



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**Impacto de las plantaciones de “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliano*) y
“eucalipto salignas” (*Eucalyptus salignas*) sobre el contenido de humedad del
suelo, en el centro poblado de César Vallejo, provincia de Rioja,
región San Martín**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Bach. Carlos Enrique Panduro Ramírez

ASESOR:

Ing. M. Sc. Rubén Ruiz Valles

Moyobamba – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



Impacto de las plantaciones de “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliano*) y “eucalipto salignas” (*Eucalyptus salignas*) sobre el contenido de humedad del suelo, en el centro poblado de César Vallejo, provincia de Rioja, región San Martín

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Bach. Carlos Enrique Panduro Ramírez

Sustentada y aprobada el día 04 de diciembre del 2017, ante el honorable jurado:

Handwritten signature of Santiago Alberto Casas Luna in blue ink.

.....
Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna

PRESIDENTE

Handwritten signature of Juan José Pinedo Canta in blue ink.

.....
Ing. Juan José Pinedo Canta

SECRETARIO

Handwritten signature of Roydichan Olano Arévalo in blue ink.

.....
Lic. M. Sc. Roydichan Olano Arévalo

MIEMBRO

Handwritten signature of Rubén Ruiz Valles in blue ink.

.....
Ing. M. Sc. Rubén Ruiz Valles

ASESOR

Declaratoria de Autenticidad

Carlos Enrique Panduro Ramírez, identificado con DNI N°44917397, bachiller de la Facultad de Ecología, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Impacto de las plantaciones de “eucalipto torrellano” (*Eucalyptus torrelliano*) y “eucalipto salignas” (*Eucalyptus salignas*) sobre el contenido de humedad del suelo, en el centro poblado de César Vallejo, provincia de Rioja, región San Martín.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
1. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 04 de diciembre del 2017.



.....
Bach. Carlos Enrique Panduro Ramírez
DNI N°44917397



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	PANDURO RAMIREZ CARLOS ENRIQUE	
Código de alumno :	035040	Teléfono: 979517636
Correo electrónico :	carlos.panduro-29@hotmail.com	DNI: 44917397

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	ECOLOGÍA
Escuela Profesional de:	INGENIERIA AMBIENTAL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Impacto de las plantaciones de "eucalipto torrellano" (eucalyptus torrellano) y "eucalipto salignas" (eucalyptus salignas) sobre el contenido de humedad del suelo en el centro poblado Cesar Vallejo, provincia de Rioja, región San Martín.
Año de publicación:	2017

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.



.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

05 / 11 / 2018




Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

A Dios que es mi guía y la luz de mi existir al estar a mi lado iluminándome a cada momento, y quiero dedicar este trabajo a mis queridos padres Paito S. Panduro Vasquez y Belmith Ramirez Macedo , por quienes he alcanzado mis metas con dedicación y esmero de quienes siempre recibí su apoyo incondicional y desearon sentirse orgullosos de mí al alcanzar mi tan anhelado sueño.

A mi querida hermana y familiares, de quienes recibí un gran apoyo para cumplir mis propósitos.

y a todas las personas que siempre de alguna u otra manera me dan fuerza para seguir adelante y participan en el desarrollo de mis objetivos trazados.

Carlos Enrique.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de nacer y permitirme lograr una meta en el transcurso de mi vida.

A mis padres que sé siempre se sentirá orgulloso de mi, el gran triunfo con ustedes.

A mi hermana y familiares por brindarme todo su apoyo y comprensión.

A mis catedráticos de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.

Al Ing. Ruben Ruiz Valles, quien sentó esta idea que pasó a convertirse en mi proyecto de tesis, gracias por su dirección esmerada.

A los amigos en general que han sabido darme su apoyo, confianza y amistad.

Carlos Enrique.

ÍNDICE

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	5
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.1. Antecedentes de la investigación	5
1.2. Bases teóricas	7
1.3. Definición de términos	22
CAPITULO II	25
MATERIAL Y MÉTODOS	25
2.1. Material	25
2.2. Métodos	25
CAPITULO III	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1. Resultados	29
3.1.1 Porcentaje de humedad del suelo al interior y al exterior de la parcela donde se ubican las plantaciones de <i>Eucalyptus torreliano</i>	29
3.1.2 Porcentaje de humedad del suelo al interior y al exterior donde se ubican las plantaciones de <i>Eucalyptus salignas</i> .	34
3.1.3 Variedad óptima en la retención de humedad del suelo tanto al interior como al exterior de las plantaciones de eucalipto.	39
3.2. Discusiones	42
CONCLUSIONES	45

RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	50
ANEXO 1: Panel fotográfico	51
ANEXO 2: Mapa de ubicación	53
ANEXO 3: Ubicación de los sondeos	54
ANEXO 4: Tabla de Duncan	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Órdenes de suelos y rasgos característicos según la clasificación USDA- (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).....	12
Tabla 2: Valores característicos del contenido de humedad para distintos tipos de suelo.....	15
Tabla 3: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.0 m de profundidad.....	29
Tabla 4: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.5 m de profundidad.....	30
Tabla 5: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.0 m de profundidad.....	31
Tabla 6: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.5 m de profundidad.....	32
Tabla 7: Contenido de humedad del suelo (%) a 2.0 m de profundidad.....	33
Tabla 8: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.0 m de profundidad.....	34
Tabla 9: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.5 m de profundidad.....	35
Tabla 10: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.0 m de profundidad.....	36
Tabla 11: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.5 m de profundidad.....	37
Tabla 12: Contenido de humedad del suelo (%) a 2.0 m de profundidad.....	38
Tabla 13: Resumen del porcentaje de humedad del suelo donde se ubican las plantaciones de <i>Eucalyptus torreliano</i>	39
Tabla 14: Análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre el porcentaje de humedad acumulado tanto al interior como al exterior de las plantaciones de <i>Eucalyptus torreliano</i>	39
Tabla 15: Resumen del porcentaje de humedad del suelo donde se ubican las plantaciones de <i>Eucalyptus salignas</i>	40
Tabla 16: Análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre el porcentaje de humedad acumulado tanto al interior como al exterior de las plantaciones de <i>Eucalyptus salignas</i>	40
Tabla 17: Análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre el porcentaje de humedad acumulado tanto al interior como al exterior de las plantaciones de eucalipto.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de desarrollo de un cultivo con y sin déficit hídrico.....	16
Figura 2: Esquema del ciclo de agua en una plantación.....	20
Figura 3: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.0 m de profundidad	29
Figura 4: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.5 m de profundidad	30
Figura 5: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.0 m de profundidad	31
Figura 6: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.5 m de profundidad	32
Figura 7: Contenido de humedad del suelo (%) a 2.0 m de profundidad	33
Figura 8: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.0 m de profundidad	34
Figura 9: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.5 m de profundidad	35
Figura 10: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.0 m de profundidad	36
Figura 11: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.5 m de profundidad	37
Figura 12: Contenido de humedad del suelo (%) a 2.0 m de profundidad	38

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo general determinar el impacto de las plantaciones de *Eucalyptus torreliano* y *Eucalyptus salignas* sobre el contenido de humedad del suelo en el centro poblado César Vallejo ubicado en la provincia de Rioja.

La investigación surgió debido a que se observó deficiencias de humedad en los suelos sobretodo en épocas de verano lo cual perjudica a la agricultura y ganadería, así como a la reproducción de varias formas de vida tanto vegetal como animal. En este sentido se propuso como hipótesis que tanto las plantaciones de *Eucalyptus torreliano* como *Eucalyptus salignas* tienen un impacto significativo en cuanto a la captura de humedad tanto al interior como al exterior de dichas plantaciones.

En cuanto a la parte metodológica, se trabajó bajo un diseño en bloques completo al azar con cuatro tratamientos que son las especies y cinco bloques constituidos por las diferentes profundidades de las que son extraídas las muestras para su análisis.

En lo referente a la población, estaba comprendida por dos áreas de cinco hectáreas cada una con plantaciones de *Eucalyptus torreliano* y *Eucalyptus salignas*, siendo la muestra 20 gr de tierra cada 50 cm de profundidad durante 12 meses para ser transportados al laboratorio para su respectivo análisis.

En cuanto a los resultados se evidenció que no existe diferencia significativa entre el porcentaje de humedad captado por las plantaciones de *Eucalyptus torreliano* tanto al interior (9.26%) como al exterior (8.64%). Existe diferencia significativa en el porcentaje de humedad captado por el *Eucalyptus salignas*, dado que al interior (8.33%) es significativamente mayor que al exterior de las plantaciones (5.54%).

Palabras clave: Humedad, impacto, plantaciones, *Eucalyptus torreliano*, *Eucalyptus salignas*, suelo.

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the impact of the plantations of *Eucalyptus torreliano* and *Eucalyptus salignas* on the moisture content of the soil in the César Vallejo town located in the province of Rioja.

The investigation arose due to the fact that moisture deficiencies were observed in the soils, especially in the summer, which is detrimental to agriculture and livestock, as well as to the reproduction of various life forms, both vegetable and animal. In this sense, it was proposed as hypothesis that both the plantations of *Eucalyptus torreliano* and *Eucalyptus salignas* have a significant impact in terms of moisture capture both inside and outside these plantations.

Regarding the methodological part, we worked under a randomized complete block design with four treatments that are the species and five blocks constituted by the different depths from which the samples are extracted for analysis.

As regards the population, it was comprised of two areas of five hectares each with plantations of *Eucalyptus torreliano* and *Eucalyptus salignas*, the sample being 20 g of soil every 50 cm of depth for 12 months to be transported to the laboratory for its respective analysis

Regarding the results, it was evidenced that there is no significant difference between the percentage of humidity captured by the plantations of *Eucalyptus torreliano* both indoors (9.26%) and abroad (8.64%). There is a significant difference in the percentage of moisture captured by the *Eucalyptus salignas*, given that the interior (8.33%) is significantly higher than outside the plantations (5.54%).

Keywords: Moisture, impact, plantations, *Eucalyptus torreliano*, *Eucalyptus salignas*, soil.



INTRODUCCIÓN

En el curso de la evolución, los eucaliptos han desarrollado características de crecimiento que han hecho de ellos un factor fundamental para la perpetuación de un recurso forestal, sometido a las difíciles condiciones ambientales de su tierra nativa. Esta especie, originaria de Australia, por su rápida y alta producción de biomasa y buena forma, es apta para una amplia variedad de usos (Schmincke, 1995)

La mayor parte de la producción de los montes de eucalipto de corta rotación es de madera para leña, el producto de menor valor de mercado por unidad de volumen, a pesar de que puede ser el producto de mayor valor social para las comunidades interesadas.

Asimismo, durante los últimos 25 años, el mundo ha visto cambios radicales en cuanto a la actitud con respecto a la madera como combustible. Su empleo ha creado hostilidad por parte de grupos de ecólogos preocupados por la contaminación de las comunidades urbanas causadas por el humo. Se han aprobado en varios países leyes sobre el aire puro, que han sido útiles para muchos objetivos (Schmincke, 1995)

Actualmente los científicos señalan que el beneficio neto del crecimiento de los árboles es el de extraer de la atmósfera el dióxido de carbono, considerado el sospechoso número uno en las teorías del calentamiento global de la tierra. Las preocupaciones acerca de la atmósfera están acercando el regreso de la madera. Los ambientalistas dicen que aunque la quema de madera emite algún carbono, este es menos que el que produce el carbón. Además la virtud que tienen los árboles de producir oxígeno compensara ampliamente la contaminación causada incinerándolos (FAO, 1990)

Los bosques tienen poca influencia sobre el macroclima de una región, pero las zonas cubiertas ampliamente de arbolado no reflejan el calor del sol tanto como los terrenos claros y despejados. Este hecho puede influir sobre el equilibrio energético y las corrientes de aire cerca del suelo y en su contenido de polvo. En cambio, el microclima dentro de la plantación o el bosque puede ser muy diferente de las condiciones en el exterior, y por esta razón los cortavientos son tan eficaces para proteger cultivos y animales. La humedad del aire es a menudo mayor dentro de una plantación, y como la luz del sol es menos directa, la temperatura media suele ser más baja. Durante el día, el aire próximo al suelo dentro de

la plantación está más fresco que en las capas superiores, y las temperaturas extremas no son tan altas y tan bajas como en los parajes abiertos o desprotegidos. Los efectos de los eucaliptos sobre el microclima son, en general, análogos al de otros bosques de hoja perenne (Schmincke, 1995)

Los árboles pueden captar también el agua de los vientos húmedos que pasen a través del follaje y de las ramas superiores. Es considerable la cantidad de agua que puede retener así las copas de los árboles y que deslizándose por entre el follaje llegará al terreno, aportando a las precipitaciones anuales un complemento valioso que no se recibe en zonas desprovistas de arbolado (Schmincke, 1995)

Cuando la tierra no se cultiva de manera correcta, una excesiva escorrentía superficial después de fuertes lluvias puede producir la erosión del suelo. La erosión depende de factores como la intensidad de las lluvias, la condición del suelo, su pendiente, el tipo de vegetación y la capa de humus. Conviene que las condiciones del terreno favorezcan la penetración del agua en el suelo, más bien que dejarla correr por la superficie.

