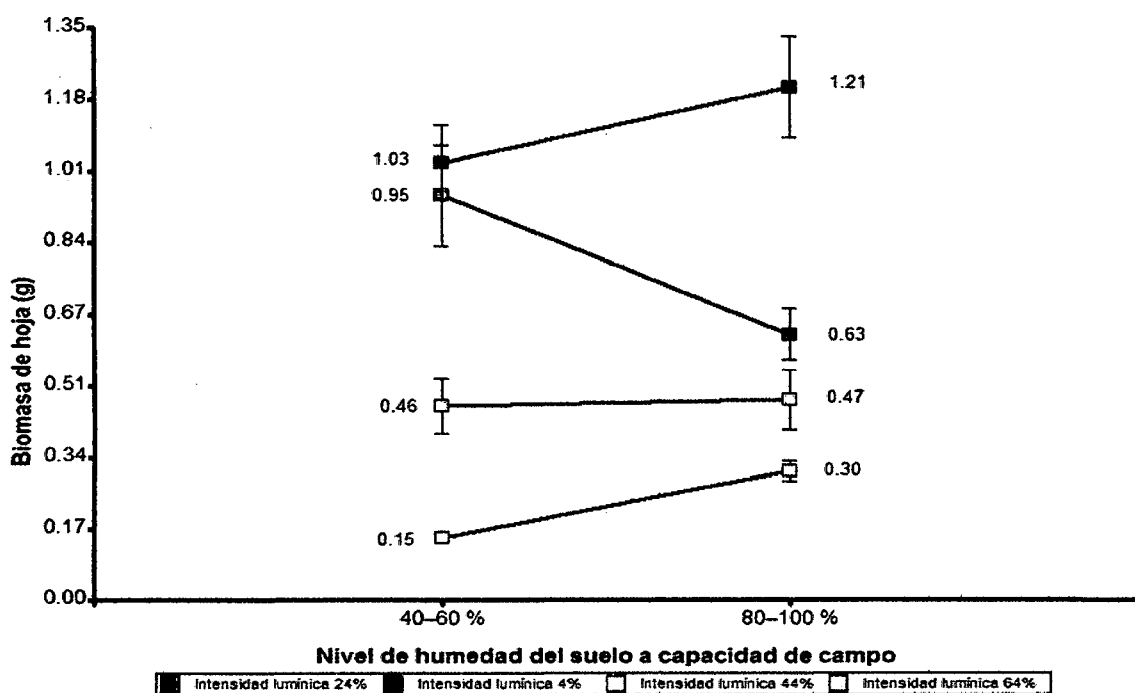


Figura 2. Biomasa de hoja (g) lograda por cada nivel de humedad del suelo en los cuatro niveles de intensidad lumínica.

El análisis del efecto simple considerando el nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica, muestra que las intensidades lumínicas del 4% y del 64% no influyen sobre la biomasa de hoja el nivel de humedad del suelo ($p > 0.05$); sin embargo, se observa que con el 4% de intensidad lumínica se logra mayor cantidad de biomasa que con un 64%; para un nivel del 24% de intensidad lumínica, la biomasa de hoja se ve influenciada por

el nivel de humedad del suelo, resultando con mayor biomasa el nivel de 40 - 60% de humedad del suelo (0.95 g; para un nivel de 44%, resultan de igual manera influyente el nivel de humedad del suelo, sin embargo la mayor biomasa se logra cuando se utiliza un nivel de 80 - 100% (0.31 g) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis del efecto simple entre el nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica como influencia en la biomasa de hoja lograda al quinto mes de evaluación.

CLAVE	Significancia	Humedad del suelo	Biomasa de hoja (g)	
B en a ₁				
Humedad del suelo en 4% de intensidad lumínica	0.2635	40 - 60%	1.03 ± 0.09	a
		80 - 100%	1.21 ± 0.12	a
B en a ₂				
Humedad del suelo en 24% de intensidad lumínica	0.0403	40 - 60%	0.95 ± 0.12	a
		80 - 100%	0.63 ± 0.06	b
B en a ₃				
Humedad del suelo en 44% de intensidad lumínica	0.0004	40 - 60%	0.15 ± 0.01	a
		80 - 100%	0.31 ± 0.02	b
B en a ₄				
Humedad del suelo en 64% de intensidad lumínica	0.8657	40 - 60%	0.46 ± 0.07	a
		80 - 100%	0.47 ± 0.07	a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p \leq 0.05$).

Con los niveles de 4 y 64% de intensidad lumínica es indiferente el nivel de humedad al suelo sobre la biomasa de hoja; notándose que para un 4% se obtienen mayor biomasa que en cualquier otro nivel de intensidad

lumínica. Es claro notar que si se trabajase con una intensidad lumínica de 24 ó 44 %, la biomasa se verá influenciada por el nivel de humedad del suelo; para el primero mayor biomasa se logra con un 40-60% de humedad del suelo; mientras que para 44% de intensidad lumínica, la mayor biomasa se logra con un 80 - 100% de humedad del suelo. Por lo tanto, la biomasa de hoja se ve influenciada por el nivel de intensidad lumínica y el nivel de humedad del suelo.

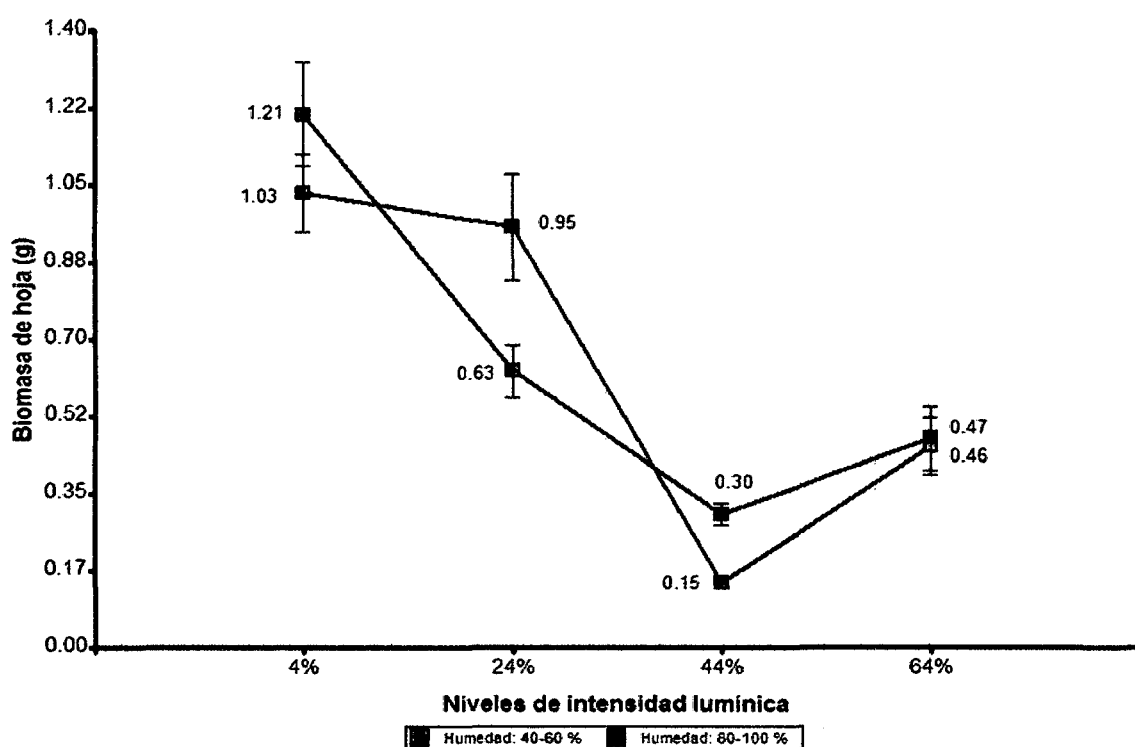


Figura 3. Biomasa de hoja (g) lograda por cada nivel de intensidad lumínica en dos niveles de humedad del suelo.

En las medias de biomasa de hoja logradas por tratamiento en estudio, se confirma que de los tratamientos evaluados la mayor producción de biomasa de hoja se obtienen con 4 y 24% de intensidad lumínica (LUZ), siendo el nivel de 4% la mayor biomasa lograda en los dos niveles de humedad del suelo (1.03 y 1.21 g respectivamente). Asimismo, se observa que el tratamiento

con menor producción de biomasa de hoja es el nivel de 44% de intensidad lumínica y con 40 - 60% de humedad del suelo (0.15 g) (Figura 4).

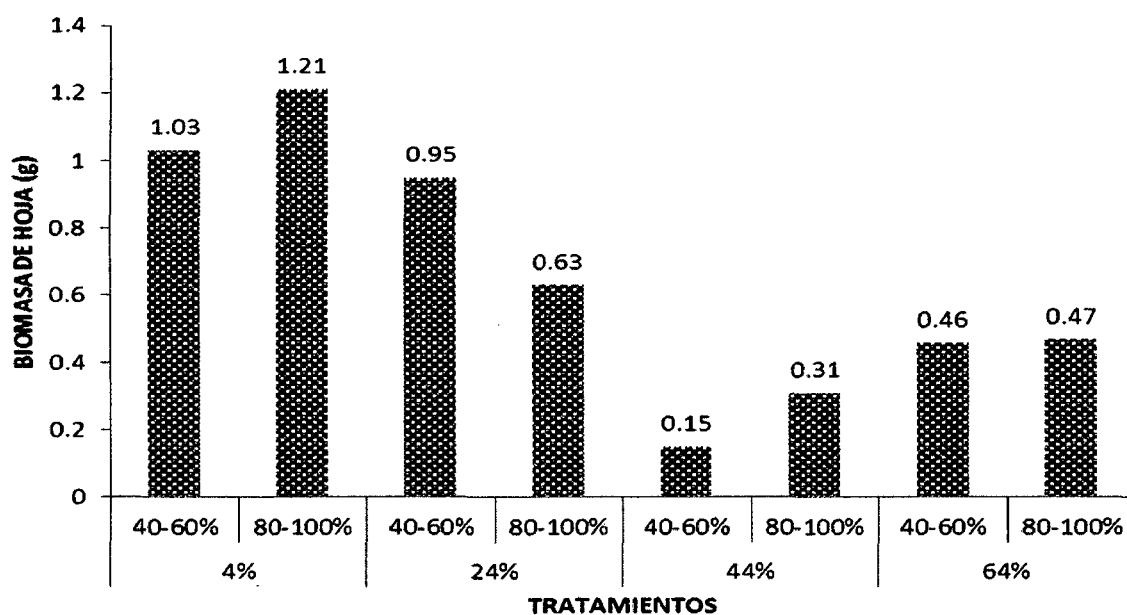


Figura 4. Medias de biomasa de hojas en ocho tratamientos de estudio, como producto de la interacción de cuatro niveles de intensidad lumínica y dos niveles de humedad del suelo.

4.1.2. Biomasa de tallo

En el ANVA, se observa que en las tres primeras evaluaciones no se determina la influencia ($p > 0.05$) de la interacción entre el nivel de luz y humedad del suelo sobre la biomasa de tallo; mientras que para las dos últimas evaluaciones, si existe influencia estadística ($p < 0.05$) de la interacción de la intensidad de luz y humedad del suelo. La quinta evaluación permite evaluar un r-cuadrado con 0.83, el cual explica que el 83% de las observaciones explican los resultados logrados, mientras que con un 18% de coeficiente de variación explica que los datos son homogéneos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de Varianza para la biomasa de tallo correspondiente a cada mes de evaluación, con un nivel de significancia del 5%.

Fuentes de variación	GL	Primera evaluación			Segunda evaluación			Tercera evaluación			Cuarta evaluación			Quinta evaluación		
		CM	Significancia		CM	Significancia		CM	Significancia		CM	Significancia		CM	Significancia	
Luz	3	0.00460	0.294	ns	0.16	0.0001	*	0.21	0.0407	*	0.54	0.0006	*	2.77	<0.0001	*
Humedad	1	0.00002	0.9436	ns	0.004	0.6195	ns	0.62	0.0049	*	0.74	0.003	*	0.13	0.2095	ns
Luz x Humedad	3	0.01	0.0983	ns	0.05	0.0494	ns	0.14	0.1332	ns	1.47	<0.0001	*	1.21	<0.0001	*
Error	32	0.00360			0.02			0.07			0.07			0.08		
Total	39															
	CV	29.00%			28.00%			27.00%			17.00%			18.00%		
	R ²	0.25			0.54			0.43			0.75			0.83		

(ns) No significativo

(*) Significativo

La significancia de la interacción de los niveles de luz y humedad del suelo implica abrir la interacción. Los cuatro niveles de intensidad lumínica, resulta significativo ($p < 0.05$) para cada nivel de humedad del suelo. Así, entre 60-80% de humedad del suelo la mayor biomasa de tallo se logra con 44% de intensidad lumínica (2.08 g); mientras que para 80-100% de humedad del suelo hay mayor biomasa del tallo a 64% de intensidad; contrario a la biomasa de hoja, mayor intensidad lumínica permite mayor biomasa.

Cuadro 10. Análisis del efecto simple entre los niveles de intensidad lumínica en cada nivel de humedad del suelo como influencia en la biomasa de tallo lograda al quinto mes de evaluación.

Clave	Significancia	Intensidad lumínica	Biomasa de tallo (g)
B en a₁			
	0.0012	4%	1.5 ± 0.16 b
Intensidad lumínica con 40 - 60% de humedad en el suelo		24%	1.03 ± 0.07 c
		44%	2.08 ± 0.18 a
		64%	1.59 ± 0.15 b
B en a₂			
	<0.0001	4%	1.17 ± 0.05 c
Intensidad lumínica con 80 - 100% de humedad en el suelo		24%	0.99 ± 0.07 c
		44%	1.77 ± 0.14 b
		64%	2.73 ± 0.11 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p < 0.05$).

Al trabajar entre 40 - 60% de humedad del suelo la mayor producción de biomasa de tallo se logra con 44% de intensidad lumínica (2.08 g); mientras que trabajar con 80 - 100% de humedad en el suelo la mayor producción de biomasa se logra con 64% de intensidad lumínica (2.73 g). La menor producción de biomasa se obtiene tanto con 40 - 60% y 80 - 100% de humedad del suelo cuando se utiliza un 24% de intensidad lumínica (1.03 y 0.99 g respectivamente) (Figura 5).

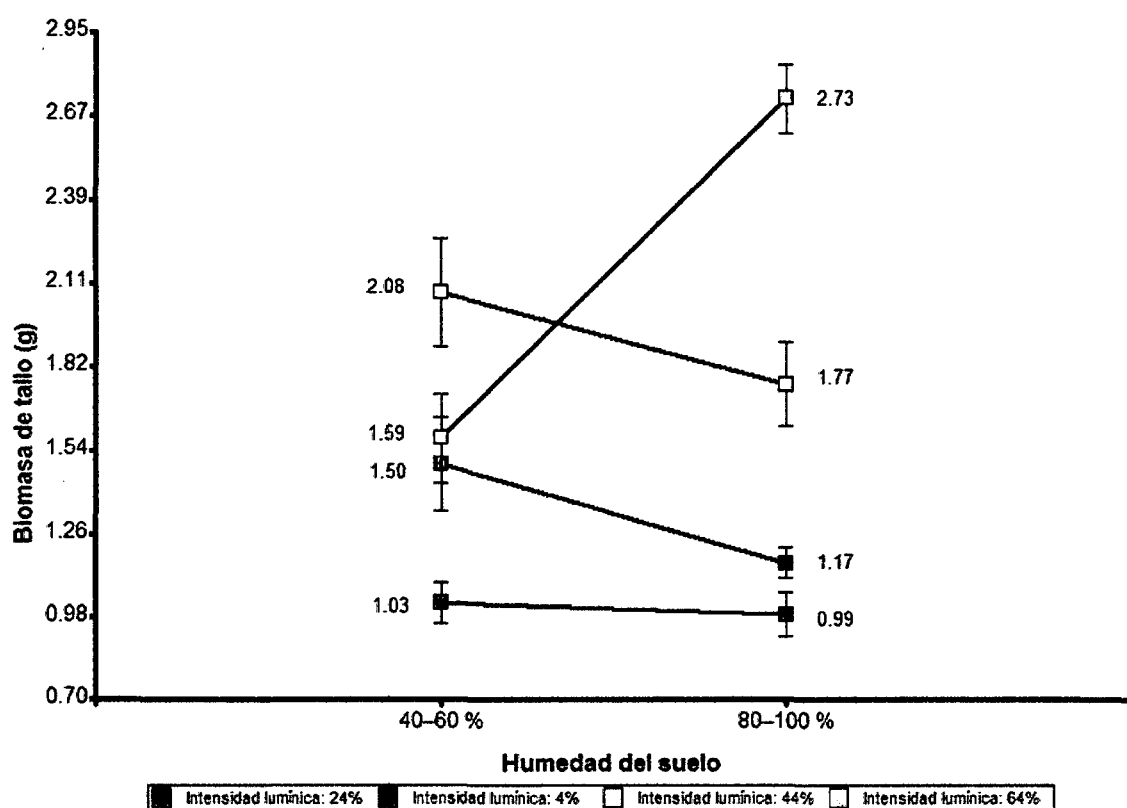


Figura 5. Biomasa de tallo (g) lograda por cada nivel de humedad del suelo en los cuatro niveles de intensidad lumínica.

El segundo análisis de la interacción, basado en los niveles de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica, se observa que para los niveles de 4, 24 y 44% de intensidad lumínica no existe diferencias

estadísticas ($p > 0.05$) entre los niveles de humedad del suelo. Pero para el nivel de 64% de intensidad lumínica se determina diferencia significativas ($p < 0.05$) entre los niveles de humedad del suelo, resultando que con 80 - 100 % de humedad del suelo logra mayor biomasa de tallo que con 40 - 60% de humedad (2.73 y 1.59 g respectivamente) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis del efecto simple entre el nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica como influencia en la biomasa de tallo lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).

Clave	Significancia	Humedad del suelo	Biomasa de tallo (g)
B en a₁			
Humedad del suelo en 4 % de intensidad lumínica	0.0776	40 - 60%	1.5 \pm 0.16 a
		80 - 100%	1.17 \pm 0.05 a
B en a₂			
Humedad del suelo en 24 % de intensidad lumínica	0.7036	40 - 60%	1.03 \pm 0.07 a
		80 - 100%	0.99 \pm 0.07 a
B en a₃			
Humedad del suelo en 44 % de intensidad lumínica	0.215	40 - 60%	2.08 \pm 0.18 a
		80 - 100%	1.77 \pm 0.14 a
B en a₄			
Humedad del suelo en 64 % de intensidad lumínica	0.0003	40 - 60%	1.59 \pm 0.15 b
		80 - 100%	2.73 \pm 0.11 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p \leq 0.05$).

Los resultados del Cuadro 11, donde para lograr mayor biomasa de tallo se debe trabajar con un nivel de 64% de intensidad lumínica y entre 80 - 100% de humedad del sustrato (2.73 g) (Figura 6).

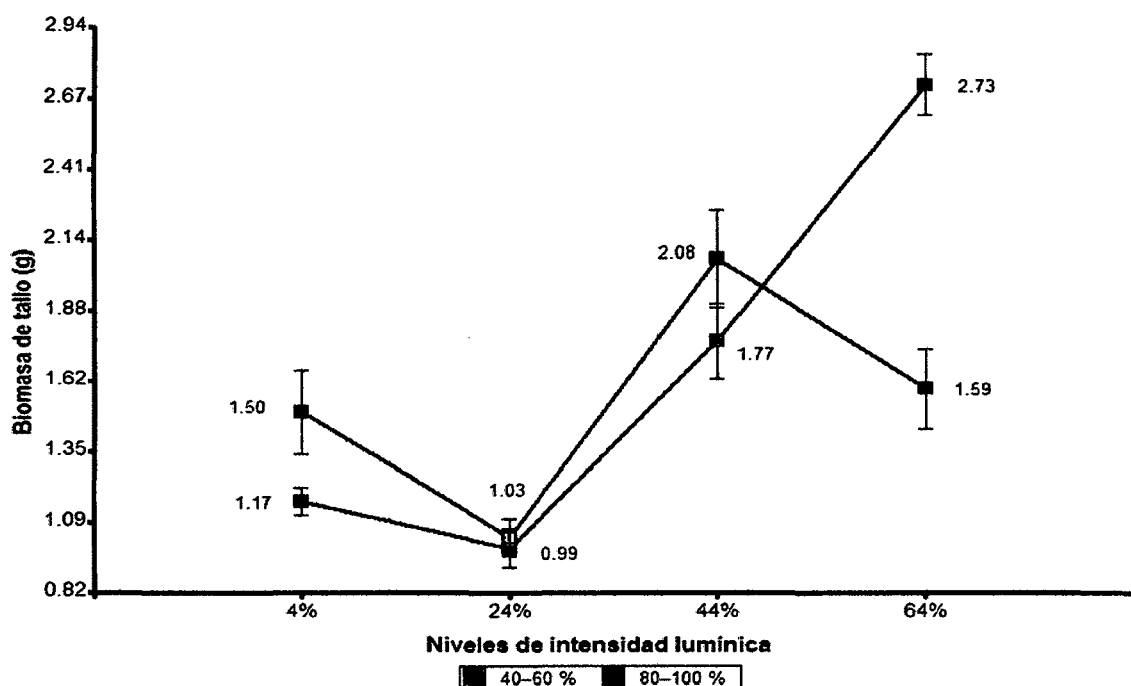


Figura 6. Biomasa de tallo (g) lograda por cada nivel de intensidad lumínica en dos niveles de humedad del suelo.

Los valores de biomasa de tallo logrados por tratamiento en la quinta evaluación. Los mejores tratamientos con mayor biomasa de tallo corresponden a la interacción de 64% de intensidad de luz con 80 - 100% de humedad del suelo (2.73 g), seguido de los tratamientos de 44% de intensidad de luz con 40 - 60% de humedad de suelo (2.08) (Figura 7).

El tratamiento con menor biomasa de tallo corresponde a la interacción de 24% de intensidad lumínica con 80 - 100% de humedad del suelo (0.99 g).

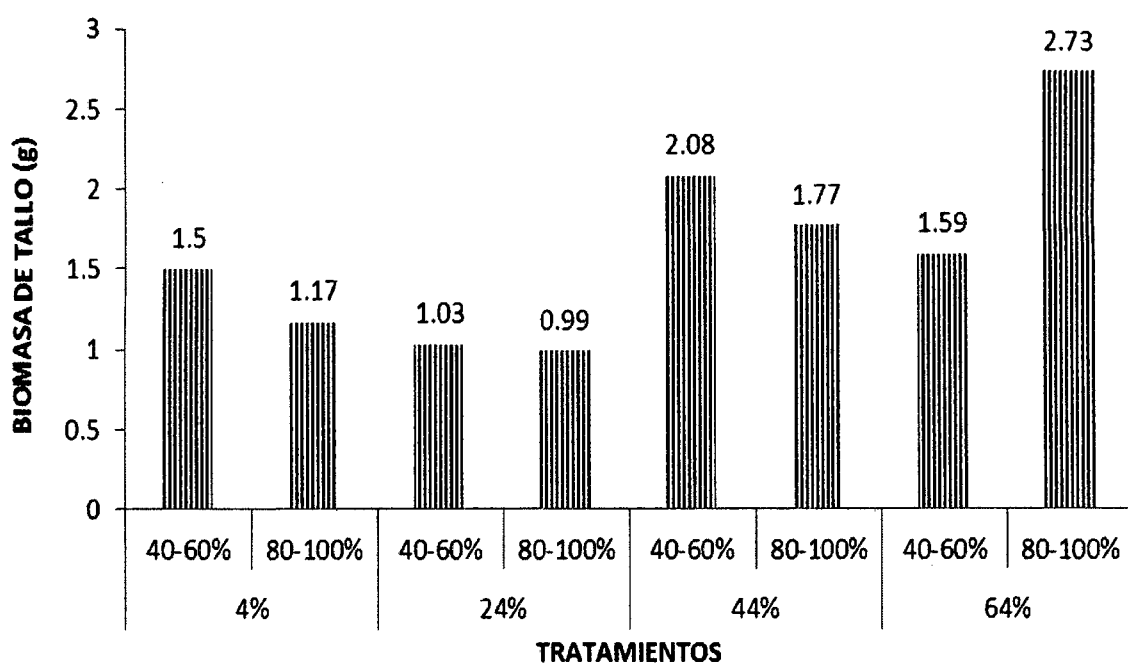


Figura 7. Medias de biomasa de tallo en los ocho tratamientos de estudio, como producto de la interacción del nivel de intensidad de luz y humedad del suelo.

4.1.3. Biomasa radicular

El análisis de varianza con respecto a la biomasa radicular en cinco periodos de evaluación. No se determina diferencias estadísticas ($p > 0.05$) en los efectos simples en la primera, segunda y tercera evaluación.

A partir de la cuarta y quinta evaluación es clara la influencia de la interacción del nivel de intensidad lumínica y nivel de humedad del suelo sobre la biomasa radicular de la planta. La variabilidad de la quinta evaluación es del 21% el cual muestra cierta heterogeneidad de las observaciones, asimismo presenta un r -cuadrado del 79%, el cual explica el modelo propuesto (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza para la biomasa radicular correspondiente a cada mes de evaluación, con un nivel de significancia del 5%.

Fuentes de variación	GL	Primera evaluación		Segunda evaluación		Tercera evaluación		Cuarta evaluación		Quinta evaluación	
		CM	Significancia	CM	Significancia	CM	Significancia	CM	Significancia	CM	Significancia
Luz	3	0.00310	0.002 *	0.17	<0.0001 *	0.21	0.0009 *	0.45	0.0112 *	0.99	<0.0001 *
Humedad	1	0.00001	0.9058 ns	0.0014	0.7398 ns	0.39	0.001 *	0.15	0.2409 ns	0.11	0.0751 ns
Luz x Humedad	3	0.00140	0.0608 ns	0.03	0.1147 ns	0.07	0.075 ns	0.83	0.0004 *	0.36	0.0001 *
Error	32	0.00051		0.01		0.03		0.1		0.03	
Total	39										
	CV	23.00%		30.00%		36.00%		30.00%		21.00%	
	R ²	0.45		0.59		0.57		0.55		0.79	

(ns) No significativo

(*) significativo

El análisis del efecto simple indica que en cada nivel de humedad del suelo estudiado, existe una alta diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los niveles de intensidad de luz. Para un nivel de 40 - 60% de humedad de suelo los niveles de 44 y 64% de intensidad de luz lograron mayor biomasa radicular (1.01 y 0.97 g por planta respectivamente). Mientras que en el nivel de 80 - 100% de humedad del suelo la mayor biomasa radicular se logra de con 64% de intensidad lumínica (1.64 g por planta) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis del efecto simple entre nivel de intensidad lumínica en cada nivel de humedad del suelo como influencia en la biomasa radicular lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).

Clave	Significancia	Intensidad lumínica	Biomasa radicular (g)
B en a₁			
Intensidad lumínica con 40 - 60% de humedad en el suelo	0.0003	4%	0.69 \pm 0.06 b
		24%	0.67 \pm 0.07 b
		44%	1.01 \pm 0.03 a
		64%	0.97 \pm 0.04 a
B en a₂			
Intensidad lumínica con 80 - 100% de humedad en el suelo	<0.0001	4%	0.54 \pm 0.16 c
		24%	0.67 \pm 0.03 bc
		44%	0.91 \pm 0.08 b
		64%	1.64 \pm 0.1 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p \leq 0.05$).

La interacción, donde se demuestra que por cada nivel de humedad evaluada la mayor producción de biomasa radicular se logró en plantas con 44 y 64% de intensidad lumínica (Figura 8).

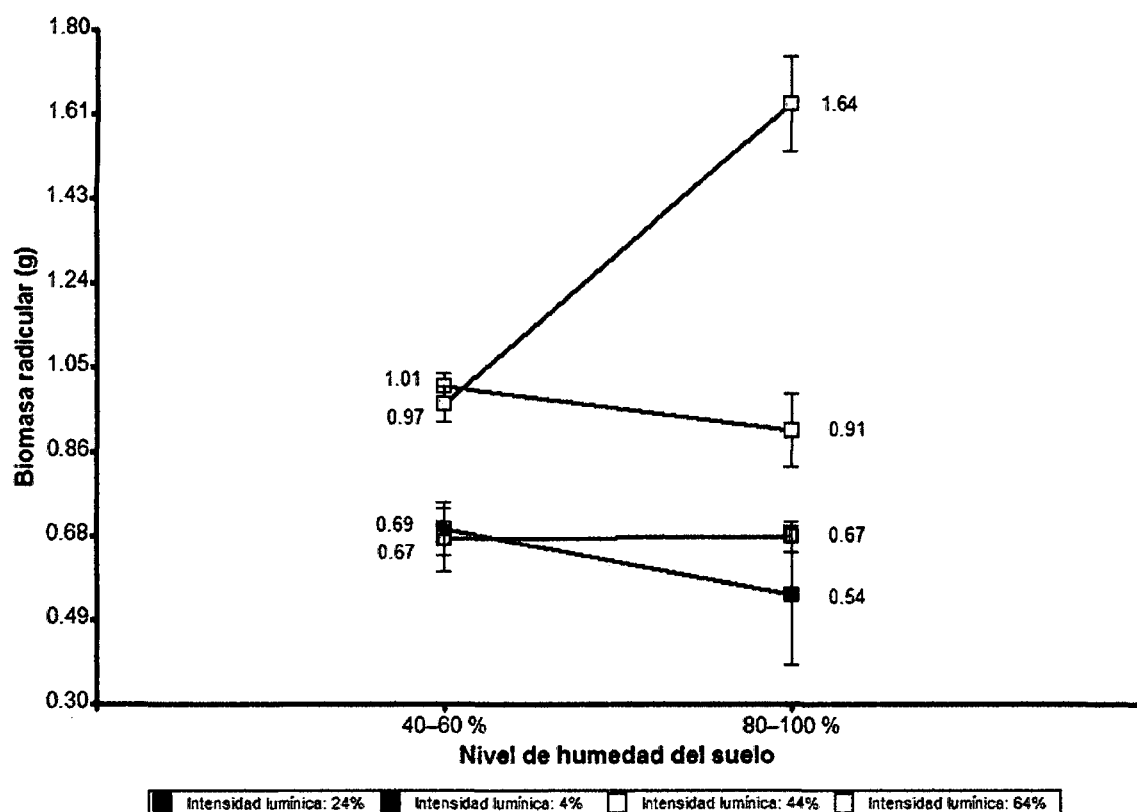


Figura 8. Biomasa radicular (g) lograda en cada nivel de humedad del suelo y niveles de intensidad lumínica.

En el análisis de la interacción humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica, se determina que para los cuatro niveles solo en el de 64% de intensidad lumínica se encuentran diferencia estadística ($p < 0.05$) entre los distintos niveles de humedad del suelo, con respecto a la biomasa radicular, resultando con mayor biomasa aquella que empleo de 80 - 100% de humedad del suelo que aquella de 40 - 60% (1.64 y 0.97 g por planta respectivamente) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis del efecto simple entre el nivel de humedad del suelo en cada tipo de sustrato como influencia en la biomasa radicular lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).

Clave	Significancia	Humedad del suelo	Biomasa radicular (g)
B en a₁			
Humedad del suelo en 4	0.3996	40 - 60%	0.69 \pm 0.06 a
% de intensidad lumínica		80 - 100%	0.54 \pm 0.16 a
B en a₂			
Humedad del suelo en 24	0.9469	40 - 60%	0.67 \pm 0.07 a
% de intensidad lumínica		80 - 100%	0.67 \pm 0.03 a
B en a₃			
Humedad del suelo en 44	0.2986	40 - 60%	1.01 \pm 0.03 a
% de intensidad lumínica		80 - 100%	0.91 \pm 0.08 a
B en a₄			
Humedad del suelo en 64	0.0004	40 - 60%	0.97 \pm 0.04 b
% de intensidad lumínica		80 - 100%	1.64 \pm 0.10 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p \leq 0.05$).

El comportamiento de la biomasa radicular, como puede observarse en cada nivel o gradiente de intensidad lumínica solo en 64% se observa diferencia significativa entre los dos niveles de humedad del suelo resultando la de 80 - 100% de humedad con mayor producción de biomasa

(1.64 g por planta). Los niveles de 4, 24 y 44% de intensidad lumínica no logran determinar diferencia significativa entre los niveles de humedad logrando similares contenidos de biomasa radicular (Figura 9).

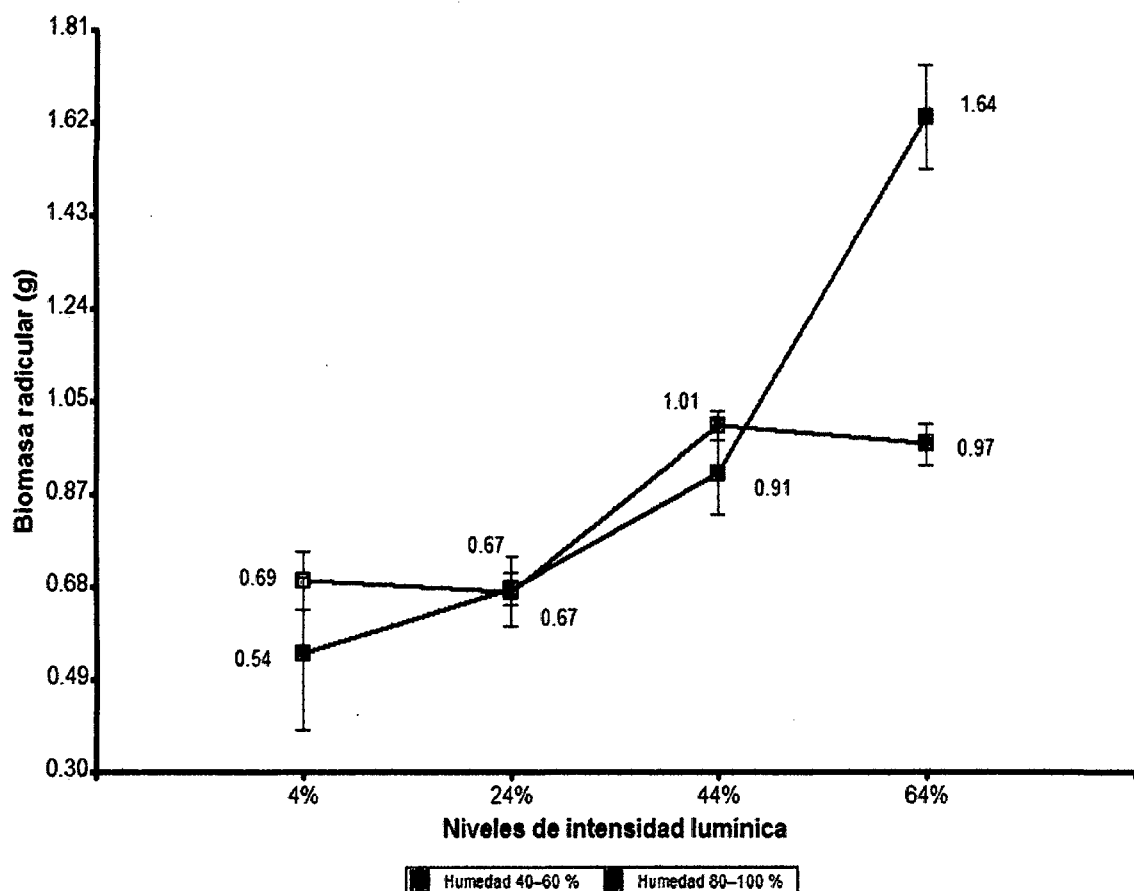


Figura 9. Biomasa radicular (g) lograda por efecto del nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica.

Las medias de biomasa radicular logradas como producto de la interacción entre la intensidad lumínica y nivel de humedad del suelo de la combinación con el tipo de sustrato y nivel de humedad del suelo. El cual comparando todas las combinaciones resultan con mayor producción de biomasa aquellas con 64% de intensidad lumínica y con 80 - 100% de humedad del suelo a comparación del resto de combinaciones (Figura 10).