La escarda tal como puede practicarse en plantaciones jóvenes de eucaliptos puede dejar el suelo expuesto a la erosión. Si crecen bien, los árboles jóvenes pueden proteger eficazmente el terreno un año después de ser plantados. Las plantaciones en laderas de fuerte pendiente pueden ser una buena manera de prevenir la erosión si se utilizan técnicas cuidadosas, como surcos a lo largo de las curvas de nivel (Schmincke, 1995)

Las plantaciones maduras de eucaliptos no brindan mucha protección en las regiones semiáridas, porque el follaje es discontinuo y el soto bosque suele ser ralo, dejando expuesta la superficie del terreno. No obstante se ha recomendado algunas especies para reducir la erosión en esas condiciones. La hojarasca que se acumula bajo casi todos los bosques de eucaliptos puede ayudar a formar una barrera protectora contra la erosión, aunque en muchos lugares tal hojarasca se recoge para utilizarla como combustible o para reducir los riesgos de incendio. Es preciso un estudio realista de cada terreno antes de realizar una plantación, con objeto de determinar si la erosión va a constituir un problema grave y, de ser así, si podrá ser combatida. Algunos terrenos pueden no ser aptos para el establecimiento de plantaciones (FAO, 1990)

Los árboles reducen la fuerza del viento además de cubrir con hojarasca la superficie del suelo, pero para eliminar la erosión eólica no tiene importancia la especie que se utilice. Los eucaliptos echan raíces rápidamente incluso en terrenos arenosos y secos, por lo que son útiles para iniciar barreras contra el viento.

En las zonas pantanosas en las que el nivel freático está en la superficie o cerca de ella se han utilizado algunas especies de eucaliptos para drenar el agua, que es absorbida por las raíces de los árboles. Las zonas infestadas de mosquitos pueden a veces sanearse de esta manera; pero si el trabajo no se planifica bien, puede producir efectos nocivos en tierras contiguas si reduce en ellas el caudal de agua utilizado para consumo doméstico y para riego (FAO,1990)

Deben evaluarse atentamente los costos y los beneficios de la plantación de eucaliptos frente a otros árboles de crecimiento rápido, estudiando los detalles de cada terreno. Hay que sopesar la necesidad local de productos forestales frente a los efectos sobre unos recursos hídricos que pueden ser esenciales para los habitantes del lugar. Se trata de un problema social y económico para cuya solución hay que consultar a las personas que resultarán probablemente afectadas. Este puede ser el problema más difícil que plantea el cultivo de los eucaliptos (Schmincke, 1995)

Bajo este panorama, actualmente para las condiciones de la zona cafetera del Alto Mayo, existe poca información sobre los niveles de lluvia causantes de deslizamientos, el movimiento del agua en el perfil de suelo en condiciones no saturadas y de ladera, el avance del frente de humedecimiento, valores de la humedad y la succión matricial del suelo, a partir de los cuales se inician los movimientos en masa en suelos de la zona cafetera del Alto Mayo; factores en los cuales la investigación quiere aportar a su mejor entendimiento.

En ese sentido se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál es el Impacto de las plantaciones de Eucalipto Torrellano (*Eucalyptus torrelliano*) y Eucalipto Salignas (*Eucalyptus salignas*) sobre el contenido de humedad del suelo, en el centro poblado de Cesar Vallejo, provincia de Rioja, Región San Martín?

Bajo esta interrogante de investigación formulamos como objetivo general determinar el impacto de las plantaciones Eucalipto torrellano (*Eucalyptus torrelliano*) y Eucalipto

salignas (*Eucalyptus salignas*) sobre el contenido de humedad del suelo, para lo cual se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el porcentaje de humedad del suelo al interior y al exterior de la parcela donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus torreliano*
- Determinar el porcentaje de humedad del suelo al interior y al exterior donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus salignas*.
- Determinar la variedad óptima en la retención de humedad del suelo tanto al interior como al exterior de las plantaciones de eucalipto.

Asimismo, se consideró como hipótesis de investigación el supuesto que las plantaciones *Eucalyptus torreliano* y *Eucalyptus salignas* tiene un impacto significativo sobre el contenido de humedad del suelo.

Finalmente, para una mejor comprensión, la presente investigación quedó estructurada en tres capítulos:

En el capítulo I se hace la descripción de la situación problemática que conlleva a la formulación del problema de investigación, se describe la importancia del tema investigado así como los objetivos e hipótesis.

En el capítulo II se presentan las referencias bibliográficas consistentes en estudios previos a la investigación así como la definición de los principales términos relacionados con el tema.

En el capítulo III se presentan los resultados de la investigación, así como la discusión de los mismos de acuerdo a los estudios previos, luego se presentan las conclusiones así como las recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos pertinentes al estudio realizado.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

Gayoso e Iroume (2005), en su investigación “Impacto del manejo de plantaciones sobre el ambiente físico”, concluyeron que los principales impactos negativos de las plantaciones sobre el ambiente físico son generados por las acciones de preparación de sitios para la plantación, la construcción de caminos, el madereo terrestre y menos por el propio crecimiento de los árboles. Los subcomponentes suelo y agua son los más afectados. Sobre el suelo se identifica un aumento de la compactación, remoción y erosión, y un agotamiento de nutrientes. Sobre el agua, se denota la alteración del balance hídrico como consecuencia de la odificación de los niveles de intercepción, evapotranspiración y escorrentía y de la calidad físico-química de las aguas. Estos impactos serán más marcados en la situación de sustitución de bosques y matorrales nativos, sistemas que hoy se consideran estables.

La magnitud de los impactos en el ambiente físico generados por las plantaciones depende principalmente de la fragilidad de los terrenos y las tecnologías que se empleen en las operaciones de establecimiento, manejo y cosecha forestal. Frente a esta situación, será imprescindible en el futuro contar con una clasificación de los terrenos en categorías de fragilidad potencial a la degradación del medio físico, previa a la implementación de los proyectos de plantaciones, con la finalidad de poder ajustar las acciones de estos proyectos a los respectivos niveles de fragilidad de los terrenos y reducir los impactos ambientales.

Torran (2007), en su investigación “Impacto de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* sobre el contenido de humedad del suelo. Análisis de un caso en el Noreste de la Provincia de Entre Ríos”, concluyó que el contenido de humedad del suelo en la frontera e interior de la forestación de *Eucalyptus grandis* ubicada en el sitio a fue menor que el encontrado en el exterior de la misma. La prueba t indicó que la diferencia entre las medias del interior (incluyendo la frontera) y del exterior es altamente significativa desde el punto de vista estadístico, con una probabilidad

asociada (p) menor a 0,0005. A su vez, el test de Levene arrojó que la hipótesis de varianzas iguales entre ambas debe ser rechazada, con una probabilidad asociada igual a 0,008.

Teniendo como referencia la distancia a la frontera de la plantación, el contenido de humedad promedio exhibió un crecimiento desde el interior hacia el exterior, mientras que los valores mínimos y máximos, así como la dispersión, no mostraron una tendencia clara. Las variaciones del valor medio dentro de la plantación fueron pequeñas y el mayor gradiente se produjo entre la frontera y el pozo ubicado a 5 m de la misma hacia el exterior.

En relación a la profundidad, en el interior el contenido de humedad promedio creció desde la superficie hasta 1 m, donde exhibió su mayor valor, y luego disminuyó hasta los 2 m. En el exterior, por su parte, el incremento se produjo hasta alcanzar el valor mayor a la profundidad de 0,5 m, para luego decrecer a 1,5 m y mantenerse prácticamente constante en los 2 m. La mayor divergencia entre los valores medios del interior y del exterior se produjo a la profundidad de 0,5 m, lo cual puede explicarse por una posible disminución de las raíces hacia el exterior y por la presencia de un manto de arcilla arenosa relativamente impermeable que se encuentra entre las profundidades de 0,87 m y 1,38 m en el interior y entre 0,60 m y 1,20 m en el exterior de la plantación.

Concluye también que el contenido de humedad del suelo encontrado tanto en el interior (incluyendo la frontera) como en el exterior de esta forestación, en el período de tiempo considerado y para las distintas distancias a la frontera y profundidades analizadas, se encuentra dentro del rango que posibilita el desarrollo de cultivos.

Martínez (2015), en su investigación titulada “Eucalipto (*Eucalyptus spp.*): condiciones para su cultivo, fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, menciona que el *Eucalyptus spp.* es el género de especies comerciales más ampliamente plantado en el mundo, con especies ampliamente conocidas como *Eucalyptus grandis*, y sus híbridos, ampliamente plantado en América del Sur y África; *E. globulus*, plantado extensamente en Chile, Argentina y otros países, *E. deglupta* plantado en diferentes países, entre ellos

Uruguay y Costa Rica. Todas las especies son plantadas tanto para la producción de madera para aserrío, tableros (compensados y aglomerados), astillas para la producción de pulpa para papel. El género *Eucalyptus spp* (y dentro de el *E. deglupta*, *E. grandis*, *E. saligna* y *E. camaldulensis*) ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias en el proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”.

El *Eucalyptus deglupta* es la especie más conocida en Costa Rica, utilizada para la producción de madera para aserrío, construcción y en el pasado para la manufactura de tableros compensados; también se ha plantado *E. saligna* y *E. grandis* caracterizadas por su crecimiento rápido; con silvicultura conocida, experiencia nacional y disponibilidad de técnicos capacitados e información disponible, producto de investigación realizada en el pasado; existencia de incentivos (pago por servicios ambientales) y la posibilidad de acceder a créditos para el establecimiento y manejo.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. El eucalyptus y el medio ambiente

Según estimaciones de la FAO hasta la fecha se han establecido unos 15.000.000 de hectáreas de plantaciones de eucalyptus en zonas tropicales y sub-tropicales. Muchas de las más de 700 especies y variedades de este género originario casi exclusivamente de Australia, crecen rápidamente y producen madera en abundancia cuando se cultivan en plantaciones bien manejadas, tanto dentro como fuera de su área de distribución natural. Estas cualidades son valiosas teniendo en cuenta la creciente demanda de madera y otros bienes y servicios que ofrecen los bosques y los árboles, y la escasa disponibilidad de tierras, especialmente en países en desarrollo (Brown y Hillis. 2010)

En este sentido se encuentran argumentos muy variados y con distinto nivel de fundamentación, tocando muchas veces aspectos técnico-científicos, ecológicos, socioeconómicos y también emocionales. Las críticas más frecuentes sobre las forestaciones con Eucalyptus se relacionan a los siguientes factores ambientales:

- **Empobrecimiento de los suelos.** Es muy común y está relacionado al agotamiento de los nutrientes en el sitio donde crecen, especialmente donde estos han sido cosechados durante varios turnos. Si bien esta crítica puede considerarse de tipo general y aplicarse a cualquier tipo de cultivo, en muchas ocasiones ha cobrado especial énfasis sobre el género y la especie objetos de este trabajo. No faltan también posiciones antagónicas que sostienen que estas forestaciones mejoran las condiciones del suelo, especialmente cuando se plantan en terrenos degradados. Indudablemente que no es conveniente generalizar sin realizar los estudios en cada caso antes de poder llegar a una conclusión, y es de tener en cuenta que puede considerarse remota la posibilidad de que se produzcan alteraciones irreversibles en este aspecto (USDA. 2009).