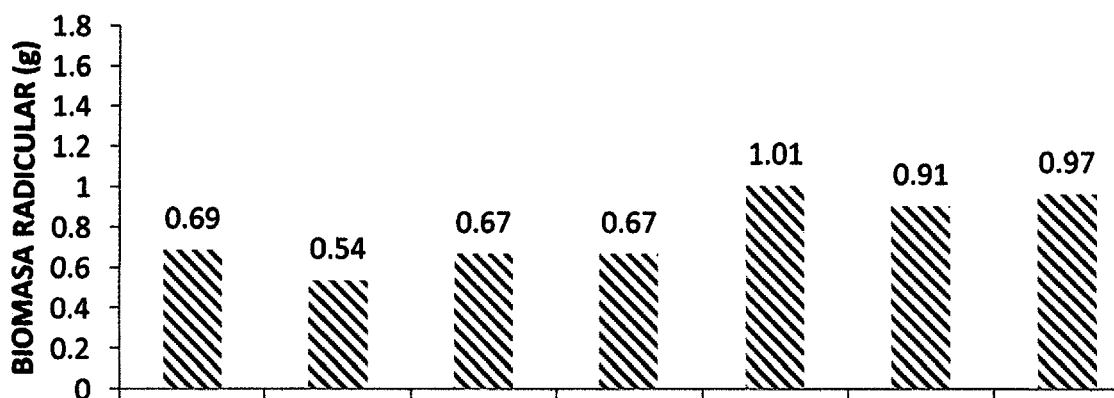


Figura 10. Medias de biomasa radicular en los ocho tratamientos de estudio, como producto de la interacción del nivel de intensidad lumínica y niveles de humedad del suelo.

4.2. Producción total de biomasa en plantones de *Cedreia odorata* L. bajo cuatro niveles de luz y dos niveles de humedad del suelo

El análisis de varianza con respecto a la producción total de biomasa. Se observa que en todas las evaluaciones, resultan significativos ($p < 0.05$) los efectos simples (interacciones). Este resultado nos prueba que la biomasa total está influenciada por la interacción de la intensidad lumínica y la humedad del suelo en todas las evaluaciones.

La quinta evaluación presenta un alto porcentaje de datos que se ajustan al modelo propuesto (r -cuadrado = 0.82) y una baja heterogeneidad debido a que el valor del coeficiente de variación alcanzó un valor del 12% (Cuadro 15).

Cuadro 15. Análisis de varianza para la producción total de biomasa correspondiente a cada mes de evaluación, con un nivel de significancia del 5%.

Fuentes de variación	GL	Primera evaluación		Segunda evaluación		Tercera evaluación		Cuarta evaluación		Quinta evaluación	
		CM	Significancia	CM	Significancia	CM	Significancia	CM	Significancia	CM	Significancia
Luz	3	0.23	0.0002 *	2.65	<0.0001 *	1.7	0.0006 *	1.95	0.0009 *	3.55	<0.0001 *
Humedad	1	0.0005	0.8943 ns	0.18	0.178 ns	3.1	0.0008 *	1.91	0.013 *	0.52	0.0571 ns
Luz x Humedad	3	0.16	0.002 *	0.7	0.0006 *	0.71	0.038 *	6.06	<0.0001 *	2.84	<0.0001 *
Error	32	0.03		0.09		0.22		0.28		0.13	
Total	39										
	CV	29.00%		20.00%		22.00%		13.00%		12.00%	
	R ²	0.58		0.77		0.59		0.75		0.82	

(ns) No significativo.

(*) Significativo.

El análisis del efecto simple para un nivel de 40 - 60% de humedad del suelo no determina diferencia estadística entre los cuatro niveles de intensidad lumínica ($p > 0.05$), resultando indiferente sobre la biomasa acumulada. Sin embargo, para un nivel de 80 - 100% de humedad del suelo, se encuentra alta diferencia significativa ($p < 0.0001$) entre los distintos niveles de intensidad lumínica. La prueba de medias según Fisher, determina que el nivel de 64% de intensidad lumínica logra mayor biomasa total (4.84 g por planta) a comparación del resto de intensidades. La intensidad lumínica de menor biomasa total resultó la de 24% con 2.29 g por planta (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis del efecto simple entre los niveles de intensidad lumínica en cada nivel de humedad del suelo como influencia en la producción de biomasa total lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).

Clave	Significancia	Intensidad lumínica	Biomasa total (g)
B en a₁			
Intensidad lumínica con 40 - 60% de humedad en el suelo	0.1562	4%	3.22 \pm 0.17 a
		24%	2.65 \pm 0.21 a
		44%	3.23 \pm 0.21 a
		64%	3.01 \pm 0.18 a
B en a₂			
Intensidad lumínica con 80 - 100% de humedad en el suelo	<0.0001	4%	2.92 \pm 0.16 b
		24%	2.29 \pm 0.06 c
		44%	2.98 \pm 0.14 b
		64%	4.84 \pm 0.12 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p \leq 0.05$).

En la biomasa total lograda por efecto de la interacción humedad del suelo e intensidad lumínica, solo a un nivel de 80 - 100% de humedad del suelo puede determinarse diferencia estadística entre los cuatro niveles de luz, mientras que para un nivel de 40 - 60% de humedad del suelo no se logra determinar diferencias estadísticas entre los niveles de luz (Figura 11).

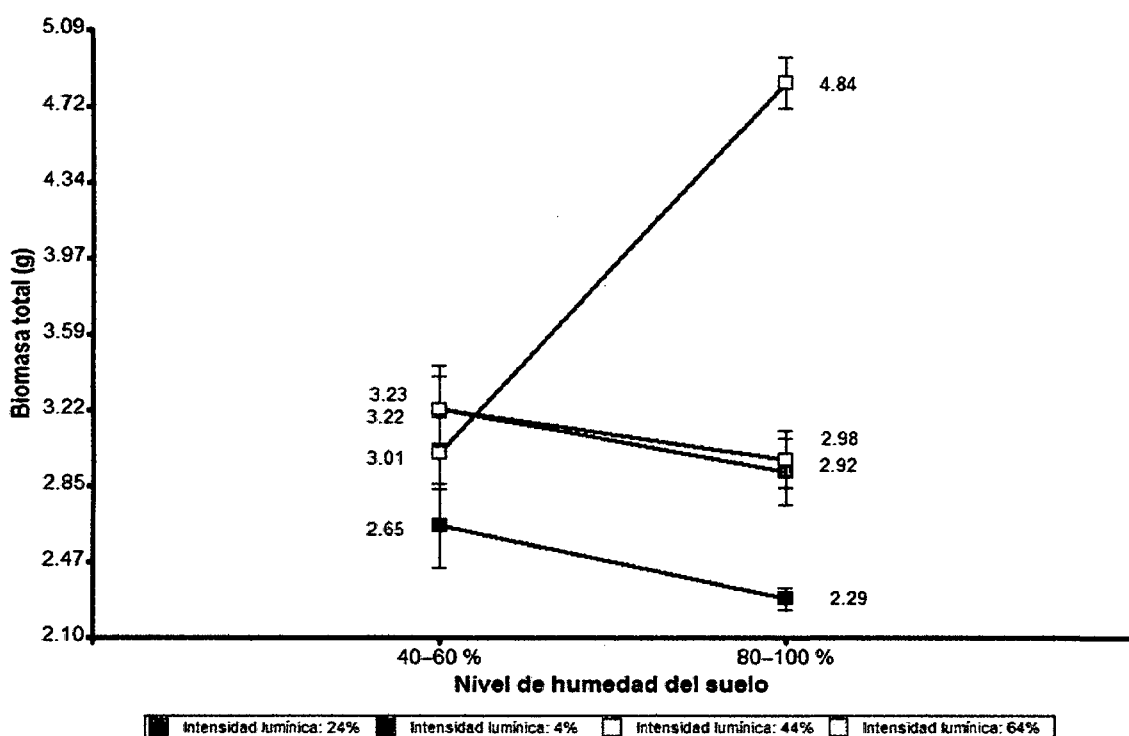


Figura 11. Producción total de biomasa (g) lograda por cada nivel de humedad del suelo y cuatro niveles de intensidad lumínica.

El análisis del efecto simple entre el nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica. Los resultados muestran que tanto para un nivel de luz del 4, 24 y 44% no existe diferencias entre los contenidos de humedad del suelo con respecto a la biomasa total acumulada al quinto mes por los plantones. El 64% de intensidad lumínica si logra determinar diferencia significativas entre los niveles de humedad, resultando que a un nivel de 80 -

100% de humedad del suelo se logra mayor biomasa total acumulada, que a un nivel de 40 - 60% de humedad del suelo (4.84 y 3.01 g por planta respectivamente) (Cuadro17).

Cuadro 17. Análisis del efecto simple entre el nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica en la producción de biomasa total lograda al quinto mes de evaluación (promedio \pm error estándar).

Clave	Significancia	Humedad del suelo	Biomasa total (g)
B en a₁			
Humedad del suelo en 4 % de intensidad lumínica	0.2277	40-60%	3.22 \pm 0.17 a
		80-100%	2.92 \pm 0.16 a
B en a₂			
Humedad del suelo en 24 % de intensidad lumínica	0.1304	40-60%	2.65 \pm 0.21 a
		80-100%	2.29 \pm 0.06 a
B en a₃			
Humedad del suelo en 44 % de intensidad lumínica	0.3628	40-60%	3.23 \pm 0.21 a
		80-100%	2.98 \pm 0.14 a
B en a₄			
Humedad del suelo en 64 % de intensidad lumínica	<0.0001	40-60%	3.01 \pm 0.18 b
		80-100%	4.84 \pm 0.12 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ($p \leq 0.05$).

Solo con 64% de intensidad lumínica se logra encontrar diferencias estadísticas entre los niveles de humedad del suelo (Figura 12).

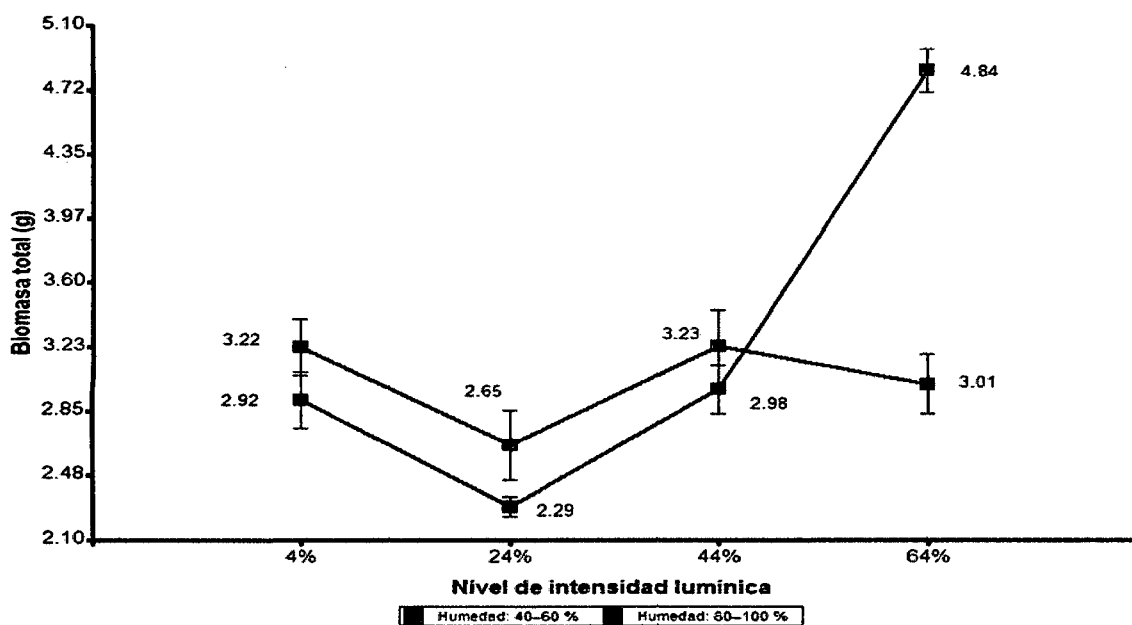


Figura 12. Producción total de biomasa (g) lograda por nivel de humedad del suelo en cada nivel de intensidad lumínica.

Se logró mayor producción de biomasa total en la combinación entre 64% de intensidad lumínica con 80 - 100% de humedad del suelo, a comparación del resto de combinaciones (Figura 13).

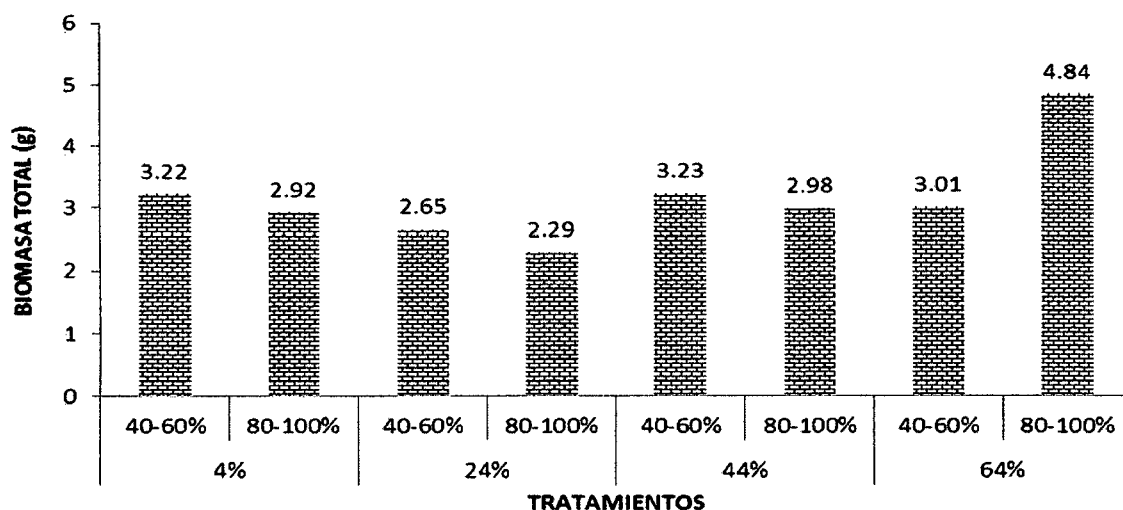


Figura 13. Producción de biomasa total en ocho tratamientos, como producto de la interacción de la intensidad lumínica y humedad del suelo.

4.3. Relación biomasa aérea/biomasa subterránea (BA/BS)

En la quinta evaluación se puede observar en los tres primeros tratamientos que corresponden a niveles de 4 y 24% de intensidad lumínica con 40 - 60% y 80 - 100% de humedad del suelo presentan mayor índice BA/BS, que el resto de tratamientos (3.67, 4.41, y 2.97 respectivamente). Esto refleja menor producción de biomasa radicular que aquellos tratamientos con 64% de intensidad lumínica y con 40 - 60% y 80 - 100% de humedad del suelo (Tratamientos 7 y 8), que presentan menores índices (2.1 y 1.95) el cual indican mayor producción de biomasa radicular (Figura 14).

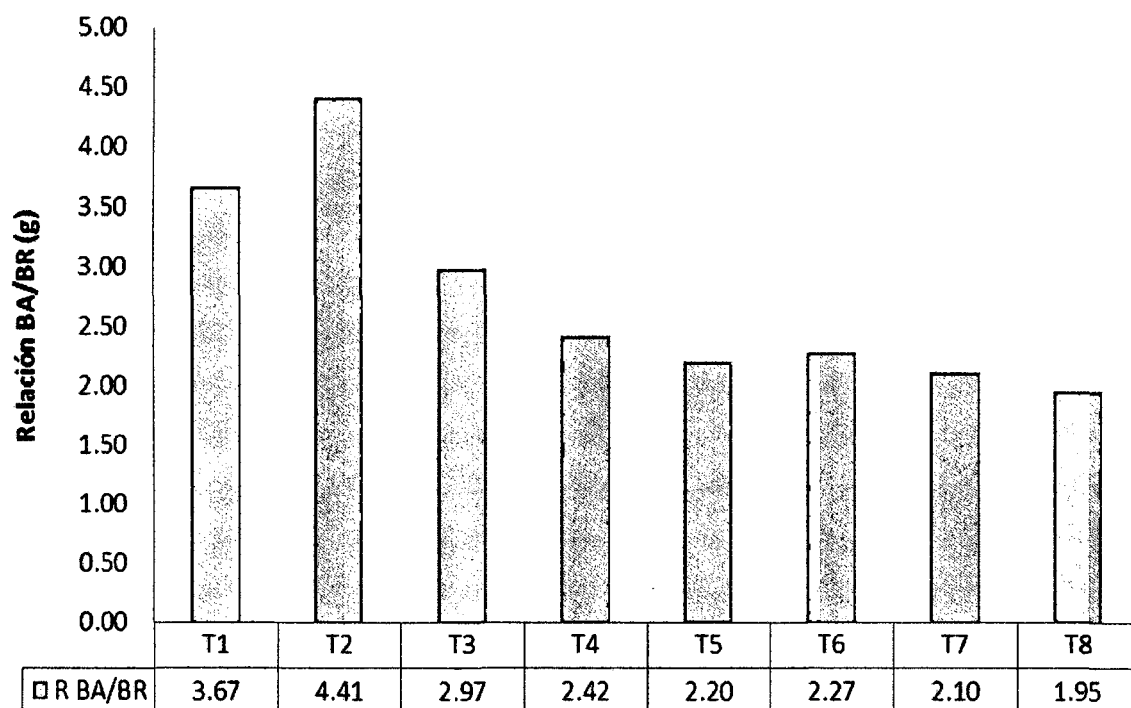


Figura 14. Relación biomasa aérea-biomasa radicular en ocho tratamientos por efecto de la interacción entre nivel de intensidad lumínica (4, 24, 44 y 64 %) y nivel de humedad del suelo (40 - 60 % y 80 - 100 %) a la quinta evaluación.

Los tratamientos que recibieron mayor intensidad lumínica lograron mayor biomasa radicular, por ende mayor cociente, haciendo menor el valor de esta relación (Figura 15). La relación de la biomasa radicular del total, ratifica que los tratamientos con más intensidad lumínica de 44 y 64% (T₅, T₆, T₇ y T₈) presentan porcentajes radiculares superiores al 30% del total (Figura 16).

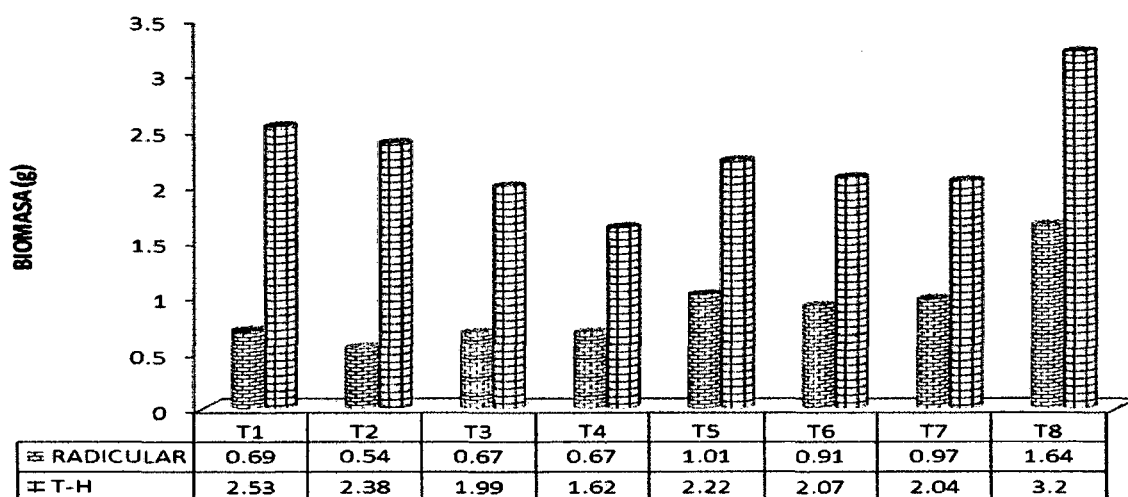


Figura 15. Contenido de la biomasa radicular y biomasa aérea (T-H) en ocho tratamientos a la quinta evaluación.

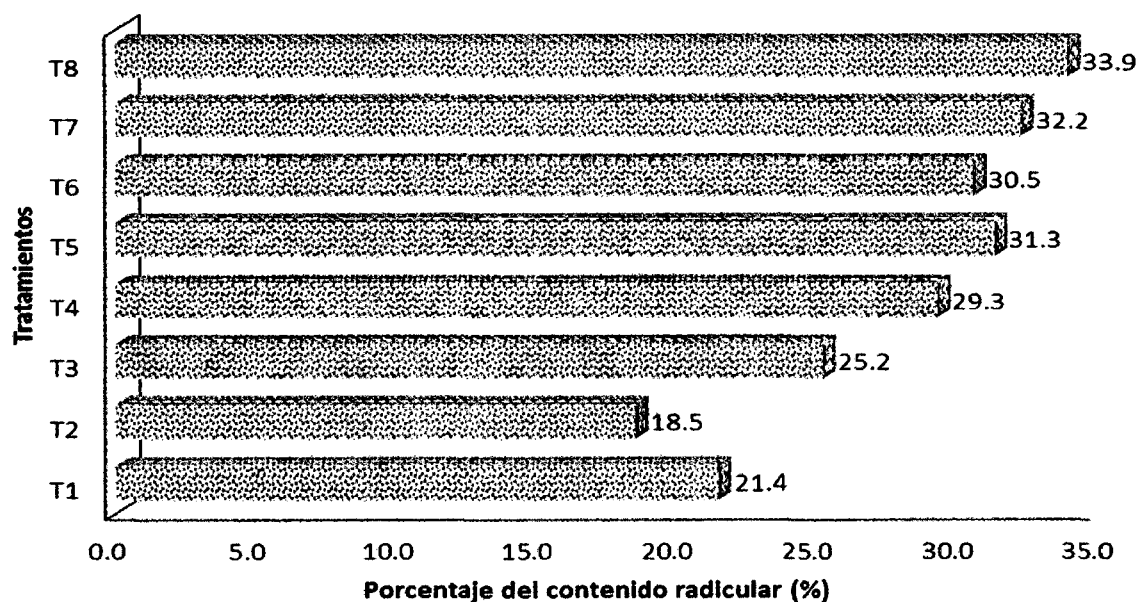


Figura 16. Porcentaje del contenido de biomasa radicular de la biomasa total.

4.4. Relación área foliar/biomasa total (AF/BT) ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$)

Las proporciones de área foliar y biomasa total en los ocho tratamientos a la quinta evaluación respecto de la biomasa total los tratamientos del 1 al 7 presentan un comportamiento similar en cuanto al contenido de biomasa total, la cual solo el tratamiento 8 (64% de intensidad lumínica y 80 - 100% de humedad del suelo) muestra mayor producción de biomasa total. Por otra parte, con respecto al área foliar el tratamiento 5 (44% de intensidad lumínica con 40 - 60% de humedad del suelo) presenta menor contenido de área foliar que el resto de los tratamientos (Figura 17).

El índice entre el área foliar y el contenido de biomasa total se muestra en la Figura 18.

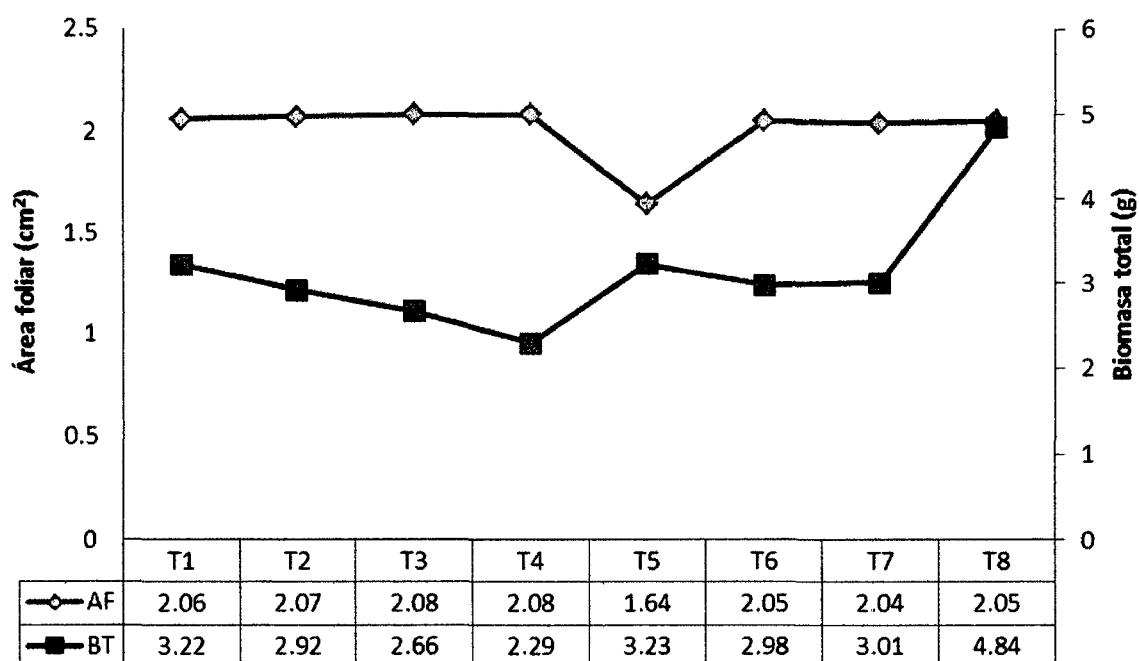


Figura 17. Proporción de área foliar y biomasa total de los ocho tratamientos evaluados al quinto periodo.

El índice de la relación área foliar y biomasa total en los resultados muestran que aquellos con mayor biomasa generaron menor índice (Tratamiento 8), sin embargo también el tratamiento 5 presenta menor índice y se debe a que presenta menor producción de área foliar (Figura 18).

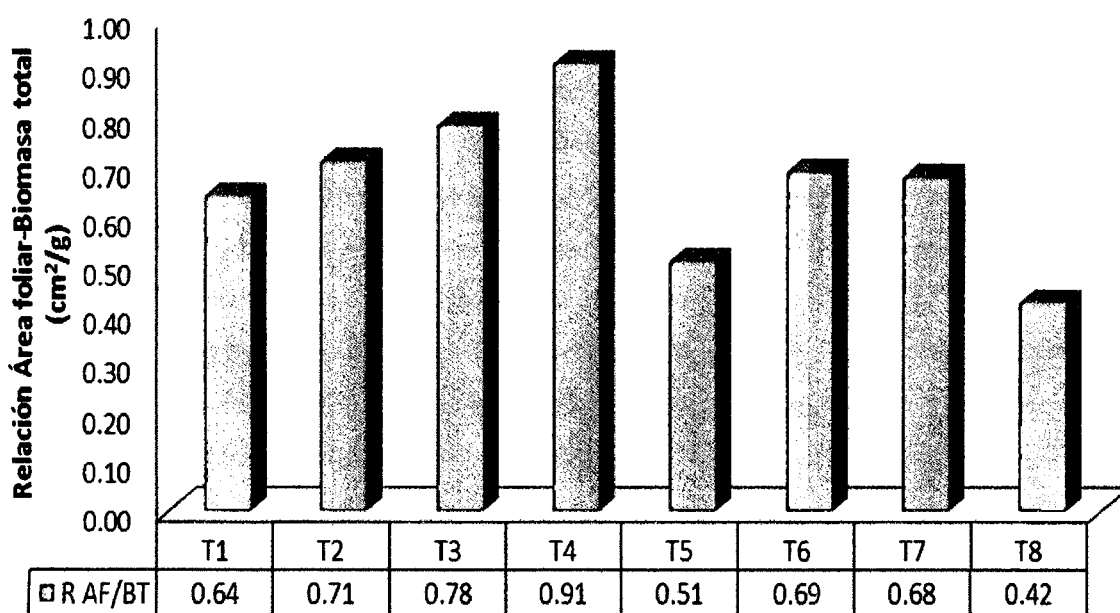


Figura 18. Índice de la relación área foliar – biomasa total en ocho tratamientos de la quinta evaluación.

V. DISCUSIÓN

5.1. Cuantificación de la producción de biomasa de hojas, tallos y raíces en plántones de *Cedrela odorata* L.

Con respecto a la biomasa de las hojas, el Cuadro 6 muestra que el efecto de la interacción entre los niveles de intensidad lumínica y humedad del suelo resultan significativos ($p < 0.05$) a la quinta evaluación. Para cada nivel de humedad del suelo existe diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre los niveles de intensidad lumínica resultando mayor biomasa radicular aquellas con menor porcentaje de luz (4 y 24%). Estos resultados concuerdan con PARDE (1980), quien afirma que durante los primeros meses la biomasa de hojas presenta mayor variación hasta estabilizarse a mayor edad de planta (Cuadro 7) (Figura 2).

Estos resultados confirman lo expuesto por AMÉZQUITA *et al.* (2008), quienes afirman la acumulación de biomasa de la planta se produce a través del metabolismo vegetal que inicia con la fotosíntesis, el cual a una biomasa de más de 50 gramos el número de hojas y el índice de área foliar está asociado directamente con la biomasa foliar (DE LA MAZA *et al.*, 2003); aunque PARDE (1980) afirma que la biomasa foliar presenta una mayor variación, sobre todo en los primeros meses de edad hasta estabilizarse.

Según los estudios de VALLADARES (2004) sobre estrés causado por luz y agua en plantas de bosque, existe una clara influencia y correlación sobre cualquier variación sobre la biomasa lograda, estando que si la planta entrase a mayor estrés, la biomasa se verá afectada directamente proporcional; los resultados del trabajo permiten afirmar que la luz influye directamente sobre la producción de biomasa en hojas, tallos y raíces, logrando determinar diferencias entre las cantidades de 40 - 60% de humedad a capacidad de campo versus aquellas a 100% de capacidad de campo, coincidiendo los trabajos de ROMO (2005) en el cual afirma que el factor que más afecta a las plantas en el sotobosque es el factor luz.

Sobre la biomasa de tallo y radicular se determinó que tal como afirma ROMO (2005) la luz es el factor determinante para lograr probabilidad de sobrevivencia, esta sobrevivencia se traduce como mayor biomasa, es así que los resultados en cuanto a la biomasa de tallo y raíz se logran mayor biomasa a mayor intensidad lumínica (64%), y con un 100% de humedad del suelo, coincidiendo con lo reportado por VALLADARES (2004) que sin estrés hídrico se obtienen mayores probabilidades de sobrevivencia.

La humedad del suelo influye en la biomasa dependiendo de la intensidad lumínica que recibe, por ello, aquellos plantones con mayor luz (64%) lograron mayores biomásas dado que uno de los factores determinantes en la degradación de la materia orgánica es la humedad del suelo esta se torna importante medio de disolución de los nutrientes y del transporte de este hacia el metabolismo de la planta (CALVO *et al.*, 2008 y BINKLEY *et al.*, 1998).

La biomasa radicular se vio afectada por la interacción del nivel de luminosidad y nivel de humedad del suelo (Cuadro 12, 13 y 14); determinándose que a mayor luminosidad (64%) y con 100% de humedad del suelo se logra mayor biomasa, que utilizando solo 40 - 60% de humedad; cuando se utilizaron otros niveles menores de luz, no resultaron significativos los niveles de humedad, este resultado describe el adecuado clima propicia para el cultivo tal como lo indican diversos autores (VALLEDARES, 2004; ROMO, 2005; GARCÍA, 1996).

5.2. Producción total de biomasa producida en plantones de *Cedrela odorata* L. bajo cuatro niveles de luz y dos niveles de humedad del suelo

La biomasa total (tallos, hojas y raíces) mostró que está influenciada por la humedad del suelo y la intensidad lumínica. Cuando las plantas fueron sometidas a 40 - 60% de humedad del suelo, los niveles de intensidad lumínica no influenciaron sobre la biomasa total, sin embargo para un 80 - 100% de humedad del suelo, los distintos niveles de intensidad lumínica mostraron variados contenidos de biomasa total estadísticamente diferenciados. Es así que la mayor biomasa total se logra a un 64% de luz (el mayor nivel evaluado) que el resto de niveles (4.84 g por planta). Estos resultados concuerdan con los trabajos realizados en diferentes investigaciones donde las mejores biomásas se dieron en las mejores condiciones de humedad y luz en distintas especies forestales (THOMPSON, 1985; KRÜGER, 2007; NEGREROS *et al.*, 2010). Por otra parte NAVARRO *et al.* (2013) confirman que las plantas de especies

forestales, requieren en su etapa inicial nutrientes que le permitan desarrollar el sistema radicular y la biomasa total.

Si bien la mayor intensidad lumínica (64%) permitió un mayor proceso fotosintético debido a las condiciones abundantes de agua, tal como lo afirma ROMO (2005), donde indica que en zonas deforestadas (mayor luz) se logran mayores contenidos de biomasa total, basado principalmente en sistema radicular asegurando su sobrevivencia. El complejo sistema de la especie responde a la disponibilidad suficiente de agua y luz, los cuales confirman los resultados obtenidos, puesto que se logró mayor biomasa total con la mayor luminosidad y el mayor nivel de humedad del suelo. Estas características del cultivo convierten en una potencial alternativa como cultivo para mitigar el cambio climático, porque demuestra el gran potencial del cultivo para capturar carbono (AMÉZQUITA *et al.*, 2008).

5.3. Biomasa aérea/biomasa subterránea (BA/BS)

Las relaciones entre estas variables indican que las plantas con adecuado sistema radicular con respecto a su biomasa total, fueron aquellas que recibieron mayor luminosidad y mayor humedad del suelo. Esto es porque la humedad brinda las mejores condiciones para el desarrollo radicular y el metabolismo de la planta (VALLADARES, 2004; HAYASHIDA *et al.*, 2001; VALAREZO, 2001). NACIMA (2006) confirma que el método de verificación del desarrollo de la planta es con base a los indicadores de la biomasa aérea y radicular, logran con ello determinar el potencial de la especie a ser evaluada.

NEGREROS *et al.* (2010) presenta resultados favorables de la relación biomasa aérea y subterránea en tres especies forestales los cuales coinciden con los obtenidos cuando las plantas fueron sometidas a mejores condiciones nutrimentales y de humedad.

Estudios sobre la relación biomasa aérea y biomasa radicular fueron para GARCÍA (1996) de una relación de 2:1 para especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus douglasiana*, sin embargo para nuestro estudio se logró una relación de 3:1 entre la biomasa aérea y la biomasa radicular. Según THOMPSON (1985), esta relación es un indicador efectivo cuando se relaciona la parte aérea con el sistema radicular.

5.4. Relación área foliar/biomasa total (AF/BT) ($\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$)

Los cambios en la disponibilidad de luz pueden conducir a diferencias en las características fotosintéticas (MARTÍNEZ PASTUR *et al.*, 2007), en la anatomía de las hojas, y consiguientemente, en el crecimiento de las plantas (TOGNETTI *et al.*, 1998). Numerosos estudios demuestran que especies demandantes de luz maximizan su potencial de crecimiento al desarrollar una alta área foliar, destinando los fotosintatos principalmente al crecimiento, y poco de ellos a defensas o acumulación (LUSK y DEL POZO, 2002). Es por ello que en plantas con alta tolerancia a la sombra, el crecimiento se sacrifica en favor de la persistencia (WALTERS y REICH, 1999).

La producción de fotosintatos de los plantones está directamente relacionada con la intensidad lumínica (LARCHER, 2003). En bajos niveles de

luz, los plantones produjeron una mayor relación de biomasa aérea/subterránea, aumentando la superficie de área foliar para incrementar la captación de luz, debido a que éste fue el factor limitante para su desarrollo. Aunque la tasa fotosintética aumenta con la disponibilidad de luz, alcanzando valores similares bajo una intensidad lumínica media y alta (MARTÍNEZ PASTUR *et al.*, 2007), la disponibilidad de luz siguió siendo el factor limitante para el desarrollo de los plantones. Debido a esto, presentó una alta relación de biomasa aérea/subterránea en luminosidad alta, pero alcanzó mayores valores de área foliar.