- **Efectos sobre la flora y fauna de cada región.** Este impacto es también conocido como competencia y sustitución. El primero, el de competencia, se presenta cuando se planta una especie de árboles sobre un terreno natural o semi natural generando un efecto posiblemente negativo sobre la flora y la fauna considerando las consecuencias que provocan los cuidados que necesitan las forestaciones, tales como la preparación de los suelos antes y después de la plantación y la limpieza mecánica con la aplicación periódica de herbicidas, lo cual contribuye a la eliminación de las especies locales. El segundo efecto, el de sustitución, se produciría debido a que el eucalyptus impide el desarrollo de la mayoría de las especies vegetales por ser muy agresivo para el sotobosque, debido a su explotación del agua, monopolización de la luz, y eliminación directa de algunas especies con generación de productos químicos alelopáticos (Brown y Hillis. 2010)

- **El consumo excesivo de agua.** Es sin dudas uno de los factores más cuestionados al género eucalyptus, aunque investigaciones realizadas en diversas condiciones ambientales mencionan el consumo de la especie como comparable al de otras plantaciones de rápido crecimiento y al de bosques naturales. En este sentido se llevaron a cabo investigaciones midiendo el consumo de una especie de eucalyptus y el de un doble cultivo

trigo-soja para la región pampeana en el ciclo agrícola 2000/2001. Se encontró que el consumo del eucalyptus fue un 10 % inferior al del doble cultivo (Rébora). No obstante, se menciona una menor eficiencia en el uso del agua cuando las raíces tienen acceso al agua disponible en el suelo y cuando la demanda atmosférica es alta, ya que se menciona que el eucalyptus no muestra una buena regulación estomática en la transpiración. En estos casos, las plantaciones de este género justifican su reputación como 'bombas de agua' (Pereira de Lima, 2010).

- **Los aspectos sociales.** Éstos se relacionan estrechamente con los anteriores y son fuertemente cuestionados debido a la baja cantidad de mano de obra utilizada en las forestaciones, en comparación con otras actividades rurales. Muchas de éstas se encuentran socialmente aceptadas aunque en algunos casos son actividades introducidas por el desarrollo, tales como la agricultura intensiva y las grandes extensiones utilizadas para la ganadería, con campos destinados a la siembra de forrajes para su alimentación (Pereira de Lima, 2010).

1.2.2. El suelo

El suelo es la cubierta superficial de la mayoría de la superficie continental de la tierra. Es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua, el clima y los procesos de desintegración orgánica. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado están determinadas por el tipo de material geológico del que se originan, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas. Los agricultores han tenido que desarrollar métodos para prevenir la alteración perjudicial del suelo debida al cultivo excesivo y para reconstruir suelos que ya han sido alterados con graves daños (Pérez, 2007)

a. Naturaleza del suelo

Los componentes primarios del suelo son:

- Compuestos inorgánicos, no disueltos, producidos por la meteorización y la descomposición de las rocas superficiales.
- Los nutrientes solubles utilizados por las plantas.
- Distintos tipos de materia orgánica, viva o muerta.
- Gases y agua requeridos por las plantas y por los organismos subterráneos.

La naturaleza física del suelo está determinada por la proporción de partículas de varios tamaños. Las partículas inorgánicas tienen tamaños que varían entre el que presentan los trozos distinguibles de piedra y grava hasta los de menos de 1/4000 mm. Las grandes partículas, como la arena y la grava, son en su mayor parte químicamente inactivas, pero las pequeñas partículas inorgánicas, componentes principales de las arcillas finas, sirven también como depósitos de los que las raíces de las plantas extraen nutrientes (Ritchie, 2010)

La parte orgánica del suelo está formada por restos vegetales y restos animales, junto a cantidades variables de materia orgánica amorfa llamada humus. La fracción orgánica representa entre el 2% y el 5% del suelo superficial en las regiones húmedas, siendo menores del 0,5% en suelos áridos o más del 95% en suelos de turba (Ritchie, 2010)

El componente líquido de los suelos, denominado por los científicos solución del suelo, es sobre todo agua con varias sustancias minerales en disolución, cantidades grandes de oxígeno y dióxido de carbono disueltos. La solución del suelo es muy compleja, y tiene importancia primordial al ser el medio por el que los nutrientes son absorbidos por las raíces de las plantas. Cuando la solución del suelo carece de los elementos requeridos para el crecimiento de las plantas, el suelo es estéril (Ritchie, 2010).

b. Tipos de suelo

Los suelos muestran gran variedad de aspectos, fertilidad y características químicas, que varían en función de los materiales minerales y orgánicos que lo forman. El color es uno de los medios más simples para calificar las variedades de suelo. La regla general, aunque con excepciones, es que los suelos oscuros son más fértiles que los claros. La oscuridad suele ser resultado de la presencia de grandes cantidades de humus. A veces, sin embargo, los suelos oscuros o negros deben su tono a la materia mineral o a humedad excesiva. En estos casos, el color oscuro no es un indicador de fertilidad. Los suelos rojos o castaño-rojizos suelen contener una gran proporción de óxidos de hierro (derivados de las rocas primigenias) que no han sido sometidos a humedad excesiva. Los suelos amarillos o amarillentos tienen escasa fertilidad. Los suelos con un porcentaje muy elevado de arena pueden almacenar poca agua y pierden grandes cantidades de minerales nutrientes por lixiviación hacia el subsuelo (Santa Olalla et al, 2013)

c. Clasificación de los suelos

Los suelos se dividen en clases según sus características generales y de acuerdo al propósito de la clasificación. Estas se suelen basar en aspectos físicos y mecánicos, además de la morfología y la composición, con énfasis en las propiedades y parámetros que se pueden ver, sentir o medir, como la profundidad, el color, la textura, la densidad, la resistencia, la estructura, la composición química y la plasticidad, entre otras (Santa Olalla et al, 2013)

Las propiedades de un suelo reflejan la interacción de varios procesos de formación que suceden de forma simultánea tras la acumulación del material primigenio (Santa Olalla et al, 2013)

Desde el punto de vista agronómico, los suelos que comparten muchas características comunes se agrupan en series y éstas en familias. Del mismo modo, las familias se combinan en grupos, y éstos en subórdenes que conforman a su vez órdenes. Los nombres dados a los órdenes, subórdenes,

grupos principales y subgrupos adoptan, fundamentalmente, raíces griegas y latinas (USDA, 2009)

Tabla 1.

Órdenes de suelos y rasgos característicos según la clasificación USDA- (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)

Orden	Horizontes	Rasgos característicos
Alfisol	Diferenciado	Suelos con horizonte arcilloso, jóvenes, comúnmente bajo bosques de hoja caediza
Arisdisol	Diferenciado	Suelos secos (climas áridos); sales, yeso o acumulaciones de carbonatos frecuentes
Entisol	Diferenciado	Casi nula diferenciación de horizontes; distinciones no climáticas: aluviones, suelos helados, desiertos de arena
Espodosol	Diferenciado	Forestales húmedos; frecuentemente bajo coníferas. Con un horizonte B enriquecido en hierro y/o en materia orgánica y comúnmente un horizonte A gris-ceniza, lixiviado.
Histosol	No diferenciado	Suelos orgánicos. Depósitos orgánicos: turba, lignito, sin distinciones climáticas.
Inceptisol	Incipiente	Suelos con débil desarrollo de horizontes; suelos de tundra, suelos volcánicos recientes.
Molisol	Diferenciado	Suelos de zonas de pradera en climas templados; horizonte superficial blando; rico en materia orgánica, espeso y oscuro.
Oxisol	No diferenciado	Suelos tropicales y subtropicales, intensamente meteorizados formándose recientemente horizontes lateríticos y suelos bauxíticos
Vertisol	Ninguno	Suelos ricos en arcilla; generalmente en zonas subhúmedas a áridas, con hidratación y expansión en húmedo y agrietados cuando secos.

Fuente: Adaptada de USDA 2009.

d. El agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo es indispensable para la nutrición de las plantas y actúa como vehículo de los elementos nutritivos disueltos. Por otra parte, es uno de los principales condicionantes de los procesos de formación del suelo. Las fuentes principales que proveen de agua al suelo son las lluvias y la presencia de napas subterráneas (Sivori, 2007)

Las lluvias que caen en la superficie se pueden subdividir en dos fracciones, las que normalmente se denominan agua de escorrentía y agua gravitacional (Sivori, 2007)

El agua de escorrentía es la que circula sobre el suelo o en el interior de los horizontes superiores, paralelamente a la superficie. Se presenta por tanto en terrenos con pendiente y, en el caso de lluvias violentas, es causa de empobrecimiento de los suelos por arrastre de partículas finas y nutrientes (Sivori, 2007)

El agua gravitacional es la que se infiltra por la fuerza de la gravedad y circula por los poros, en general verticalmente, aunque en algunos casos puede hacerlo en forma horizontal debido a fuertes pendientes o a cambios en la permeabilidad de los diferentes horizontes. Esta fracción se puede subdividir a su vez en infiltración de flujo rápido e infiltración de flujo lento, siendo el tamaño de los poros el principal factor que gobierna este fenómeno.

El flujo rápido se canaliza por los poros con abertura superior a 50 μm y se produce durante la lluvia y por un período posterior a ésta que involucra algunas horas. El flujo lento desciende por los poros más pequeños, con diámetros comprendidos entre 50 μm y 10 μm , y puede permanecer durante semanas en el suelo luego de las precipitaciones (Sivori, 2007)

La cantidad de agua de lluvia que se infiltra está gobernada por las relaciones que se dan entre la intensidad de la lluvia y la tasa de infiltración del suelo.

Cuando el agua que llega al suelo es mayor que la que puede infiltrar, tiene lugar la escorrentía con el consecuente desperdicio de agua y lavado del suelo (Sivori, 2007)

La tasa de infiltración del suelo se ve influenciada tanto por el tamaño de los poros como por su distribución y estabilidad, ya que suelen presentarse situaciones en las cuales una fuerte inestabilidad de los poros produce un sellado superficial que impide la infiltración aún en el caso de lluvias intensas. Para contrarrestar estos aspectos hay que adecuar las técnicas de labranza y manejo del suelo evitando la denudación de superficie tanto como la compactación, y además mantener coberturas superficiales tales como follaje de cultivos, residuos vegetales, e incluso malezas (Sivori, 2007)

La fuerza con la cual el agua es retenida varía con el tamaño de las partículas y de los poros del suelo. La fracción más fácilmente removible por las plantas está retenida con presiones comprendidas entre un décimo y un tercio de la presión atmosférica. Esta fracción de agua es la que se encuentra próxima a la capacidad de campo. Una vez que las plantas comienzan a absorber humedad, la tensión a la cual ésta está retenida comienza a aumentar hasta llegar a valores cercanos a las 16 atmósferas, lo que la hace inaccesible para las raíces. Por lo tanto el agua útil para los cultivos es la comprendida entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento. Los valores de estos límites, y consecuentemente del agua disponible, varían de acuerdo al tipo de suelo y se presentan sintéticamente en la tabla 2.

Tabla 2.