Los plantones desarrollados en altos niveles de luminosidad y baja humedad del suelo produjeron una menor área foliar. Estas plantas destinaron una mayor proporción de fotosintatos a la producción de raíces, aumentando de esta manera la capacidad de absorción de agua, de modo de mantener la turgencia de las hojas frente a la mayor evapotranspiración a la que se ven sometidos los plantones. Este mismo patrón de mayor reducción en la relación de biomasa aérea/subterránea fue también descrito para plantones de *F. sylvatica* (AMMER, 2003). La disminución del área foliar observada en los plantones creciendo bajo intensidades de luz media está asociada a mecanismos de estos para limitar la evapotranspiración. Esta reducción en la evapotranspiración mejora el nivel hídrico de la planta, y mejora la actividad fotosintética y el crecimiento de la misma (AUSSENAC, 2000).

El grado de sombra que reciben los plantones de especies leñosas puede, alternativamente, facilitar o inhibir la supervivencia de los mismos,

dependiendo de las condiciones hídricas del suelo (HOLMGREN *et al.*, 1997). Las plantas leñosas presentan marcadas diferencias en la respuesta y tolerancia al estrés hídrico.

Mejorar el entendimiento sobre la interacción del microclima y la ecofisiología de los árboles, especialmente en cuanto a la cantidad de luz y humedad del suelo disponible, permite generar prácticas silvícolas viables y útiles durante la formación y manejo de un rodal (AUSSENAC, 2000).

Los resultados observados con un máximo crecimiento y producción de biomasa aérea bajo condiciones de luminosidad alta, coinciden con AUSSENAC (2000) que en general plantea un crecimiento óptimo de árboles jóvenes en bosques templados húmedos bajo condiciones de luminosidad relativa de 25 - 75% de la luz natural incidente. Sin embargo, en condiciones de alta luminosidad, se genera la mayor producción de biomasa subterránea, alcanzando los mismos valores de biomasa total que bajo condiciones de luminosidad media. Diversos estudios evalúan el éxito del establecimiento durante los primeros años luego de las intervenciones, a partir del crecimiento y la biomasa aérea de los plantones (ROSENFELD *et al.*, 2006), sin tener en cuenta la biomasa radicular. Este último es uno de los factores determinantes que aseguran el éxito del establecimiento y supervivencia de la regeneración frente a factores ambientales extremos.

VI. CONCLUSIONES

1. Mayor biomasa de hoja se logra con menor luminosidad (4%), indiferentemente del nivel de humedad del suelo (1.03 g y 1.21 g por planta respectivamente), a comparación de otros niveles de luminosidad. La mayor biomasa de tallo se logra en suelos con 80 - 100% de humedad del suelo y con la máxima luminosidad (2.73 g por planta), a comparación de otros niveles. La mayor biomasa radicular (1.64 g por planta) obtuvieron los plantones que recibieron mayor luminosidad (64%) y mayor humedad del suelo (80 - 100%). La biomasa total por plantón estuvo influenciada por el nivel mayor de luz (64%) y mayor humedad del suelo (80 - 100%), logrando acumular 4.84 g por plantón.
2. La relación biomasa aérea/subterránea (BA/BS) se logra con los tratamientos con mayor intensidad lumínica desde 44% y 64% presentando porcentajes radiculares superiores al 30% de la biomasa total.
3. La relación área foliar/biomasa total (AF/BT) se logra con mayor luminosidad 64% y 80 - 100% de humedad del suelo mayor biomasa total, a comparación del área foliar 44% de intensidad lumínica y 40 - 60% de humedad del suelo presenta menor contenido de área foliar.

VII. RECOMENDACIONES

1. Producir plantones de *Cedrela odorata* L. con 64% de nivel de luz y 80 - 100% de humedad del sustrato para lograr mayor biomasa por plantón.
2. Realizar mayores trabajos de investigación con los gradientes de luminosidad y humedad del suelo anexando otros factores climáticos.
3. Realizar trabajos de investigación en captura de carbono en diversas especies forestales, ornamentales, etc., en fase vivero.
4. Evaluar la producción de biomasa a través del tiempo establecido en campo.
5. Una estrategia para mitigar el calentamiento global es la producción de plantones de *Cedrela odorata* L. sometidas a una luminosidad alta (64%) y con 80 - 100% de humedad del suelo.

DIFFERENTIAL BIOMASS PRODUCTION PLANTS IN COLORADO CEDAR (*Cedrela odorata* L.) UNDER GRADIENTS LIGHT AND SOIL MOISTURE

VIII. ABSTRACT

The economic, ecological and ornamental importance that has *Cedrela odorata* L., is urgent take measurements for his(her,your) conservation, there must be assumed the responsibility of finding diverse solutions to avoid his(her,your) possible extinction. The investigation (research) appeared then with the intention of evaluating the production of biomass in grafts of *Cedrela odorata* L. under light and water gradients of the soil. It was realized in the Forest nursery of the Faculty(Power) of Natural and Renewable Resources " The Heliconias " and the Laboratory of Certification of Forest Seeds, both of the National Agrarian University of the Jungle; established under a Design completely at random (DCA) with arrangement factorial 4A x 2B, the factor To with intensities of light (4 %, 24 %, 44 % and 64 %), and the factor B with the dampness of the soil (40 – 60 y 80 – 100%), And there measured up variables that would represent the production of biomass. To five months, there was major production of biomass in the leaves(sheets) grown with minor luminosity (4 %), indifferently at the level of dampness of the soil (1.03 g and 1.21 g), the best production of biomass in the stem is achieved by soils between(among) 80 - 100 % of dampness and by the major luminosity (2.73 g for plant(floor)); the production of biomass radiculare (1.64 g) and total biomass (4.84 g) was

obtained in grafts that received major luminosity (64 %) and major dampness of the soil (80 - 100 %); better relation between(among) the air / underground biomass was achieved by the light high intensity and the major relation area to foliate / foliate total was achieved by more luminosity and dampness of the soil.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____ 2002. Guía para el establecimiento de plantaciones de pinos a raíz desnuda en Michoacán. Boletín Técnico Núm. 3. Vol. 1. C. E. Uruapan. CIRPAC. INIFAP. SAGARPA-COFOM. Uruapan, Mich. 39 p.
- AMÉZQUITA, M., CASASOLA, F., RAMÍREZ, B., GIRALDO, H., GÓMEZ, H., LLANDERAL, T., VELÁSQUEZ, J., IBRAHIM, M. 2008. Stock and sequestration. In: Carbon sequestration in tropical grassland ecosystem. Wageningen academic publishers. The Netherland. 52 p.
- AMMER, C. 2003. Growth and biomass partitioning of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. seedlings in response to shading and small changes in the R/FR-ratio of radiation. Ann. For. Sci., 60:163-171.
- ARANGO, J.C. 1998. Relación suelo – agua – planta. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 9 p.
- ARÉVALO, L., ALEGRE J., PALM, CH. 2003. Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Lima, Perú.
- AUSSENAC, G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: ecophysiological aspects and consequences for silviculture. Ann. For. Sci., 57:287-301.

- BINKLEY, D., GIARDINA, C. 1998. Why do Tree Species Affect Soils. The Warp and Woof of Tree-soil Interactions. *Biogeochemistry*, 42(1/2):89-106.
- BRADSHAW, C., GIAM, X., SODHI, N. 2010. Evaluating the relative environmental impact of countries. *Plos One*, 5(5):1-16.
- CALVO-ALVARADO, J., ARIAS, D., JIMÉNEZ, C., SOLANO, J.C. 2008. Efecto de cinco sustratos en el contenido foliar de nutrientes y crecimiento inicial de tres especies forestales empleadas en Mesoamérica. *Rev. Kurú: Revista Forestal*, 5(14): 1-15.
- CRONQUIST, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Copyright © 1981. Columbia University Press. Conabio. 53 p.
- DE LA MAZA, C.L., HERNÁNDEZ, J., RODRÍGUEZ, M., ESCOBEDO, F., NOWAK, D.J. 2003. Desarrollo de un sistema de la vegetación urbana con fines de descontaminación atmosférica y de apoyo a la toma de decisiones a nivel municipal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 20 p.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1998. Terms and Definitions. FAO Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 1. Roma, Italia. [En línea]: Catie, (<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2922E/A2922E.PDF>, documentos 16 Ago. 2014).
- FAO. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Boletín de suelos. Roma, Italia. Boletín n° 79. 105 p.

- GARCÍA, M.J. 1996. Coníferas promisorias para reforestación en la Sierra Purhépecha. Agenda Técnica N° 2. CIRPAC. INIFAP. SAGAR. Uruapan, Mich. 79 p.
- HAYASHIDA-OLIVER, Y., BOOT, R., POORTER, L. 2001. Influencia de la disponibilidad de agua y luz en el crecimiento y la morfología de plántulas de *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* y *Bertholletia excelsa*. Rev. Ecología en Bolivia, 35: 51-60.
- HOLMGREN, M., SCHEFFER, M., HUSTON, M.A. 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. Ecology, 78:1966-1975.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2001. Climate Change 2001: Glosario de términos. Anexo B. Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O.R. Davidson, R. Swart, y J. Pan (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK y, US, 752 p.
- KRAMER, P. 1969. Relaciones hídricas de suelo y plantas. Agencia para el Desarrollo Internacional. México/Buenos Aires. 64 p.
- KRÜGER, S. 2007. Producción de plantas de *Pinus ponderosa* 1:1 en vivero de Valdivia y Cochrane. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Austral de Chile. 67 p.
- LARCHER, W. 2003. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Germany. Springer-Verlag. 513 p.

- LENCINAS, M.V., MARTÍNEZ, G., MORETTO, A., GALLO, E., BUSSO, C. 2007. Producción diferencial de biomasa en plántulas de *Nothofagus pumilio* bajo gradientes de luz y humedad del suelo. *Bosque*, 28(3):241-248.
- LUSK, Ch., DEL POZO, A. 2002. Survival and growth of seedlings of 12 Chilean rainforest trees in two light environments: Gas exchange and biomass distribution correlates. *Aust. Ecol.*, 27:173-182.
- MARTÍNEZ PASTUR, G., LENCINAS, M.V., PERI, P., ARENA, M. 2007. Photosynthetic plasticity of *Nothofagus pumilio* seedlings to light intensity and soil moisture. *For. Ecol. Manage.*, 243(2):274-282.
- MEXAL, J.G., LANDIS T.D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Target seedlings symposium. Gen. Tech. Rep. USDA Forests., 13:105-119.
- NACIMA, M. 2006. Metodologías para la optimización de la producción viverística y la restauración de zonas mediterráneas afectadas por grandes incendios. CREA. España. 129 p.
- NAVARRO, J., VARGAS, J., GÓMEZ, A., RUIZ, L., GARCÍA, P. 2013. Morfología, biomasa y contenido nutrimental en *Abies religiosa* con regímenes diferentes de fertilización en vivero. *Agrociencia*, 47(7):707-721.
- NEGREROS-CASTILLO, P., APODACA-MARTINEZ, M., MIZE, C. 2010. Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Rev. Madera y Bosques*, 16(2):7-18.

- PARDÉ, J. 1980. Forest Biomass. Forests products abstracts. Review Article. Commonwealth Forestry Bureau, 41(8):343-361.
- PIRE, R., I. VALENZUELA. 1995. Estimación del área foliar en *Vitis vinífera* L. French Colombard a partir de mediciones lineales en las hojas. *Agronomía Tropical*, 45(1):143-154.
- PROYECTO DE MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE (BOLFOR). 2001. Regeneración y silvicultura de bosques tropicales en Bolivia. Ed. Por B. Mostacedo y T. S. Fredericksen. Santa Cruz, Bolivia. El País. 221 p.
- ROMO, M. 2005. Efecto de la luz en el crecimiento de plántulas de *Dipteryx micrantha* Harms "shihuahuaco" transplantadas a sotobosque, claros y plantaciones. *Ecol.apl.* [En línea]: Scielo, (http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162005000100001&lng=es&nrm=iso, Journals, 24 Mar. 2013).
- ROSENFELD, J.M., NAVARRO, R.M., GUZMÁN, J.R. 2006. Regeneration of *Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endl.) Biomasa diferencial en *Nothofagus pumilio* Krasser forests after five years of seed tree cutting. *J. Environ. Manage*, 78:44-51.
- THOMPSON, B. 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. In: Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test. M. L. Durges. Forest Research Laboratory. Oregon State University. p. 59-65.
- TOGNETTI, R, MINOTTA, G., PINZAUTI, S., MICHELOZZI, M., BORGHETTI, M. 1998. Acclimation to changing light conditions of long-term shade-

- grown beech (*Fagus sylvatica*) seedlings of different geographic origins. *Trees*, 12:326-333.
- VALAREZO, J. 2001. *Comp. Manual de fertilidad de suelos*. Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Carrera de Ingeniería Agronómica. México. 84 p.
- VALLADARES, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S.A. Madrid, España. p. 335-369.
- VERA-CASTILLO, J.A.G. 1995. *The influence of antidesiccants on field performance and physiology of 2+0 ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl.) seedlings*. Ph.D. Thesis. Oregon State University. 134 p.
- WALTERS, M.B., REICH, P.B. 1999. Low-light carbon balance and shade tolerance in the seedlings of woody plants: Do Winter deciduous and broad-leaved evergreen species differ? *New Phytol.*, 143:143-154.

ANEXO

Anexo 1. Mapa de Ubicación del Experimento

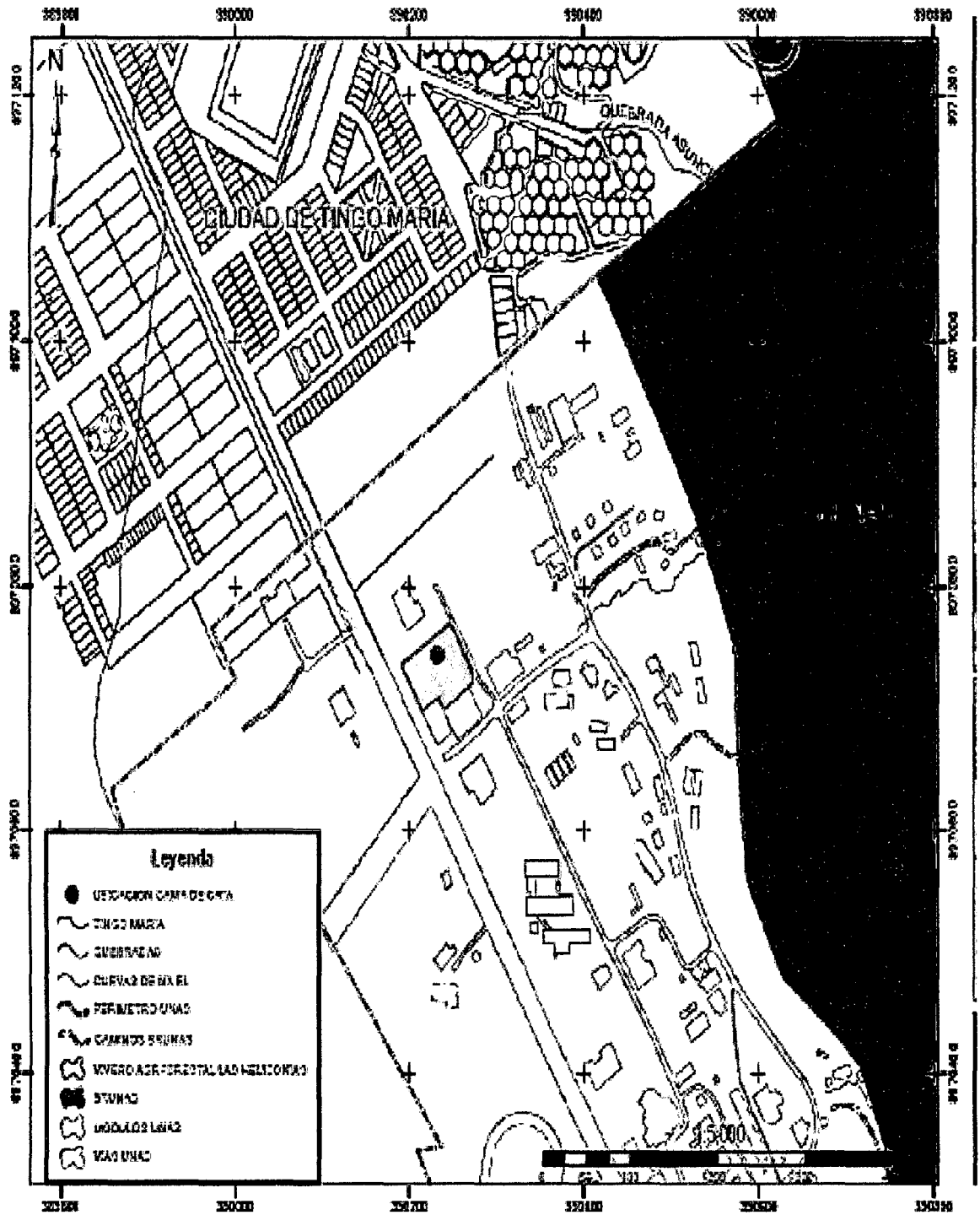
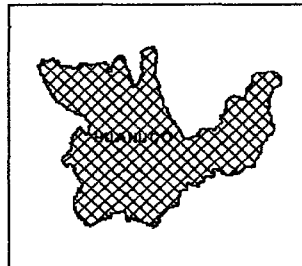
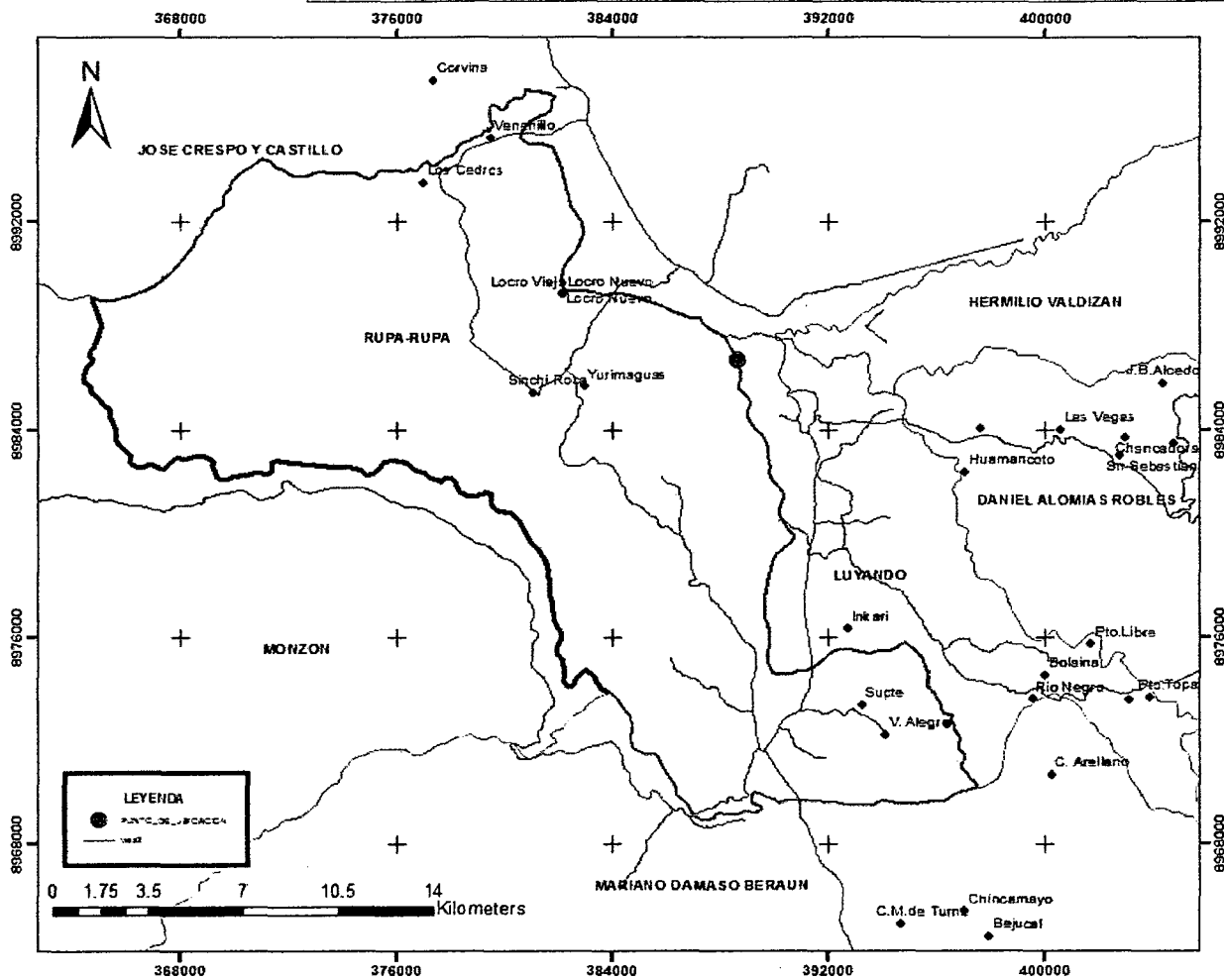


Figura 19. Mapa de ubicación del experimento.

MAPA DE UBICACION DE LA ESPECIE CEDRELA ODORATA L.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA			
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESPECIACIÓN DE RECURSOS			
Ubicación:	Fecha:	25/11/2005	
Región:	Provincia:	Escala:	1:200.00
Departamento:	Distrito:	Mapa	
Autor:	Dr. 2005 Tapu (M.A. JORJA)		

Anexo 2. Mapa de Ubicación de la especie recolectada

Anexo 3. Datos meteorológicos de precipitación y humedad en el periodo de investigación.

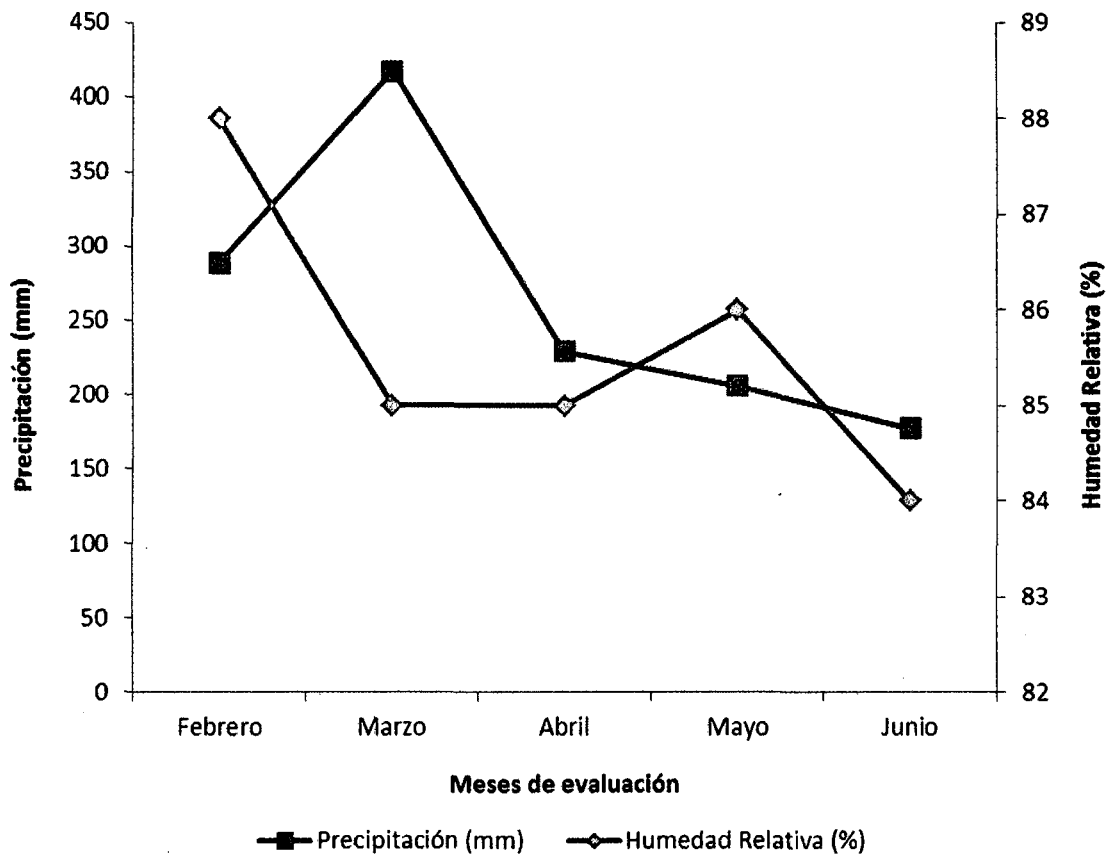


Figura 20. Precipitación y humedad relativa en el periodo de investigación.

Anexo 3. Datos originales del experimento

Cuadro 18. Datos de la primera evaluación (primer mes).

TRAT	LUZ	HUMEDAD	REP	H1	T1	HT1	R1	BT1
T1	4%	40-60 %	R1	0.224	0.205	0.429	0.07	0.499
T1	4%	40-60 %	R2	0.159	0.112	0.271	0.036	0.307
T1	4%	40-60 %	R3	0.139	0.078	0.217	0.02	0.237
T1	4%	40-60 %	R4	0.181	0.049	0.23	0.038	0.268
T1	4%	40-60 %	R5	0.315	0.098	0.413	0.056	0.469
T2	4%	80-100 %	R1	0.121	0.075	0.196	0.08	0.276
T2	4%	80-100 %	R2	0.091	0.12	0.211	0.046	0.257
T2	4%	80-100 %	R3	0.189	0.067	0.256	0.02	0.276
T2	4%	80-100 %	R4	0.057	0.038	0.095	0.047	0.142
T2	4%	80-100 %	R5	0.187	0.063	0.25	0.012	0.262
T3	24%	40-60 %	R1	0.52	0.28	0.8	0.026	0.826
T3	24%	40-60 %	R2	0.864	0.223	1.087	0.07	1.157
T3	24%	40-60 %	R3	0.69	0.119	0.809	0.135	0.944
T3	24%	40-60 %	R4	0.28	0.058	0.338	0.12	0.458
T3	24%	40-60 %	R5	0.086	0.074	0.16	0.087	0.247
T4	24%	80-100 %	R1	0.474	0.144	0.618	0.062	0.68
T4	24%	80-100 %	R2	0.335	0.188	0.523	0.077	0.6
T4	24%	80-100 %	R3	0.136	0.088	0.224	0.04	0.264
T4	24%	80-100 %	R4	0.385	0.049	0.434	0.056	0.49
T4	24%	80-100 %	R5	0.451	0.142	0.593	0.055	0.648
T5	44%	40-60 %	R1	0.274	0.106	0.38	0.036	0.416
T5	44%	40-60 %	R2	0.269	0.106	0.375	0.021	0.396
T5	44%	40-60 %	R3	0.217	0.088	0.305	0.028	0.333
T5	44%	40-60 %	R4	0.22	0.122	0.342	0.029	0.371
T5	44%	40-60 %	R5	0.306	0.136	0.442	0.018	0.46
T6	44%	80-100 %	R1	0.122	0.131	0.253	0.019	0.272
T6	44%	80-100 %	R2	0.28	0.118	0.398	0.056	0.454
T6	44%	80-100 %	R3	0.217	0.061	0.278	0.032	0.31
T6	44%	80-100 %	R4	0.14	0.072	0.212	0.024	0.236
T6	44%	80-100 %	R5	0.14	0.05	0.19	0.051	0.241
T7	64%	40-60 %	R1	0.11	0.093	0.203	0.022	0.225
T7	64%	40-60 %	R2	0.144	0.079	0.223	0.055	0.278
T7	64%	40-60 %	R3	0.279	0.105	0.384	0.031	0.415
T7	64%	40-60 %	R4	0.173	0.061	0.234	0.059	0.293
T7	64%	40-60 %	R5	0.248	0.075	0.323	0.038	0.361
T8	64%	80-100 %	R1	0.597	0.125	0.722	0.069	0.791
T8	64%	80-100 %	R2	0.563	0.143	0.706	0.064	0.77
T8	64%	80-100 %	R3	0.5	0.093	0.593	0.053	0.646
T8	64%	80-100 %	R4	0.29	0.344	0.634	0.05	0.684
T8	64%	80-100 %	R5	0.296	0.129	0.425	0.099	0.524

Cuadro 19. Datos de la segunda evaluación (segundo mes).

TRAT	LUZ	HUMEDAD	REP	H2	T2	HT2	R2	BT2
T1	4%	40-60 %	R1	0.497	0.455	0.952	0.15	1.102
T1	4%	40-60 %	R2	0.519	0.098	0.617	0.208	0.825
T1	4%	40-60 %	R3	0.278	0.373	0.651	0.09	0.741
T1	4%	40-60 %	R4	0.417	0.057	0.474	0.196	0.67
T1	4%	40-60 %	R5	0.599	0.213	0.812	0.111	0.923
T2	4%	80-100 %	R1	0.457	0.181	0.638	0.117	0.755
T2	4%	80-100 %	R2	0.366	0.363	0.729	0.316	1.045
T2	4%	80-100 %	R3	0.524	0.094	0.618	0.07	0.688
T2	4%	80-100 %	R4	0.379	0.069	0.448	0.056	0.504
T2	4%	80-100 %	R5	0.554	0.138	0.692	0.051	0.743
T3	24%	40-60 %	R1	1.141	0.26	1.401	0.321	1.722
T3	24%	40-60 %	R2	1.364	0.374	1.738	0.287	2.025
T3	24%	40-60 %	R3	1.479	0.484	1.963	0.272	2.235
T3	24%	40-60 %	R4	0.649	0.449	1.098	0.306	1.404
T3	24%	40-60 %	R5	0.632	0.369	1.001	0.26	1.261
T4	24%	80-100 %	R1	1.102	0.479	1.581	0.236	1.817
T4	24%	80-100 %	R2	0.914	0.293	1.207	0.287	1.494
T4	24%	80-100 %	R3	0.522	0.517	1.039	0.239	1.278
T4	24%	80-100 %	R4	0.889	0.324	1.213	0.213	1.426
T4	24%	80-100 %	R5	0.959	0.171	1.13	0.236	1.366
T5	44%	40-60 %	R1	0.817	0.408	1.225	0.45	1.675
T5	44%	40-60 %	R2	1.167	0.631	1.798	0.48	2.278
T5	44%	40-60 %	R3	1.069	0.503	1.572	0.248	1.82
T5	44%	40-60 %	R4	1.016	0.47	1.486	0.363	1.849
T5	44%	40-60 %	R5	0.643	0.514	1.157	0.605	1.762
T6	44%	80-100 %	R1	1.628	0.724	2.352	0.178	2.53
T6	44%	80-100 %	R2	0.63	0.548	1.178	0.577	1.755
T6	44%	80-100 %	R3	0.937	0.37	1.307	0.21	1.517
T6	44%	80-100 %	R4	1.078	0.4	1.478	0.604	2.082
T6	44%	80-100 %	R5	0.767	0.259	1.026	0.356	1.382
T7	64%	40-60 %	R1	0.551	0.467	1.018	0.271	1.289
T7	64%	40-60 %	R2	0.438	0.344	0.782	0.26	1.042
T7	64%	40-60 %	R3	1.151	0.206	1.357	0.278	1.635
T7	64%	40-60 %	R4	0.945	0.308	1.253	0.421	1.674
T7	64%	40-60 %	R5	0.85	0.36	1.21	0.401	1.611
T8	64%	80-100 %	R1	1.61	0.509	2.119	0.63	2.749
T8	64%	80-100 %	R2	1.519	0.672	2.191	0.479	2.67
T8	64%	80-100 %	R3	1.72	0.41	2.13	0.321	2.451
T8	64%	80-100 %	R4	0.9	0.691	1.591	0.385	1.976
T8	64%	80-100 %	R5	0.796	0.539	1.335	0.656	1.991

Cuadro 20. Datos de la tercera evaluación (tercer mes).

TRAT	LUZ	HUMEDAD	REP	H3	T3	HT3	R3	BT3
T1	4%	40-60 %	R1	0.694	0.839	1.533	0.323	1.856
T1	4%	40-60 %	R2	1.152	0.38	1.532	0.373	1.905
T1	4%	40-60 %	R3	0.783	0.684	1.467	0.332	1.799
T1	4%	40-60 %	R4	0.952	0.512	1.464	0.442	1.906
T1	4%	40-60 %	R5	0.932	0.217	1.149	0.283	1.432
T2	4%	80-100 %	R1	0.946	1.113	2.059	0.973	3.032
T2	4%	80-100 %	R2	1.17	1.498	2.668	1.199	3.867
T2	4%	80-100 %	R3	1.368	1.065	2.433	0.486	2.919
T2	4%	80-100 %	R4	0.562	0.39	0.952	0.506	1.458
T2	4%	80-100 %	R5	1.246	0.869	2.115	0.372	2.487
T3	24%	40-60 %	R1	0.797	0.296	1.093	0.263	1.356
T3	24%	40-60 %	R2	1.068	0.33	1.398	0.148	1.546
T3	24%	40-60 %	R3	0.854	0.359	1.213	0.071	1.284
T3	24%	40-60 %	R4	0.411	0.298	0.709	0.167	0.876
T3	24%	40-60 %	R5	0.321	0.182	0.503	0.1	0.603
T4	24%	80-100 %	R1	1.232	0.873	2.105	0.467	2.572
T4	24%	80-100 %	R2	1.101	0.728	1.829	0.443	2.272
T4	24%	80-100 %	R3	0.573	0.904	1.477	0.527	2.004
T4	24%	80-100 %	R4	1	0.608	1.608	0.312	1.92
T4	24%	80-100 %	R5	1.066	0.524	1.59	0.596	2.186
T5	44%	40-60 %	R1	0.728	0.403	1.131	0.52	1.651
T5	44%	40-60 %	R2	0.939	0.863	1.802	0.4	2.202
T5	44%	40-60 %	R3	1.021	0.673	1.694	0.352	2.046
T5	44%	40-60 %	R4	1.119	0.563	1.682	0.495	2.177
T5	44%	40-60 %	R5	0.606	0.989	1.595	0.375	1.97
T6	44%	80-100 %	R1	1.496	0.881	2.377	0.467	2.844
T6	44%	80-100 %	R2	0.648	0.662	1.31	0.376	1.686
T6	44%	80-100 %	R3	0.995	0.674	1.669	0.399	2.068
T6	44%	80-100 %	R4	1.283	0.598	1.881	0.397	2.278
T6	44%	80-100 %	R5	0.798	0.661	1.459	0.464	1.923
T7	64%	40-60 %	R1	0.753	1.082	1.835	0.419	2.254
T7	64%	40-60 %	R2	1.038	0.539	1.577	0.604	2.181
T7	64%	40-60 %	R3	1.625	0.386	2.011	0.496	2.507
T7	64%	40-60 %	R4	1.521	1.137	2.658	0.659	3.317
T7	64%	40-60 %	R5	1.294	0.867	2.161	0.75	2.911
T8	64%	80-100 %	R1	1.31	0.959	2.269	0.735	3.004
T8	64%	80-100 %	R2	1.319	1.266	2.585	0.868	3.453
T8	64%	80-100 %	R3	1.27	0.56	1.83	0.738	2.568
T8	64%	80-100 %	R4	0.666	1.191	1.857	0.283	2.14
T8	64%	80-100 %	R5	0.776	0.559	1.335	0.893	2.228

Cuadro 21. Datos de la cuarta evaluación (cuarto mes).