Valores característicos del contenido de humedad para distintos tipos de suelo

Textura del suelo	Capacidad de campo %	Punto de marchitez %	Agua disponible %
Arenoso	9	2	7
Arenoso - Franco	14	4	10
Franco arenoso - limoso	23	9	14
Franco arenoso+ materia orgánica	29	10	19
Franco	34	12	22
Franco arcilloso	30	16	14
Arcilloso	38	34	4
Arcilloso con buena estructura	50	30	20

Fuente: Adaptada de Philip, 2007

1.2.3. El agua y los cultivos

Las estomas sobre la epidermis de las hojas son las válvulas que permiten la difusión del vapor de agua desde éstas a la atmósfera y simultáneamente permiten la entrada de dióxido de carbono para su fijación en el proceso de fotosíntesis. Por lo tanto, la acumulación de biomasa en el cultivo está muy relacionada con la posibilidad que tienen las plantas de extraer el agua del suelo para satisfacer sus requerimientos (Philip, 2007)

La cantidad y tasa de absorción de agua y nutrientes que llevan a cabo las plantas, dependen de la habilidad de las raíces para absorber la solución del suelo con el que está en contacto. También están relacionadas a la capacidad que tiene el suelo de suministrarla y transmitirla a una velocidad tal que permita satisfacer los requerimientos de transpiración y crecimiento (Philip, 2007)

Según Martínez et al (2009), los suelos desarrollados sobre terrazas fluviales o depósitos arenosos presentan normalmente valores bajos de humedad debido a su menor capacidad de retención, incluso en épocas de abundante precipitación. Sin embargo, en la mayor parte de los casos conservan valores del contenido de humedad dentro del umbral de agua disponible, aun en los periodos más críticos. Esto se debe a que, aún con una baja capacidad de retención, la escasa humedad almacenada es retenida con poca energía y, por tanto, es agua disponible

Cualquier factor adverso que altere el crecimiento y actividad de las raíces, como la presencia de capas compactadas, o estado hídrico, aireación y temperatura por lo tanto la capacidad de producción del cultivo. Del mismo modo pueden incidir fuertemente algunas propiedades del suelo, tales como una baja conductividad hidráulica que limite el libre suministro de agua a las raíces (Philip, 2007)

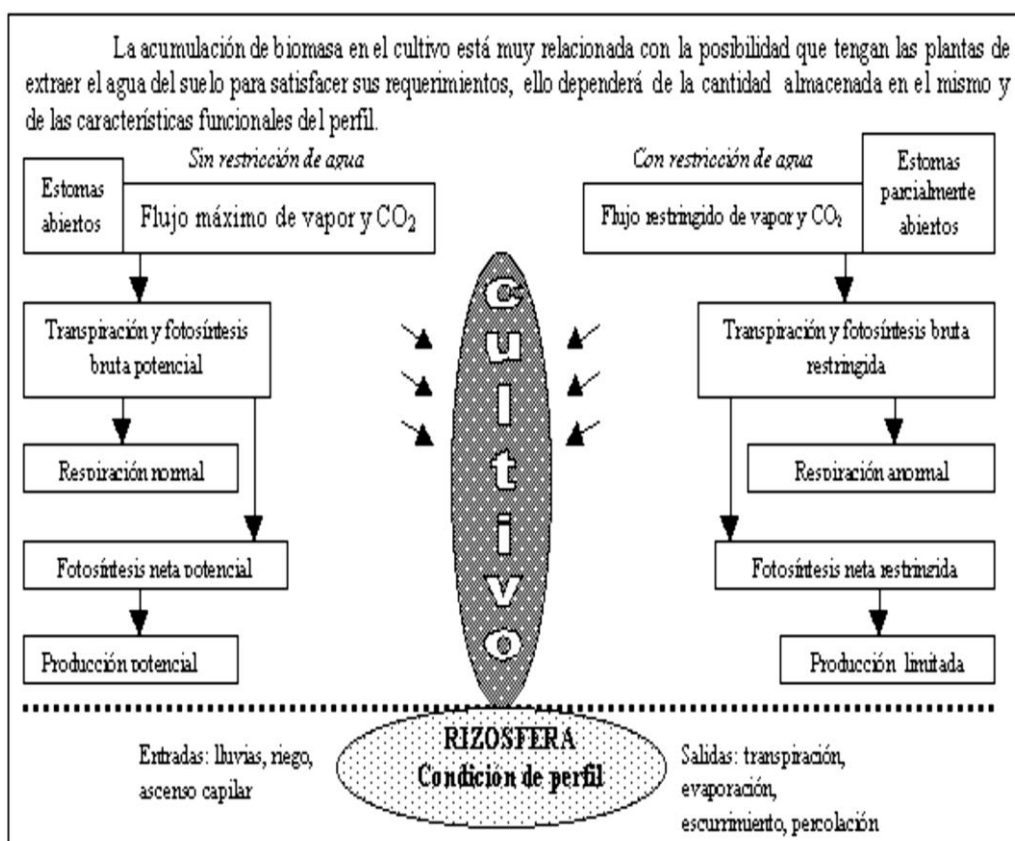


Figura 1. Esquema de desarrollo de un cultivo con y sin déficit hídrico. (Fuente: adaptada de Philip J, 2007)

a. El ciclo del agua

Las relaciones entre las plantas, el suelo y el agua son complejas, pero es importante tener algún conocimiento de ellas, para estimar los posibles efectos de los eucaliptos (o de cualquier otro árbol) sobre la hidrología local. Cuando una cierta cantidad de lluvia (A) cae sobre un área cubierta con árboles, alguna parte (B) llega al suelo directamente o pasa por goteo a través del follaje, mientras que otra parte (C), es interceptada por el dosel de las copas. De esta última cantidad, una porción (D) se evapora y se pierde y la parte remanente (E), finalmente llega al suelo resbalando a través de los troncos de los árboles (flujo de tallo). Para determinar estas diferentes cantidades, es importante conocer la densidad de los árboles, la naturaleza del follaje y el carácter del tronco y la corteza.

Igualmente se deben considerar factores climáticos, tales como la intensidad de las lluvias, la temperatura, los vientos (que producirían más evaporación), y las nieblas (que favorecerían mayor interceptación y por consiguiente mayor goteo y flujo de tallo). Cuando la lluvia llega al suelo, una parte (F) puede fluir sobre la superficie del suelo (escorrentía superficial), convirtiéndose en la causa principal de la erosión del suelo por el agua. Alguna parte (G) puede evaporarse directamente hacia la atmósfera, mientras que el resto penetra en el suelo. La cantidad de escorrentía superficial (F) y su manera de comportarse sobre la superficie del suelo, depende de varios factores: La intensidad de las lluvias (a mayor concentración de la precipitación mayor escorrentía); la pendiente e irregularidad del terreno; la presencia o ausencia de una cubierta protectora ya sea de hojarasca o de piedras, para aminorar el impacto de las gotas de lluvia o reducir la fuerza del agua en su movimiento pendiente abajo; la naturaleza de la superficie del suelo, y en particular, si ésta permite o no la infiltración (H) fácil y rápida del agua. Bajo condiciones ideales, toda el agua se infiltrará y no se producirá escorrentía (Santa Olalla y De Juan, 2013).

Bajo condiciones menos favorables, el agua correrá por toda la superficie hasta alcanzar las corrientes de agua y elevar sus picos de creciente. Esta escorrentía puede transportar suelo en suspensión (erosión laminar) y cuando se concentra (debido a árboles, agrupaciones de pastos o rocas), puede formar cárcavas y generar una mayor pérdida de suelo. El agua que escurre de esta manera, se pierde para el uso de las plantas en terrenos pendientes, y en razón a que no se infiltra en el suelo, no contribuye a recargar el "flujo base" (el flujo estable y permanente) de las corrientes que drenan el área. De otro lado, el movimiento del agua una vez que ha penetrado en el suelo, es afectado en buena medida por el clima. En climas o estaciones secas (cuando la evapotranspiración potencial es mayor que la precipitación) ocurre un movimiento neto del agua hacia la superficie; al contrario, en climas o estaciones húmedas el movimiento es hacia abajo (Santa Olalla y De Juan, 2013).

Existe poco movimiento ascendente del agua en suelos gravillosos o arenosos, pero en suelos de texturas finas, hay un movimiento hacia la superficie mediante la acción capilar. Por esta razón, en climas áridos, donde el movimiento neto del agua del suelo es hacia arriba, los suelos arcillosos se secan más rápidamente y son regularmente más secos que los suelos arenosos; un comportamiento opuesto ocurre en climas húmedos, donde el movimiento neto del agua es hacia abajo. Cuando penetra suficiente agua dentro del suelo, este puede retener una cierta cantidad (I) contra las fuerzas gravitacionales, conocida como la "capacidad de campo". El agua sobrante (K) percola hasta la capa freática (zona en la cual el suelo permanece saturado) y de aquí pasa a alimentar las corrientes, los ríos y los profundos acuíferos subterráneos. La cantidad de agua retenida por el suelo es entonces afectada por el volumen del mismo, por su textura, y por la materia orgánica presente. De esta manera, la erosión del suelo reduce la cantidad de agua disponible para las plantas por disminución del volumen de suelo; y así mismo suelos limosos retienen mayor humedad que los arenosos y gravillosos (Santa Olalla y De Juan, 2013)

El sistema radicular de las plantas en este volumen de suelo, podría absorber casi toda el agua al alcance de las raíces. Las plantas incorporan una cantidad muy pequeña en sus tejidos vivos y transpiran el resto (L) a la atmósfera. El total de agua utilizada depende del clima, de la distribución de las raíces, y del volumen V del suelo por el agua. Alguna parte (G) puede evaporarse directamente hacia la atmósfera, mientras que el resto penetra en el suelo. La cantidad de escorrentía superficial (F) y su manera de comportarse sobre la superficie del suelo, depende de varios factores: La intensidad de las lluvias (a mayor concentración de la precipitación mayor escorrentía); la pendiente e irregularidad del terreno; la presencia o ausencia de una cubierta protectora ya sea de hojarasca o de piedras, para aminorar el impacto de las gotas de lluvia o reducir la fuerza del agua en su movimiento pendiente abajo; la naturaleza de la superficie del suelo, y en particular, si esta permite o no la infiltración (H) fácil y rápida del agua. Bajo condiciones ideales, toda el agua se infiltrara y no se producirá escorrentía. Bajo condiciones menos favorables, el agua carrera por toda la superficie hasta alcanzar las corrientes de agua y elevar sus picos de creciente. Esta escorrentía puede transportar suelo en suspensión (erosión laminar) y cuando se concentra (debido a árboles, agrupaciones de pastos o rocas), puede formar cárcavas y generar una mayor pérdida de suelo. El agua que escurre de esta manera, se pierde para el uso de las plantas en terrenos pendientes, y en razón a que no se infiltra en el suelo, no contribuye a recargar el "flujo base" (el flujo estable y permanente) de las corrientes que drenan el área (Santa Olalla y De Juan, 2013)

De otro lado, el movimiento del agua una vez que ha penetrado en el suelo, es afectado en buena medida por el clima. En climas o estaciones secas (cuando la evapotranspiración potencial es mayor que la precipitación) ocurre un movimiento neto del agua hacia la superficie; al contrario, en climas o estaciones húmedas el movimiento es hacia abajo. Existe poco movimiento ascendente del agua en suelos gravillosos o arenosos, pero en suelos de texturas finas, hay un movimiento hacia la superficie mediante la acción capilar. Por esta razón, en climas áridos, donde el movimiento neto

del agua del suelo es hacia arriba, los suelos arcillosos se secan más rápidamente y son regularmente más secos que los suelos arenosos; un comportamiento opuesto ocurre en climas húmedos, donde el movimiento neto del agua es hacia abajo. Cuando penetra suficiente agua dentro del suelo, este puede retener una cierta cantidad (I) contra las fuerzas gravitacionales, conocida como la "capacidad de campo". El agua sobrante (K) percola hasta la capa freática (zona en la cual el suelo permanece saturado) y de aquí pasa a alimentar las corrientes, los ríos y los profundos acuíferos subterráneos. La cantidad de agua retenida por el suelo es entonces afectada por el volumen del mismo, por su textura, y por la materia orgánica presente. De esta manera, la erosión del suelo reduce la cantidad de agua disponible para las plantas por disminución del volumen de suelo; y así mismo suelos limosos retienen mayor humedad que los arenosos y gravilimosos (Santa Olalla y De Juan, 2013)

El sistema radicular de las plantas en este volumen de suelo, podría absorber casi toda el agua al alcance de las raíces. Las plantas incorporan una cantidad muy pequeña en sus tejidos vivos y transpiran el resto (L) a la atmósfera. El total de agua utilizada depende del clima, de la distribución de las raíces, y del volumen de suelo ocupado por ellas (Santa Olalla y De Juan, 2013)