TRAT	LUZ	HUMEDAD	REP	H4	T4	HT4	R4	BT4
T1	4%	40-60 %	R1	1.639	1.6905	3.3295	1.295	4.6245
T1	4%	40-60 %	R2	2.029	1.519	3.548	1.053	4.601
T1	4%	40-60 %	R3	1.658	2.1124	3.7704	1.038	4.8084
T1	4%	40-60 %	R4	2.063	1.6025	3.6655	1.215	4.8805
T1	4%	40-60 %	R5	1.57	1.3853	2.9553	1.387	4.3423
T2	4%	80-100 %	R1	0.928	0.7876	1.7156	0.476	2.1916
T2	4%	80-100 %	R2	1.415	1.3225	2.7375	0.938	3.6755
T2	4%	80-100 %	R3	1.303	0.726	2.029	0.246	2.275
T2	4%	80-100 %	R4	1.012	0.586	1.598	0.378	1.976
T2	4%	80-100 %	R5	1.494	0.7405	2.2345	0.235	2.4695
T3	24%	40-60 %	R1	1.176	1.9789	3.1549	2.256	5.4109
T3	24%	40-60 %	R2	1.303	2.3752	3.6782	1.144	4.8222
T3	24%	40-60 %	R3	1.907	2.3189	4.2259	1.35	5.5759
T3	24%	40-60 %	R4	1.22	1.9347	3.1547	1.246	4.4007
T3	24%	40-60 %	R5	0.847	1.546	2.393	0.893	3.286
T4	24%	80-100 %	R1	1.427	1.5023	2.9293	1.298	4.2273
T4	24%	80-100 %	R2	1.451	1.2028	2.6538	1.146	3.7998
T4	24%	80-100 %	R3	0.849	1.6043	2.4533	1.356	3.8093
T4	24%	80-100 %	R4	1.65	1.2832	2.9332	0.696	3.6292
T4	24%	80-100 %	R5	1.343	0.9886	2.3316	1.118	3.4496
T5	44%	40-60 %	R1	0.923	1.5313	2.4543	1.105	3.5593
T5	44%	40-60 %	R2	1.314	1.5772	2.8912	0.878	3.7692
T5	44%	40-60 %	R3	1.286	1.6461	2.9321	1.167	4.0991
T5	44%	40-60 %	R4	1.379	1.6838	3.0628	0.89	3.9528
T5	44%	40-60 %	R5	0.862	1.9898	2.8518	1.348	4.1998
T6	44%	80-100 %	R1	2.26	1.4463	3.7063	0.705	4.4113
T6	44%	80-100 %	R2	0.948	1.3722	2.3202	0.856	3.1762
T6	44%	80-100 %	R3	1.307	1.2235	2.5305	1.074	3.6045
T6	44%	80-100 %	R4	1.408	1.098	2.506	1.218	3.724
T6	44%	80-100 %	R5	0.97	1.3563	2.3263	0.846	3.1723
T7	64%	40-60 %	R1	0.952	1.8298	2.7818	0.853	3.6348
T7	64%	40-60 %	R2	1.341	1.2019	2.5429	0.854	3.3969
T7	64%	40-60 %	R3	2.024	1.0115	3.0355	0.844	3.8795
T7	64%	40-60 %	R4	1.546	1.6137	3.1597	1.165	4.3247
T7	64%	40-60 %	R5	1.37	1.1238	2.4938	1.037	3.5308
T8	64%	80-100 %	R1	1.971	1.996	3.967	1.59	5.557
T8	64%	80-100 %	R2	1.8	2.314	4.114	1.568	5.682
T8	64%	80-100 %	R3	2.24	1.944	4.184	1.445	5.629
T8	64%	80-100 %	R4	0.783	2.594	3.377	0.948	4.325
T8	64%	80-100 %	R5	0.97	2.1531	3.1231	2.441	5.5641

Cuadro 22. Datos de la quinta evaluación (quinto mes).

TRAT	LUZ	HUMEDAD	REP	H5	T5	HT5	R5	BT5
T1	4%	40-60 %	R1	0.869	1.882	2.751	0.808	3.559
T1	4%	40-60 %	R2	1.327	1.179	2.506	0.571	3.077
T1	4%	40-60 %	R3	0.833	1.617	2.45	0.538	2.988
T1	4%	40-60 %	R4	1.112	1.746	2.858	0.816	3.674
T1	4%	40-60 %	R5	1.021	1.082	2.103	0.722	2.825
T2	4%	80-100 %	R1	1.064	1.263	2.327	0.728	3.055
T2	4%	80-100 %	R2	1.292	1.185	2.477	1.009	3.486
T2	4%	80-100 %	R3	1.504	0.987	2.491	0.266	2.757
T2	4%	80-100 %	R4	0.832	1.135	1.967	0.565	2.532
T2	4%	80-100 %	R5	1.362	1.259	2.621	0.147	2.768
T3	24%	40-60 %	R1	0.976	0.941	1.917	0.889	2.806
T3	24%	40-60 %	R2	1.316	1.144	2.46	0.723	3.183
T3	24%	40-60 %	R3	1.08	1.143	2.223	0.545	2.768
T3	24%	40-60 %	R4	0.77	1.124	1.894	0.697	2.591
T3	24%	40-60 %	R5	0.632	0.805	1.437	0.487	1.924
T4	24%	80-100 %	R1	0.601	1.102	1.703	0.733	2.436
T4	24%	80-100 %	R2	0.671	0.866	1.537	0.658	2.195
T4	24%	80-100 %	R3	0.411	1.139	1.55	0.751	2.301
T4	24%	80-100 %	R4	0.749	1.082	1.831	0.56	2.391
T4	24%	80-100 %	R5	0.711	0.771	1.482	0.666	2.148
T5	44%	40-60 %	R1	0.13	1.958	2.088	1.025	3.113
T5	44%	40-60 %	R2	0.156	1.587	1.743	0.928	2.671
T5	44%	40-60 %	R3	0.113	1.997	2.11	0.951	3.061
T5	44%	40-60 %	R4	0.161	2.143	2.304	1.025	3.329
T5	44%	40-60 %	R5	0.177	2.7	2.877	1.101	3.978
T6	44%	80-100 %	R1	0.231	2.163	2.394	0.69	3.084
T6	44%	80-100 %	R2	0.277	1.959	2.236	1.065	3.301
T6	44%	80-100 %	R3	0.305	1.751	2.056	0.934	2.99
T6	44%	80-100 %	R4	0.346	1.636	1.982	1.1	3.082
T6	44%	80-100 %	R5	0.366	1.328	1.694	0.758	2.452
T7	64%	40-60 %	R1	0.317	2.063	2.38	1.023	3.403
T7	64%	40-60 %	R2	0.291	1.445	1.736	0.904	2.64
T7	64%	40-60 %	R3	0.559	1.143	1.702	0.846	2.548
T7	64%	40-60 %	R4	0.507	1.718	2.225	1.067	3.292
T7	64%	40-60 %	R5	0.614	1.564	2.178	1	3.178
T8	64%	80-100 %	R1	0.572	2.743	3.315	1.74	5.055
T8	64%	80-100 %	R2	0.688	2.637	3.325	1.868	5.193
T8	64%	80-100 %	R3	0.464	2.638	3.102	1.492	4.594
T8	64%	80-100 %	R4	0.322	3.15	3.472	1.297	4.769
T8	64%	80-100 %	R5	0.326	2.465	2.791	1.778	4.569

Cuadro 23. Área foliar en las cinco evaluaciones.

TRAT	LUZ	HUMEDAD	REP	AF1	AF2	AF3	AF4	AF5
T1	4%	40-60 %	R1	2.052	2.048	2.074	2.101	2.068
T1	4%	40-60 %	R2	2.057	2.055	2.057	2.077	2.056
T1	4%	40-60 %	R3	2.061	2.059	2.072	2.089	2.057
T1	4%	40-60 %	R4	2.056	2.054	2.049	2.074	2.053
T1	4%	40-60 %	R5	2.051	2.049	2.046	2.094	2.062
T2	4%	80-100 %	R1	2.025	2.059	2.058	2.088	2.064
T2	4%	80-100 %	R2	2.04	2.059	2.044	2.088	2.071
T2	4%	80-100 %	R3	2.025	2.062	2.048	2.087	2.065
T2	4%	80-100 %	R4	2.084	2.057	2.039	2.077	2.062
T2	4%	80-100 %	R5	2.072	2.055	2.045	2.098	2.064
T3	24%	40-60 %	R1	2.057	2.054	2.054	2.07	2.06
T3	24%	40-60 %	R2	2.051	2.053	2.074	2.071	2.076
T3	24%	40-60 %	R3	2.046	2.053	2.067	2.073	2.097
T3	24%	40-60 %	R4	2.044	2.056	2.063	2.062	2.078
T3	24%	40-60 %	R5	2.062	2.027	2.063	2.064	2.065
T4	24%	80-100 %	R1	2.058	2.055	2.075	2.07	2.062
T4	24%	80-100 %	R2	2.052	2.052	2.05	2.076	2.078
T4	24%	80-100 %	R3	2.056	2.052	2.046	2.064	2.095
T4	24%	80-100 %	R4	2.053	2.046	2.056	2.087	2.068
T4	24%	80-100 %	R5	2.057	2.059	2.063	2.088	2.077
T5	44%	40-60 %	R1	2.051	2.07	2.043	2.05	1.038
T5	44%	40-60 %	R2	2.039	2.054	2.036	2.054	2.059
T5	44%	40-60 %	R3	2.045	2.052	2.023	2.046	2.051
T5	44%	40-60 %	R4	2.039	2.042	2.044	2.051	2.048
T5	44%	40-60 %	R5	2.046	2.039	2.045	2.053	1.023
T6	44%	80-100 %	R1	2.057	2.045	2.032	2.045	2.05
T6	44%	80-100 %	R2	2.076	2.048	2.043	2.048	2.06
T6	44%	80-100 %	R3	2.059	2.057	2.029	2.043	2.044
T6	44%	80-100 %	R4	2.078	2.061	2.046	2.051	2.045
T6	44%	80-100 %	R5	2.035	2.055	2.038	2.046	2.045
T7	64%	40-60 %	R1	2.048	2.053	2.039	2.033	2.04
T7	64%	40-60 %	R2	2.047	2.058	2.046	2.041	2.04
T7	64%	40-60 %	R3	2.059	2.056	2.044	2.033	2.043
T7	64%	40-60 %	R4	2.043	2.058	2.047	2.054	2.04
T7	64%	40-60 %	R5	2.031	2.055	2.044	2.048	2.046
T8	64%	80-100 %	R1	2.041	2.047	2.036	2.041	2.049
T8	64%	80-100 %	R2	2.046	2.054	2.039	2.041	2.046
T8	64%	80-100 %	R3	2.048	2.044	2.044	2.043	2.051
T8	64%	80-100 %	R4	2.046	2.047	2.036	2.041	2.042
T8	64%	80-100 %	R5	2.038	2.067	2.045	2.043	2.044

Anexo 4. Panel fotográfico



Figura 21. Luxímetro para la determinar la iluminación (Lux).



Figura 22. Acondicionamiento de sombra a las camas de cría con el Luxímetro.

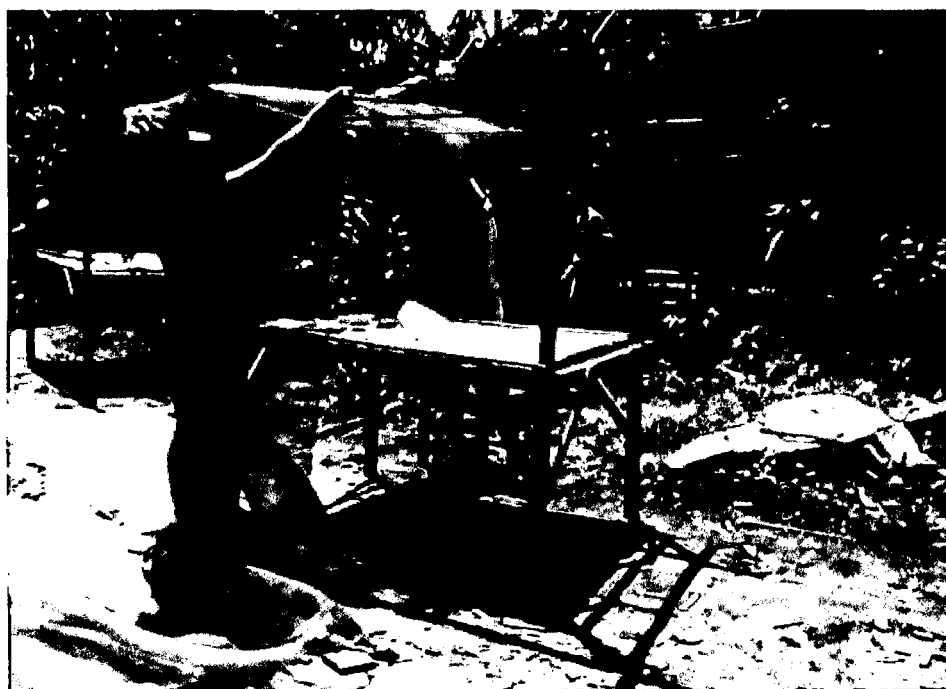


Figura 23. Acondicionamiento de camas de cría con tinglado de malla raschel de acuerdo a las intensidades de luz.



Figura 24. Modelo de cama de cría realizado para la colocación de los plantones de cedro.



Figura 25. Preparación del sustrato para el llenado de las bolsas.



Figura 26. Llenado de las bolsas.



Figura 27. En total se llenaron 480 bolsas para la evaluación.



Figura 28. Traslado de las bolsas llenas a las camas de cría.



Figura 29. Camas de cría acondicionadas con las bolsas de sustrato y malla rashel.



Figura 30. Saturación del sustrato para la determinación de la capacidad de campo.

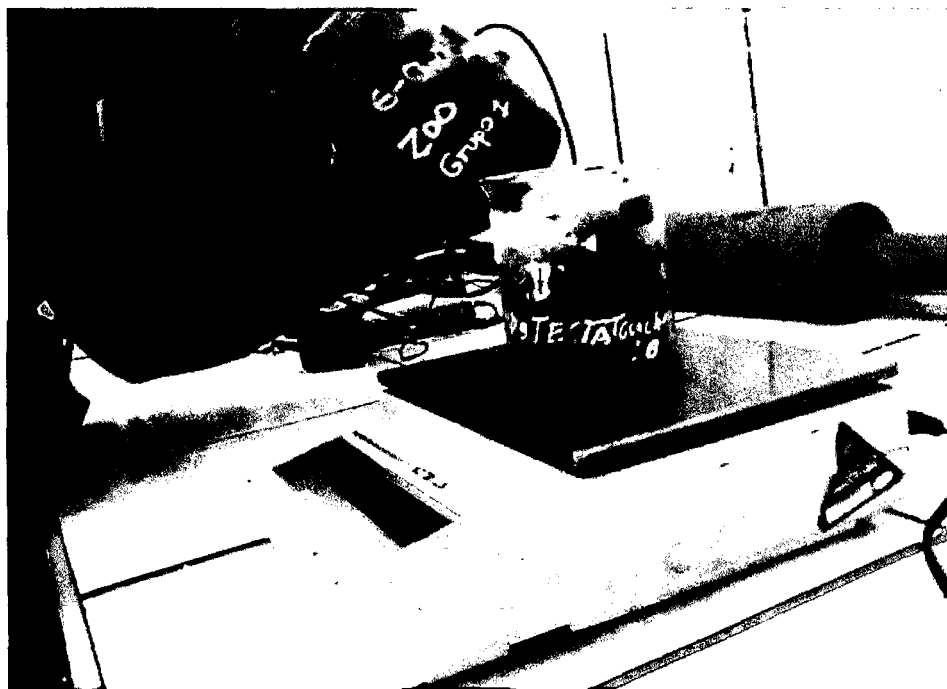


Figura 31. Peso de una muestra de 100 g del sustrato después de 48 horas de haber saturado el suelo.

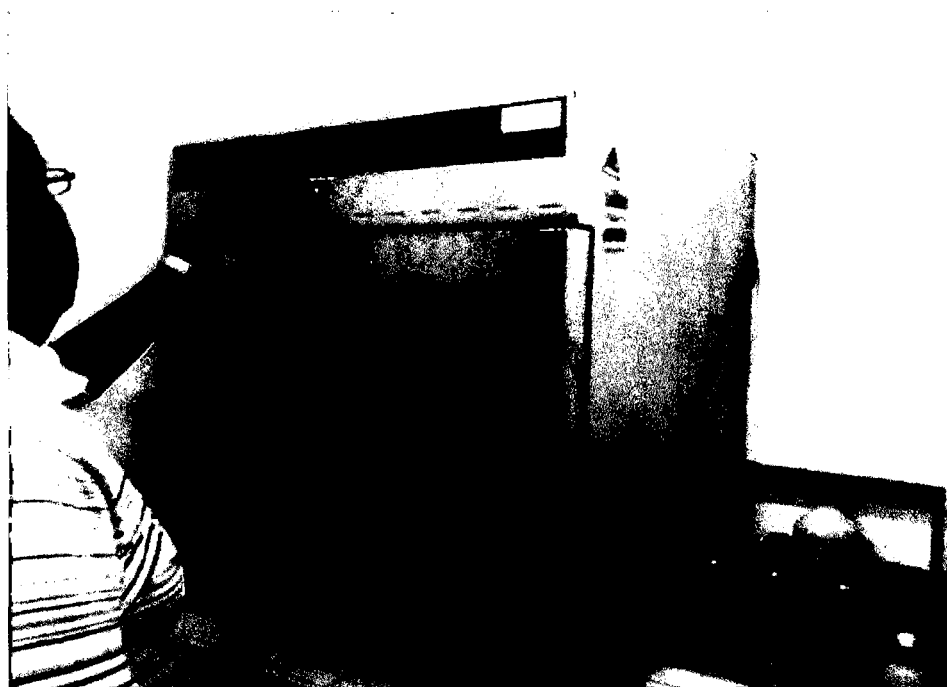


Figura 32. Colocación de la muestra a estufa a una temperatura de 105 °C.