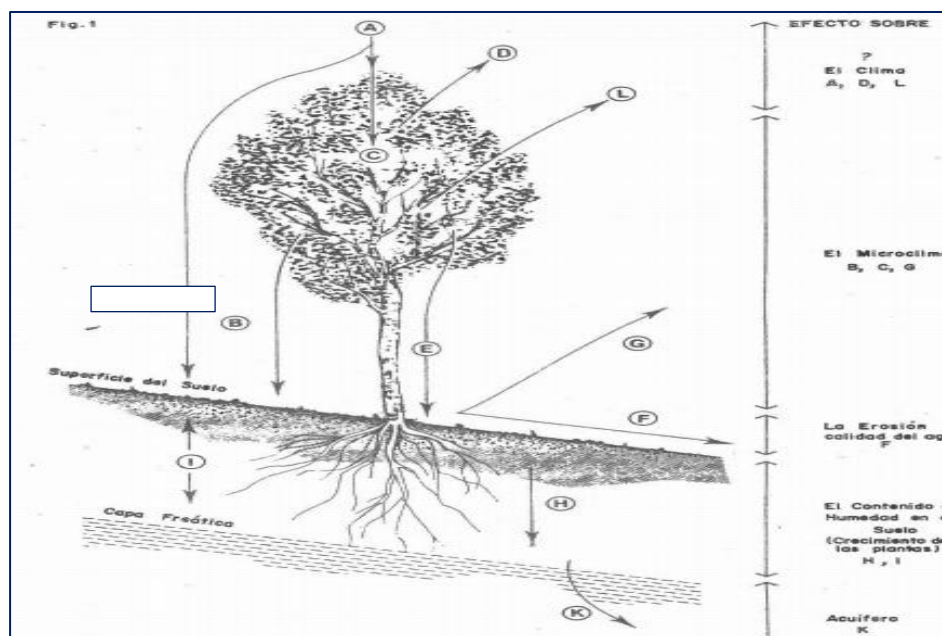


Figura 2. Esquema del ciclo de agua en una plantación

b. Influencia de las forestaciones en el ciclo del agua

Una cubierta forestal se diferencia de una herbácea por la gran cantidad de agua que puede perder por intercepción. Además, según el tamaño y la forma de las copas de los árboles, una cantidad variable de la precipitación alcanza el suelo, utilizando como senda de fluido el tronco de los árboles.

La importante extensión vertical que tiene el sistema radicular de los árboles, les permite aprovechar el agua edáfica hasta una mayor profundidad que los otros vegetales. Esta característica aumenta la transpiración, porque los mayores consumos de agua se registran en cubiertas vegetales que tienen un sistema radicular más profundo y mejor desarrollado. En este sentido dicen que del resultado destructivo de 24 árboles originarios de 8 diferentes clones, la máxima penetración observada para las raíces fue de 2,2 metros y que su concentración fue mayor en los primeros 1,5 m desde la superficie. El consumo de agua por evapotranspiración se puede calcular analíticamente mediante la ecuación general de continuidad del balance hídrico (Philip, 2007).

Por lo tanto, toda disminución del agua edáfica es producto de la evaporación, esta situación corresponde a un contenido de agua del suelo equivalente a la de su capacidad de campo. En esta situación, la evapotranspiración se determina con la siguiente relación:

$$evtp = n + w - a$$

Dónde:

evtp : Evapotranspiración

n : Precipitación

w : Variaciones del contenido de agua edáfica

a : Escorrentía superficial.

1.3. Definición de términos

Aspersor de Neutrones.

Se basa en la liberación de neutrones rápidos desde una fuente apropiada y en la detección de la cantidad que rebota sobre núcleos de hidrógeno (Pérez, 2007).

Bloques de Resistencia.

Su principio de funcionamiento se basa en la capacidad de absorber humedad de un bloque, generalmente de yeso, que lleva en su interior un par de electrodos que se utilizan para medir la resistencia del mismo (Pérez, 2007).

Determinación por tensiómetros.

Es un método indirecto que permite determinar el contenido de humedad del suelo por medio de la determinación del potencial métrico (Rébora, 2011).

Densidad

En el estudio de los suelos se distinguen dos tipos de densidad. La densidad real o de partícula (d_p) que corresponde a la densidad de la fase sólida del suelo, y la densidad aparente (d_{ap}) que incluye el volumen de partículas y el volumen vacío de los poros (Pérez, 2007).

Porosidad total (pt).

Este valor puede calcularse a partir de conocer los dos anteriores por medio de la siguiente expresión (Pérez, 2007).

$$pt = 1 - d_{ap}/d_p$$

Porosidad de aireación (pa).

Cuando un suelo se encuentra con un contenido de humedad del orden de la capacidad de campo, es la porosidad que no retiene agua y por lo tanto da una idea de la proporción de poros de mayor tamaño. A veces se la denomina porosidad efectiva. Se puede estimar fácilmente restando a la porosidad total la humedad de capacidad de campo expresada como humedad volumétrica (h_v) (Pérez, 2007).

$$pa = pt - h_v$$

Conductividad hidráulica e infiltración.

Cuando una fuente de agua se pone en contacto con la superficie del suelo, las etapas iniciales del movimiento del agua hacia el interior del perfil son dominadas por las propiedades capilares del suelo. En estado estacionario, el flujo de agua es gobernado por un factor hidráulico, un factor gravitacional y un factor de capilaridad. En un suelo no saturado el movimiento del agua está determinado por la conductividad hidráulica y la sortividad (Santa Olalla y De Juan, 2013)-

La conductividad hidráulica (k)

Es una medida de la habilidad de un suelo para conducir agua bajo un gradiente de potencial hidráulico. Describe la conductividad hidráulica de un medio poroso (longitud/tiempo) (Santa Olalla y De Juan, 2013).

La sortividad (s).

Es una medida de la habilidad que tiene un suelo de absorber agua durante el proceso de humedecimiento. En general cuanto mayor es el valor de s, mayor será el volumen de agua que puede ser absorbida y en forma más rápida (Pérez, 2007)

La infiltración (i).

Se refiere a la entrada del agua al perfil del suelo a través de la superficie del mismo. Este proceso es controlado por muchos factores, uno de los cuales es la estructura de la superficie. La ecuación que relaciona la infiltración acumulada en un tiempo transcurrido (Philip, 1957).

Humedad edáfica.

Es una forma de indicar la cantidad de agua presente en el perfil del suelo a una determinada profundidad, estrato u horizonte y en un momento determinado (Rébori, 2011)

Humedad gravimétrica (g/g).

Es la relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de la fracción sólida (Rébori M. 2011)

Humedad Volumétrica (cm^3/cm^3).

Es la relación entre el volumen de la fracción líquida y el volumen de la muestra seca. Para convertir la humedad gravimétrica a la forma volumétrica hay que afectarla por la densidad aparente del suelo (San Martín y Acevedo, 2011)

Método gravimétrico.

Es el más exacto de todos y de hecho se usa para calibrar a los demás. Presenta como principales desventajas el requerimiento de mucho tiempo, su elevado costo y la destrucción de la muestra (San Martín y Acevedo, 2011)

Reflectometría (TDR).

Se basa en la relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y su constante dieléctrica (San Martín y Acevedo, 2011).

Sicrómetro de Termocupla.

Este dispositivo se basa en el hecho de que, cuando existe equilibrio higroscópico entre el suelo y el aire de una cápsula, se igualan los potenciales de agua del suelo y del vapor de agua contenido en aquella (Rébori, 2011)

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Bolsas plásticas

Balanza

Palas

Wincha

Contenedor

2.2. Métodos

- El experimento fue conducido bajo un diseño experimental en diseño en bloque completos al azar, siendo los tratamientos

T1: Porcentaje de humedad al interior de las plantaciones de *Eucalyptus torreliano*
(sector A)

T2: Porcentaje de humedad al exterior de las plantaciones de *Eucalyptus torreliano*
(sector A)

T3: Porcentaje de humedad al interior de las plantaciones de *Eucalyptus salignas*
(sector B)

T4: Porcentaje de humedad al exterior de las plantaciones de *Eucalyptus salignas*
(sector B)

Y los bloques se determinaron por la profundidad del suelo para tomar la muestra:

Bloque I: a 0.0 m de profundidad

Bloque II: a 0.5 m de profundidad

Bloque III: a 1.0 m de profundidad

Bloque IV: a 1.5 m de profundidad

Bloque V: a 2.0 m de profundidad

- Con el propósito de evaluar el contenido de humedad del suelo donde se encuentran plantadas las especies de *Eucalyptus torreliano* y *Eucalyptus salignas*, se planificó la ejecución de sondeos en las dos tipos de especies, ambos presentan terrenos con perfiles típicos de la región, aunque no exactamente iguales entre sí, para tal efecto designamos a cada terreno o sitio A y B.
- El sitio A estaba ubicado a 5 km del centro poblado de Cesar Vallejo, distrito de Pardo Miguel Naranjos, provincia de Rioja, es especialmente apto para estudiar las variaciones del contenido de humedad del suelo en el interior y en la frontera de la plantación, pero en el exterior de la misma el análisis se puede efectuar hasta una distancia de 10 m porque la existencia de un camino cercano podría introducir variables no controladas si el estudio se extendiese a mayor distancia.
- El sitio B estaba ubicado a 5.5 km del centro poblado de Cesar Vallejo, distrito de Pardo Miguel Naranjos, provincia de Rioja, se encuentra a una distancia de 4,5 km del anterior en dirección noreste. La selección de este segundo sitio se llevó a cabo porque el mismo ofrece la posibilidad de estudiar el impacto de esta especie sobre el contenido de humedad del suelo hasta una distancia de 30 m hacia el exterior de la frontera, la cual se considera suficiente a los fines de esta investigación. Esta circunstancia es posible porque este sitio no presenta, en las cercanías del borde de la plantación, factores que puedan introducir variables no controlables con influencia sobre los resultados, tales como depresiones, otras forestaciones, caminos, canalizaciones, etc.
- La población estaba comprendida por dos (02) áreas de (05) hectáreas cada una con plantaciones de *Eucalyptus torreliano* y *Eucalyptus salignas*.
- La muestra estaba conformada por 20 gr de material (tierra) para cada nivel de profundidad de la calicata. Estos niveles estaban ubicados a 0.0 m, a 0.5 m, a 1.0, a 1.5 y a 2.0 m de profundidad haciendo un total de 5 muestras por calicata durante 12 meses. Las muestras fueron transportados al laboratorio para su respectivo análisis.
- Para realizar la adecuada operación de recolección de datos de campo y tratamiento

de resultados se procedió a través del método gravimétrico, no obstante, la disponibilidad de equipamiento adecuado y la mayor confiabilidad y precisión de este método en comparación con otros alternativos, que necesitan siempre ser calibrados y ajustados.

- Se determinó la masa húmeda (mh) de una pequeña cantidad de suelo proveniente de cada muestra. Se utilizó una balanza AND FX 3000 con una capacidad máxima de 3,100 g y una precisión de 0,01 g.

Los datos que se obtuvieron, fue mediante la siguiente fórmula, se obtuvo contenido de humedad de la muestra como porcentaje de masa de agua sobre masa de suelo seco.

$$hg (\%) = \frac{(mh - ma)}{(ma)} \times 100$$

Dónde:

hg : Porcentaje de humedad del suelo

mh : Masa húmeda

ma : Masa seca

Para determinar la humedad expresada como Lámina (hl) se procedió de la siguiente forma:

$$hl(mm) = hg \times dap \times p$$

Dónde:

dap : Densidad aparente del suelo (g/cm³)

p : Profundidad considerada (mm)

Para procesar los datos de campo y laboratorio; se recolectó cuatro (04) muestras de suelo aproximadamente 50 g cada una en las veinte (20) calicatas. De cada una de las parcelas, se añadió cerca de 2 g de muestra a dos platos de pesar de aluminio (réplicas). Para la veracidad del resultado de las muestras se seguirá los siguientes pasos:

- Se determinó y se registró la masa de un contenedor limpio y seco.