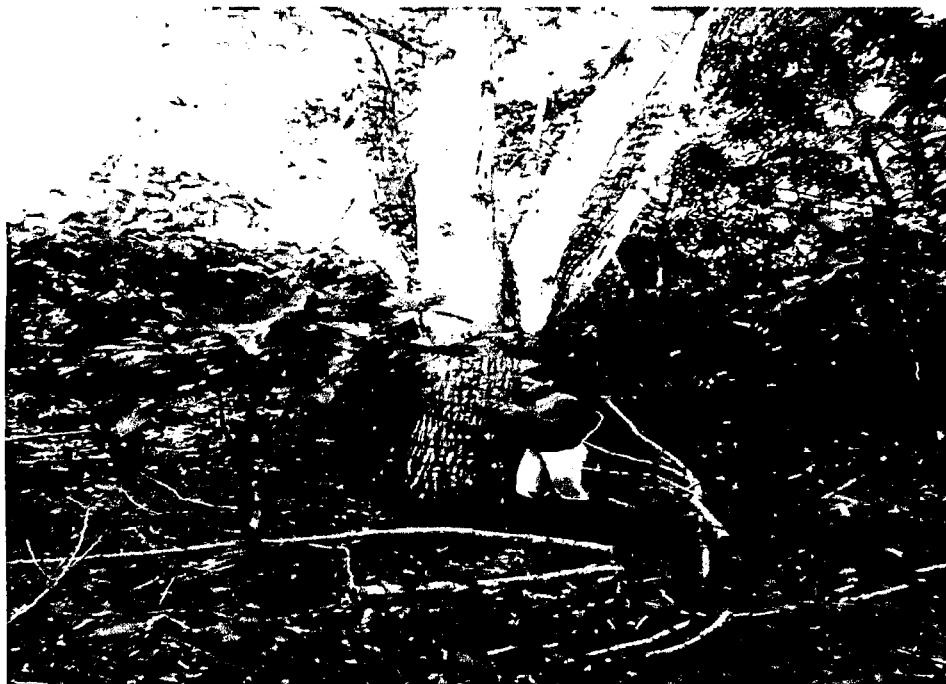


Figura 33. Recolección de las plántulas de regeneración natural de *Cedrela odorata* L.



Figura 34. Repique de las plántulas de *Cedrela odorata* L. a las bolsas de sustratos.



Figura 35. Labores culturales; control de malezas.



Figura 36. Riego a los plantones de *Cedrela odorata* L. según la capacidad de campo determinado.



Figura 37. Evaluación durante cinco meses, se tomaron muestras de 10 plántones por tratamiento al azar.



Figura 38. Extracción de plántones de *Cedrela odorata* L. de las bolsas, sin alterar las raíces.



Figura 39. Lavado de la raíz en los plantones de *Cedrela odorata* L.



Figura 40. Seccionamiento de los plantones de *Cedrela odorata* L. a la altura del cuello de la raíz y las hojas, para obtener valores del peso de tallos, hojas y raíces.

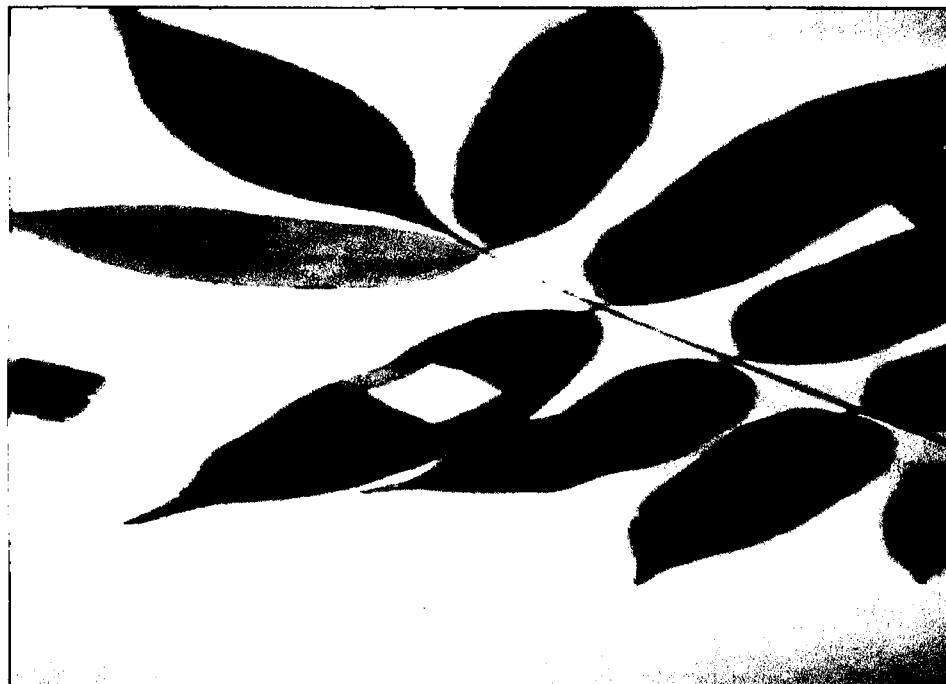


Figura 41. Determinación del área foliar de los plantones de *Cedrela odorata* L.

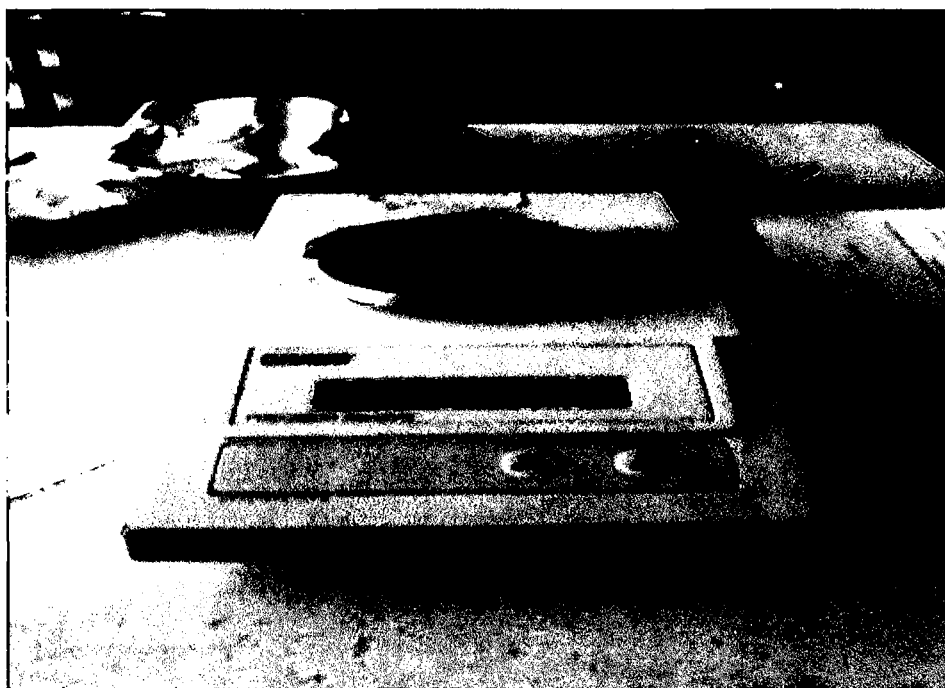


Figura 42. Peso de las partes seccionadas de los plantones para determinar el peso fresco de cada uno de ellos.



Figura 43. Empaque de las secciones de los plantones de *Cedrela odorata* L. para luego ser llevadas a estufa.

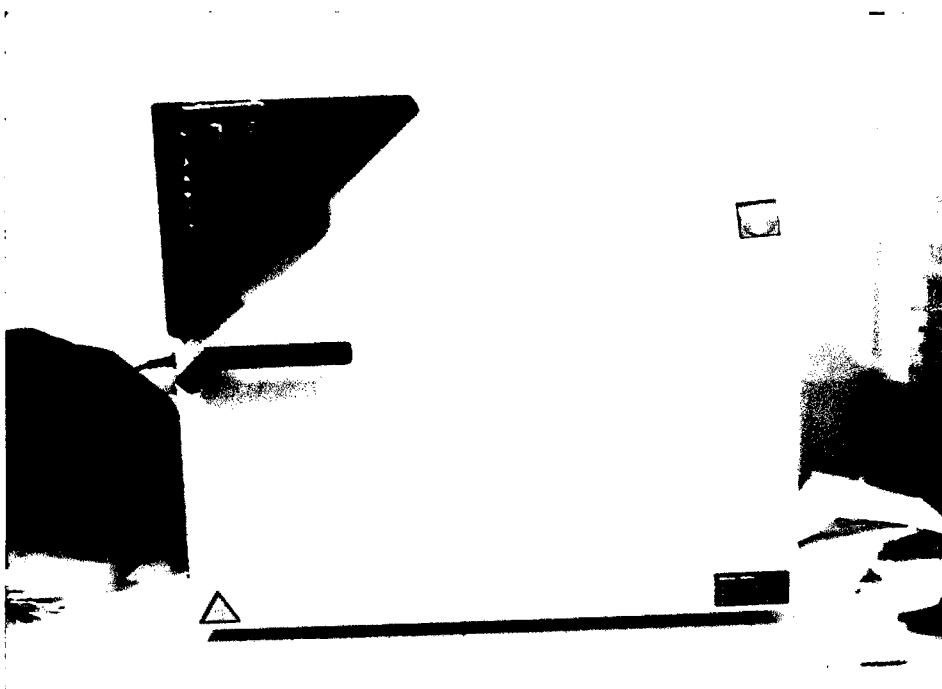


Figura 44. Colocación de las muestras a estufa con una temperatura de 70 °C por 48 horas.

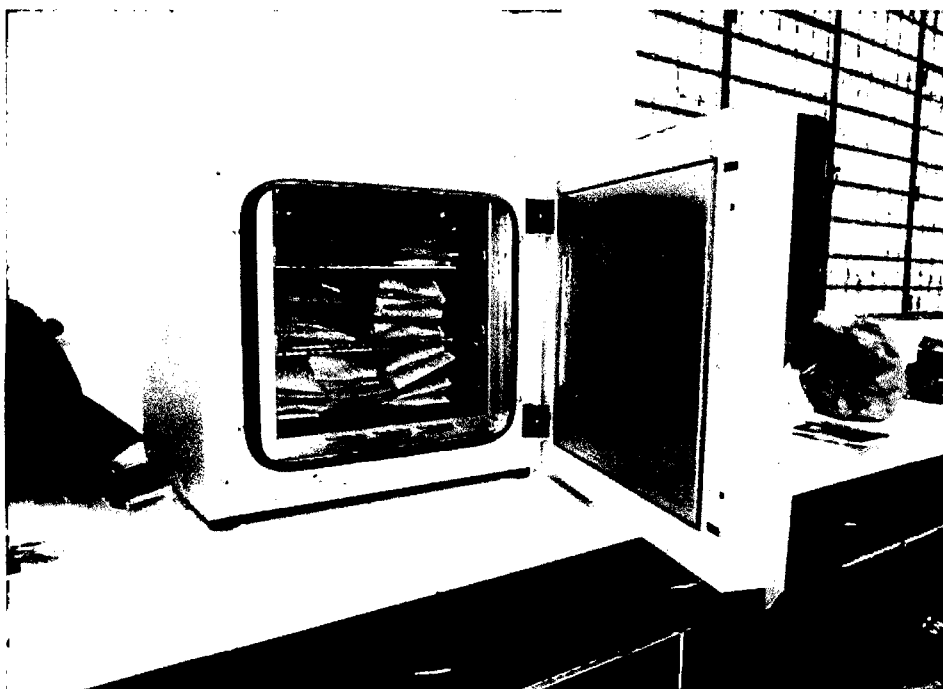


Figura 45. Retiro de muestras de la estufa para determinar el peso seco de cada plantón.



Figura 46. Muestras en el desecador al momento de ser retirado de la estufa, para evitar la captación de la humedad.

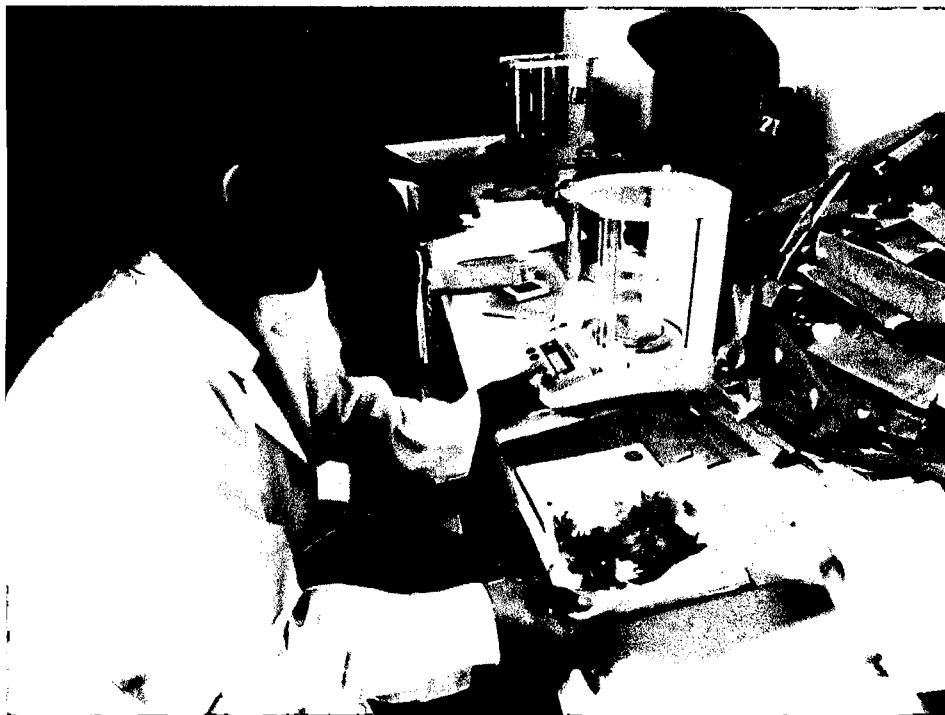


Figura 47. Peso de las muestras para determinar el peso seco de los plántones de *Cedrela odorata* L.

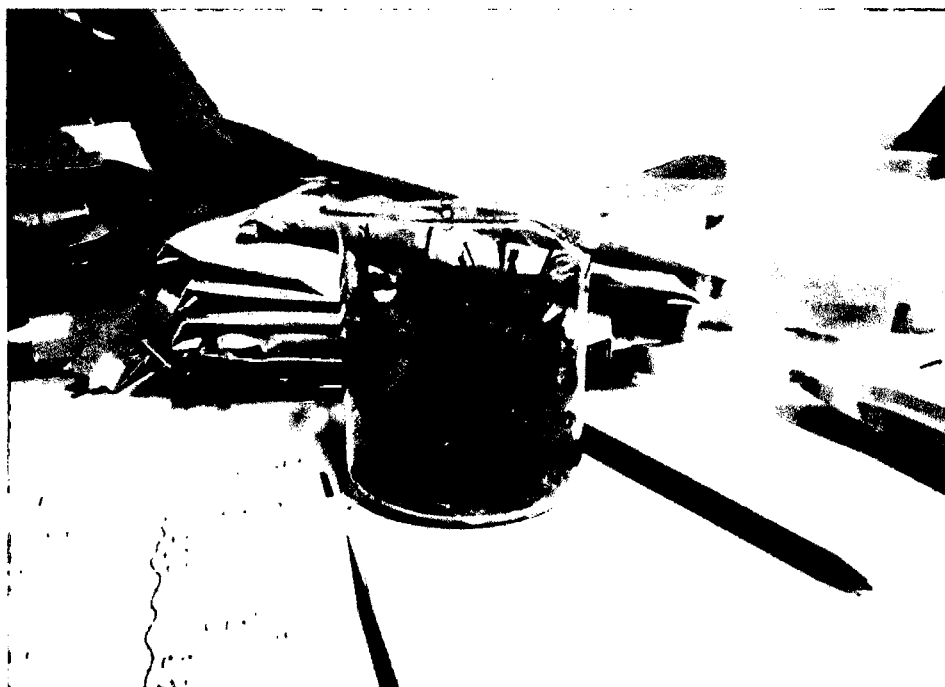


Figura 48. Determinación del peso seco de las hojas de los plántones de *Cedrela odorata* L.

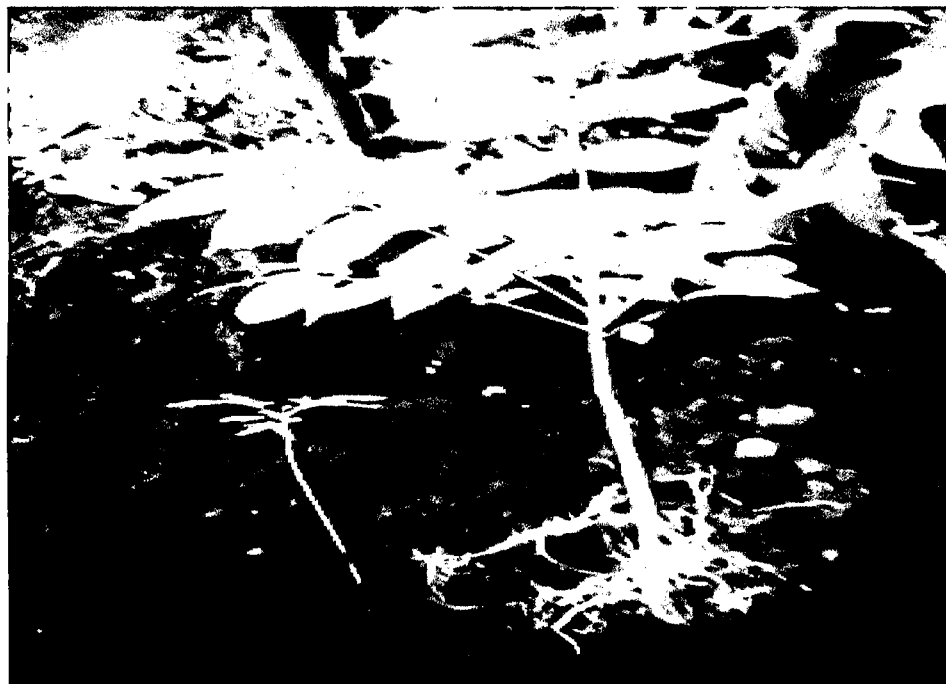


Figura 49. Diferencias en tamaños de los plantones al cuarto mes de evaluación.



Figura 50. Sr. Juan Bernales Shapiama, dueño de la parcela de donde se obtuvo la regeneración natural de *Cedrela odorata* L.



Figura 51. Recolección de muestras botánicas para la determinación de la especie.



Figura 52. Determinación del pH en el sustrato utilizado.