- Se seleccionó especímenes de ensayo representativos de acuerdo lo indicado en anteriormente.
- Se colocó la muestra en el ensayo húmedo en el contenedor.
- Se determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso de la muestra. Registrar este valor.
- Se colocó el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para obtener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de la muestra, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.
- Luego que el material se haya secado a peso constante, se removi6 el contenedor del horno. Se permiti6 el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado c6modamente con las manos y la operaci6n del balance no se afecte por corrientes de convecci6n y/o est6 siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al homo usando la misma balanza usada. Registrar este valor.
- Luego se calcul6 el contenido de % de humedad relativa para cada muestra de suelo.
- Luego de finalizadas las tareas de campo y de laboratorio, los datos obtenidos fueron ordenados y procesados utilizando una computadora y un software adecuados para darles tratamiento estadístico mediante tablas, figuras, análisis de varianza y la prueba de Duncan.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Porcentaje de humedad del suelo al interior y al exterior de la parcela donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus torreliano*

Tabla 3

Contenido de humedad del suelo (%) a 0.0 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	9.10	8.48
Julio	7.88	10.36
Agosto	8.76	11.36
Setiembre	6.86	8.40
Octubre	7.92	9.00
Noviembre	8.48	8.12
Diciembre	15.96	11.06
Enero	9.32	16.36
Febrero	9.12	11.84
Marzo	11.00	16.332
Abril	10.68	13.62
Mayo	9.60	11.70
Promedio	9.56	11.39

Fuente: elaboración propia

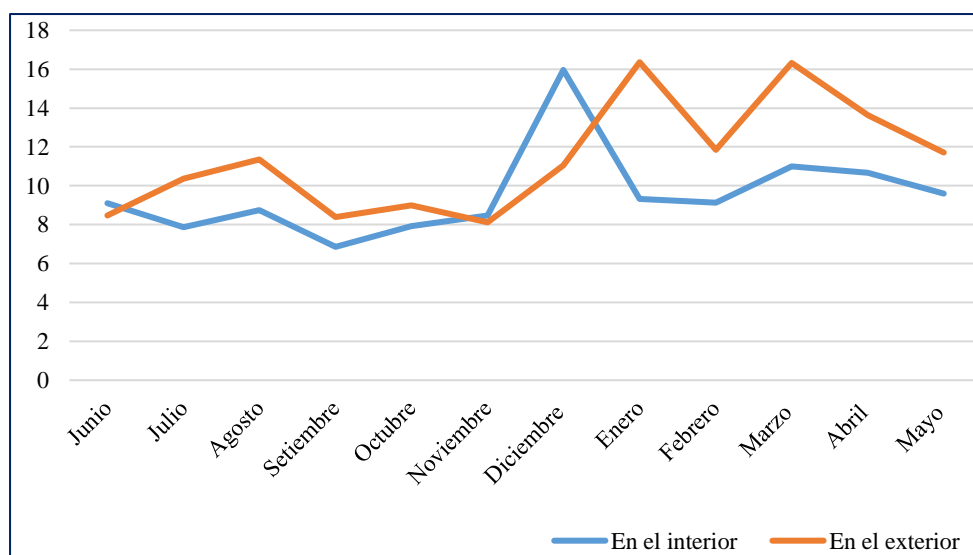


Figura 3: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.0 m de profundidad

En la tabla 3 y figura 3 se observa que el contenido promedio de humedad a 0.0 m de profundidad es 9.56% al interior y 11.39% al exterior de la zona A

Tabla 4

Contenido de humedad del suelo (%) a 0.5 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	9.46	9.44
Julio	7.18	12.68
Agosto	7.94	13.00
Setiembre	7.12	10.64
Octubre	7.32	9.58
Noviembre	9.42	12.26
Diciembre	10.54	11.82
Enero	8.44	11.78
Febrero	7.94	13.66
Marzo	11.06	15.82
Abril	8.34	15.698
Mayo	8.40	13.92
Promedio	8.60	12.52

Fuente: elaboración propia

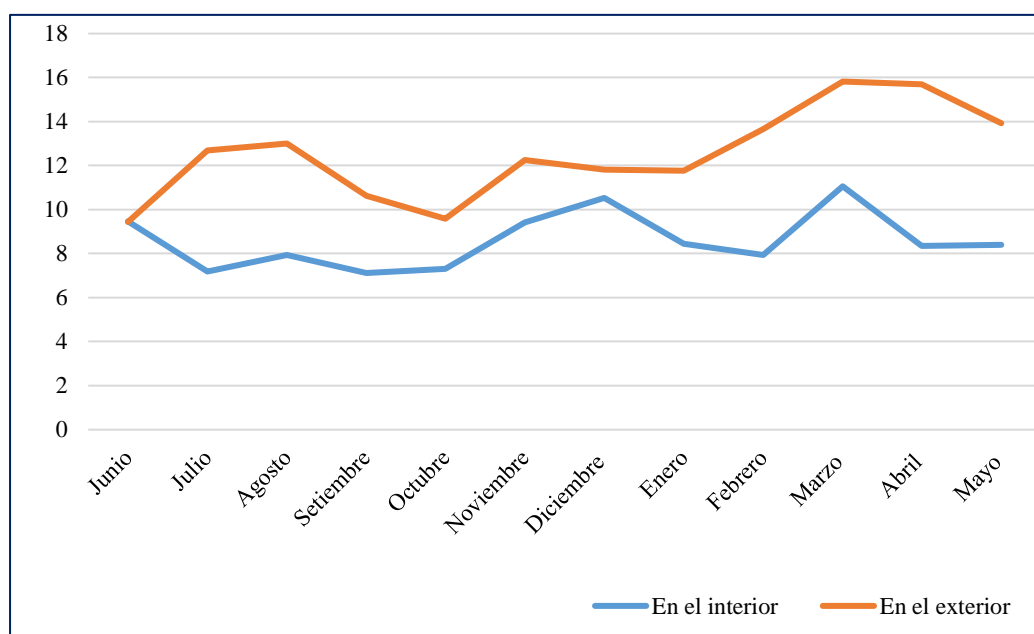


Figura 4: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.5 m de profundidad

En la tabla 4 y figura 4, se observa que el contenido promedio de humedad a 0.5 m de profundidad es 8.60% al interior y 12.52% al exterior de la zona A

Tabla 5

Contenido de humedad del suelo (%) a 1.0 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	9.50	10.96
Julio	5.54	8.68
Agosto	8.12	11.52
Setiembre	5.04	8.12
Octubre	4.56	8.88
Noviembre	7.22	9.70
Diciembre	8.70	12.44
Enero	7.88	10.30
Febrero	10.12	10.38
Marzo	11.70	12.76
Abril	7.02	11.26
Mayo	7.42	6.12
Promedio	7.74	10.09

Fuente: elaboración propia

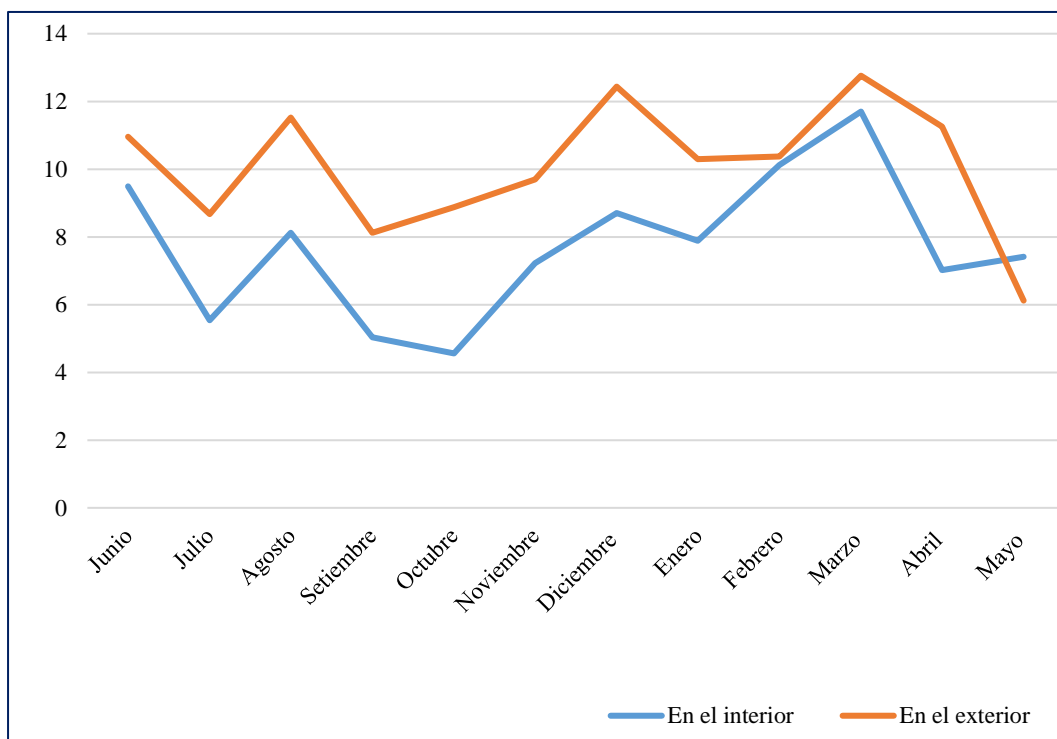


Figura 5: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.0 m de profundidad

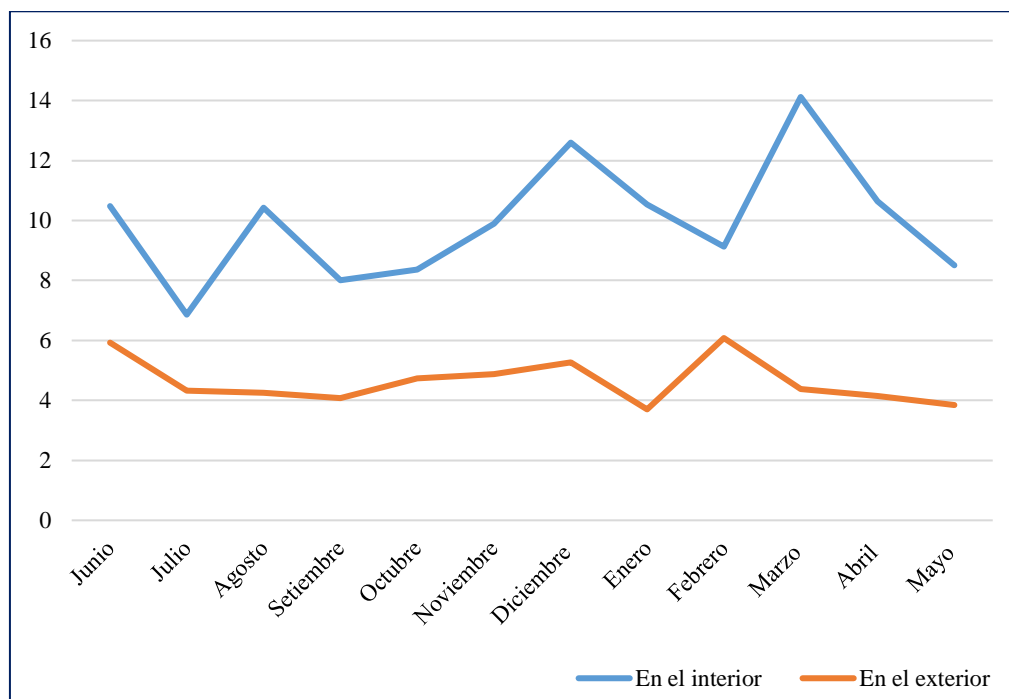
En la tabla 5 y figura 5, se observa que el contenido promedio de humedad a 1.0 m de profundidad es 7.74% al interior y 10.09% al exterior de la zona A

Tabla 6.

Contenido de humedad del suelo (%) a 1.5 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	10.48	5.92
Julio	6.86	4.32
Agosto	10.42	4.26
Setiembre	8.00	4.08
Octubre	8.36	4.74
Noviembre	9.90	4.88
Diciembre	12.60	5.26
Enero	10.54	3.70
Febrero	9.12	6.08
Marzo	14.12	4.38
Abril	10.64	4.14
Mayo	8.50	3.84
Promedio	9.96	4.63

Fuente: elaboración propia

Tabla 6: *Contenido de humedad del suelo (%) a 1.5 m de profundidad*

En la tabla 6 y figura 6, se observa que el contenido promedio de humedad a 1.5 m de profundidad es 9.96% al interior y 4.63% al exterior de la zona A

Tabla 7

Contenido de humedad del suelo (%) a 2.0 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	12.22	5.46
Julio	10.58	4.16
Agosto	12.06	4.68
Setiembre	8.70	3.88
Octubre	8.32	4.42
Noviembre	9.92	4.74
Diciembre	11.16	5.34
Enero	9.26	3.16
Febrero	11.20	5.54
Marzo	14.20	4.18
Abril	8.76	4.22
Mayo	9.14	3.98
Promedio	10.46	4.48

Fuente: elaboración propia

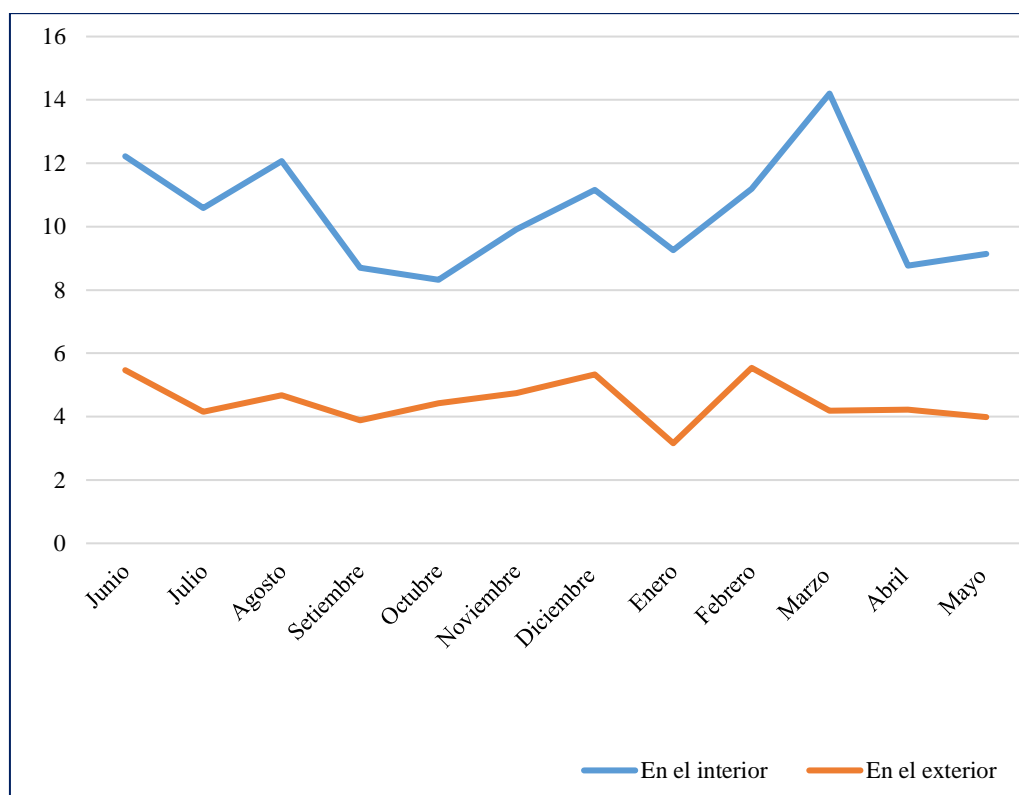


Figura 7: Contenido de humedad del suelo (%) a 2.0 m de profundidad

En la tabla 7 y figura 7, se observa que el contenido promedio de humedad a 2.0 m de profundidad es 10.46% al interior y 4.48% al exterior de la zona A

3.1.2. Porcentaje de humedad del suelo al interior y al exterior donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus salignas*.

Tabla 8

Contenido de humedad del suelo (%) a 0.0 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	10.64	5.94
Julio	8.08	3.72
Agosto	8.12	5.34
Setiembre	7.28	3.48
Octubre	7.00	8.84
Noviembre	8.10	7.32
Diciembre	11.62	7.66
Enero	7.92	5.56
Febrero	7.90	7.40
Marzo	8.96	7.20
Abril	8.16	5.22
Mayo	11.36	5.30
Promedio	8.76	6.08

Fuente: elaboración propia

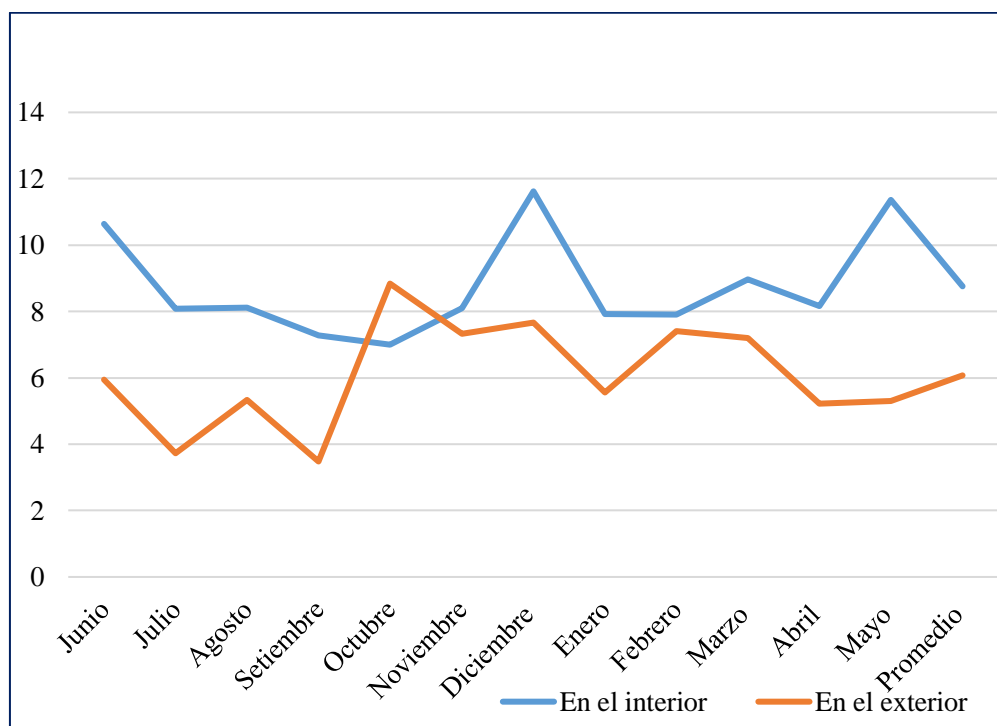


Figura 8: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.0 m de profundidad

En la tabla 8 y figura 8, se observa que el contenido promedio de humedad a 0.0 m de profundidad es 8.76% al interior y 6.08% al exterior de la zona B

Tabla 9

Contenido de humedad del suelo (%) a 0.5 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	8.98	6.16
Julio	7.68	4.24
Agosto	9.16	3.72
Setiembre	5.68	3.80
Octubre	6.74	4.12
Noviembre	6.94	6.50
Diciembre	11.78	8.12
Enero	7.26	5.34
Febrero	8.52	6.52
Marzo	10.68	7.18
Abril	9.68	6.42
Mayo	7.70	4.70
Promedio	8.40	5.57

Fuente: elaboración propia

En la tabla 9 se observa que el contenido promedio de humedad a 0.5 m de profundidad es 8.40% al interior y 5.57% al exterior de la zona B

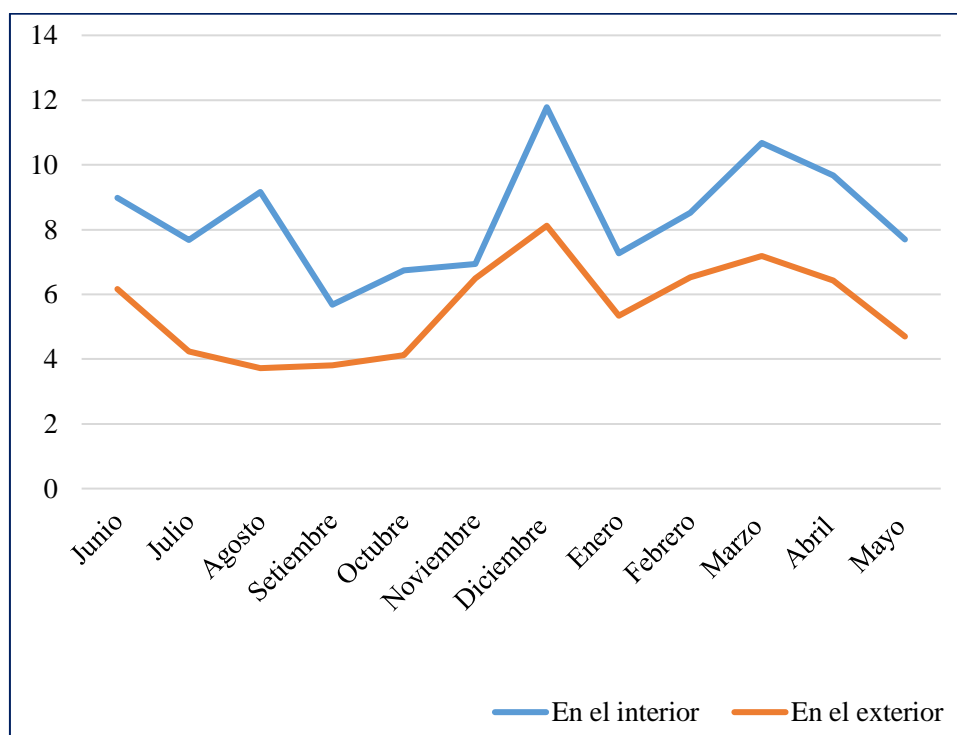


Figura 9: Contenido de humedad del suelo (%) a 0.5 m de profundidad

Tabla 10.

Contenido de humedad del suelo (%) a 1.0 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	7.56	6.86
Julio	9.22	3.88
Agosto	7.64	6.14
Setiembre	6.86	5.86
Octubre	5.90	6.26
Noviembre	7.16	5.64
Diciembre	8.92	5.60
Enero	7.22	6.64
Febrero	9.78	5.84
Marzo	11.02	6.46
Abril	6.40	7.74
Mayo	8.68	4.32
Promedio	8.03	5.94

Fuente: elaboración propia

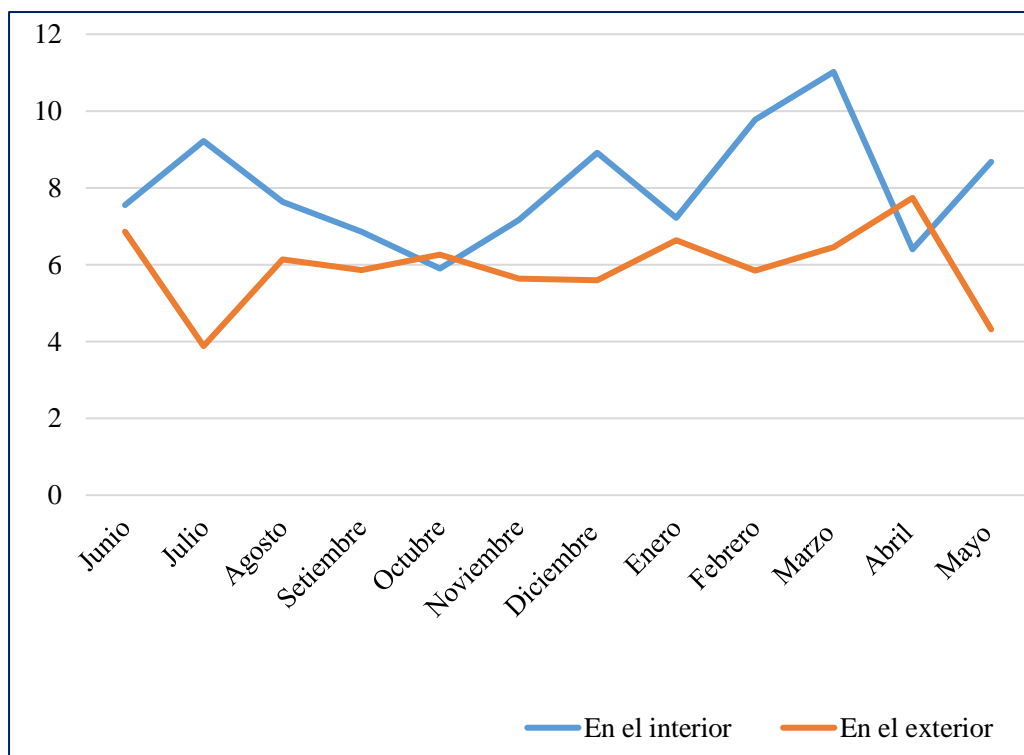


Figura 10: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.0 m de profundidad

En la tabla 10 y figura 10, se observa que el contenido promedio de humedad a 1.0 m de profundidad es 8.03% al interior y 5.94% al exterior de la zona B

Tabla 11

Contenido de humedad del suelo (%) a 1.5 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	9.16	6.10
Julio	8.88	3.76
Agosto	7.64	5.12
Setiembre	5.12	5.00
Octubre	5.68	5.00
Noviembre	8.78	5.78
Diciembre	10.12	7.02
Enero	9.12	3.62
Febrero	9.42	6.38
Marzo	11.52	4.04
Abril	4.98	3.78
Mayo	8.70	4.18
Promedio	8.26	4.98

Fuente: elaboración propia

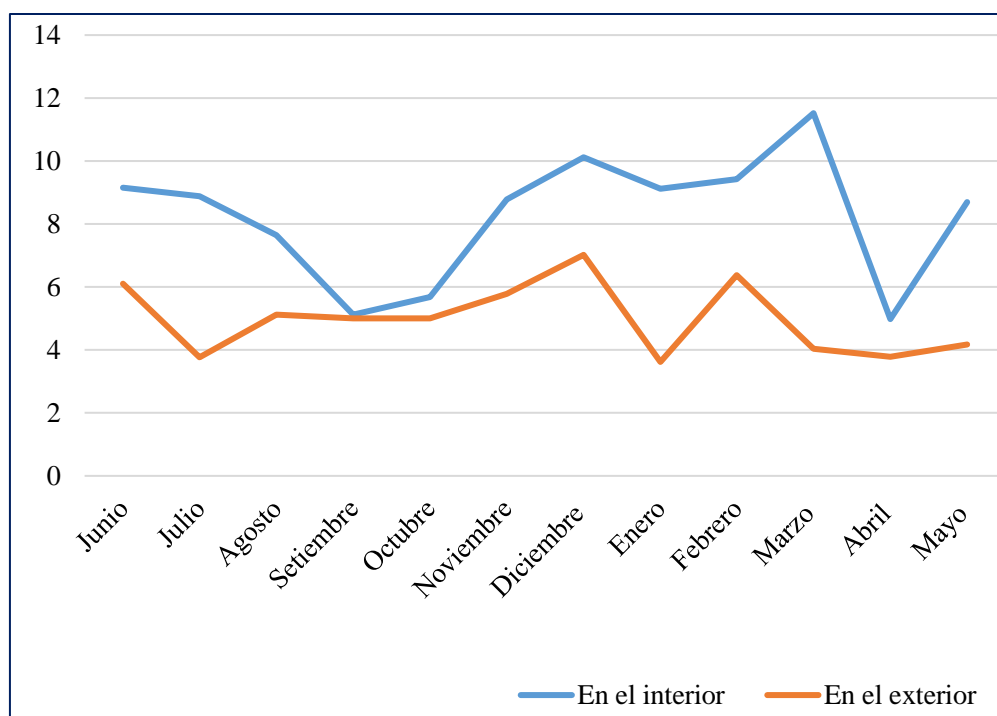


Figura 11: Contenido de humedad del suelo (%) a 1.5 m de profundidad

En la tabla 11 se observa que el contenido promedio de humedad a 1.5 m de profundidad es 8.26% al interior y 4.98% al exterior de la zona B

Tabla 12

Contenido de humedad del suelo (%) a 2.0 m de profundidad

Meses	En el interior	En el exterior
Junio	8.58	6.62
Julio	7.68	3.93
Agosto	8.28	4.30
Setiembre	5.70	3.94
Octubre	6.82	4.90
Noviembre	8.60	5.38
Diciembre	10.02	5.06
Enero	7.66	3.74
Febrero	9.18	6.98
Marzo	7.78	3.78
Abril	8.74	3.82
Mayo	9.16	3.40
Promedio	8.18	4.65

Fuente: elaboración propia

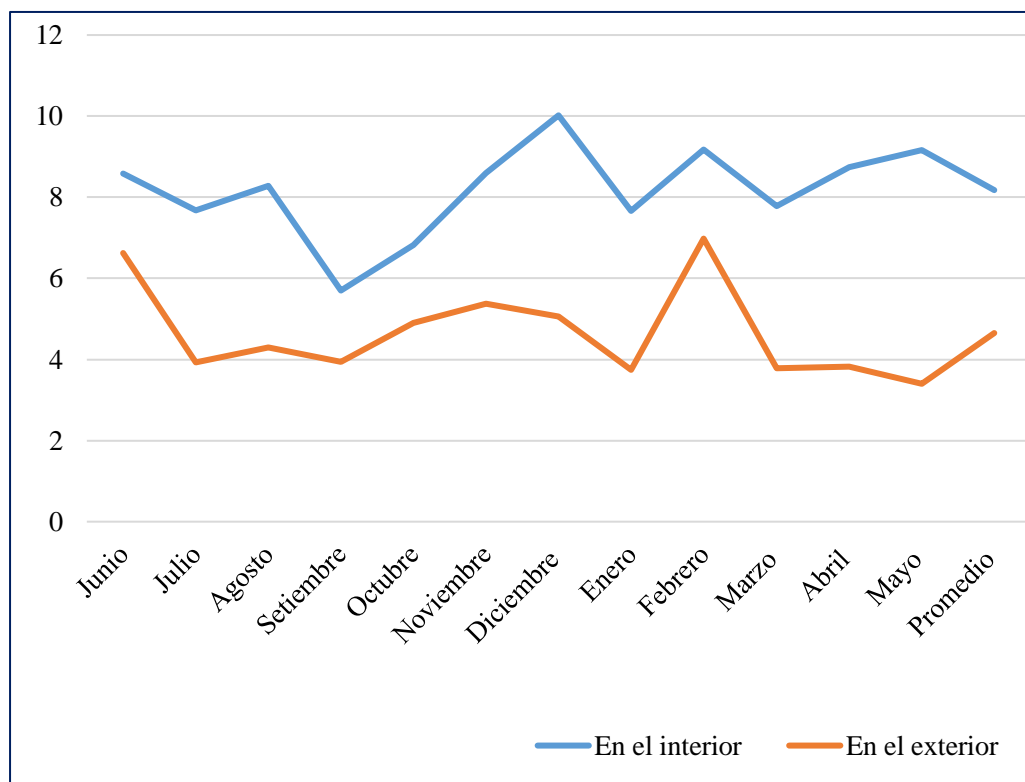


Figura 12: Contenido de humedad del suelo (%) a 2.0 m de profundidad

En la tabla 12 y figura 12 se observa que el contenido promedio de humedad a 2.0 m de profundidad es 8.18% al interior y 4.65% al exterior de la zona B

3.1.3. Variedad óptima en la retención de humedad del suelo tanto al interior como al exterior de las plantaciones de eucalipto.

a. Respecto al *Eucalyptus torreliano* sector A

Tabla 13

Resumen del porcentaje de humedad del suelo donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus torreliano*

	Tratamientos	
	Al interior	Al exterior
Profundidad	0.0	11.39
	0.5	12.52
	1.0	10.09
	1.5	4.63
	2.0	4.48
Promedio	9.26	8.62

Fuente: elaboración propia

En la tabla 13 observamos que al interior del sector A el porcentaje de humedad era del 9.26%, mientras que al exterior 8.62%

Tabla 14

Análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre el porcentaje de humedad acumulado tanto al interior como al exterior de las plantaciones de *Eucalyptus torreliano*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	F crítico
Profundidad	19.70	4	4.92	0.46	6.39
Humedad	1.03	1	1.03	0.10	7.71
Error	43.17	4	10.79		
Total	63.90	9			

Según el análisis de varianza realizado en Ms Excel y mostrado en la tabla 14, dado que $F_c (6.39) > F (0.46)$, podemos concluir que no existe diferencia significativa entre los niveles de profundidad en cuanto al porcentaje de humedad acumulada.

Asimismo, como $F_c (7.71) > F (0.10)$ tampoco se evidencia diferencia significativa entre el porcentaje de humedad acumulada al interior y al exterior del sector A

En cuanto al **coeficiente de variación**, este se calcula dividiendo la raíz del cuadrado medio del error entre el promedio y este resultado se multiplica por 100. Realizado este cálculo se obtuvo un coeficiente de 36.74% lo cual indica que el porcentaje de humedad se distribuye de manera heterogénea tanto al interior como al exterior del sector A

b. Respecto al *Eucalyptus salignas* sector B

Tabla 15

Resumen del porcentaje de humedad del suelo donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus salignas*.

		Tratamientos	
		Al interior	Al exterior
Profundidad	0.0	8.76	6.08
	0.5	8.40	5.57
	1.0	8.03	5.94
	1.5	8.26	4.98
	2.0	8.18	4.65
Promedio		8.33	5.54

Fuente: elaboración propia

En la tabla 15 observamos que al interior del sector B el porcentaje de humedad era del 8.33%, mientras que al exterior 5.54%.

Tabla 16

Análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre el porcentaje de humedad acumulado tanto al interior como al exterior de las plantaciones de *Eucalyptus salignas*.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	F crítico
Profundidad	1.19	4	0.30	1.91	6.39
Humedad	20.76	1	20.76	132.99	7.71
Error	0.62	4	0.16		
Total	22.58	9			

Según el análisis de varianza realizado en Ms Excel y mostrado en la tabla 16, dado que $F_c (6.39) > F (1.91)$, podemos concluir que no existe diferencia significativa entre los niveles de profundidad en cuanto al porcentaje de humedad acumulada. Sin embargo, como $F_c (7.71) < F (132.99)$ se evidencia diferencia significativa entre el porcentaje de humedad acumulada al interior y al exterior del sector B

En cuanto al **coeficiente de variación**, este se calcula dividiendo la raíz del cuadrado medio del error entre el promedio y este resultado se multiplica por 100. Realizado este cálculo se obtuvo un coeficiente de 5.81% lo cual indica que el porcentaje de humedad se distribuye de manera homogénea tanto al interior como al exterior del sector B

c. Tratamiento óptimo

Tabla 17

Análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre el porcentaje de humedad acumulado tanto al interior como al exterior de las plantaciones de eucalipto

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	F crítico
Profundidad	14.66	4	3.67	0.88	3.26
Humedad	42.97	3	14.32	3.44	3.49
Error	50.03	12	4.17		
Total	107.66	19			

Prueba de Duncan para determinar el tratamiento óptimo respecto al porcentaje de acumulación de humedad.

	T4:5.54	T3:8.33	T2: 8.62	T1:9.26
T4:5.54	--	2.79	3.08	3.72*
T3:8.33	--	--	0.29	0.93
T2: 8.62	--	--	--	0.64
T1:9.26	--	--	--	--
ALS		3.59	3.66	3.67

Para obtener las amplitudes del límite de significación (ALS) procedió de la siguiente manera:

Siendo $ALS = \sqrt{CME/r}$ (valor de Duncan) (ver anexo 4)

Es decir $ALS = \sqrt{4.17/5}(3.93) = 3.59$

Es decir $ALS = \sqrt{4.17/5}(4.01) = 3.66$

Es decir $ALS = \sqrt{4.17/5}(4.02) = 3.67$

Según lo mostrado al realizar la prueba de Duncan con un nivel de confianza del 95%, concluimos que el tratamiento 1 ($3.72 > 3.67$)* es óptimo; es decir, el mayor porcentaje de humedad se acumula al interior de las plantaciones de *Eucalyptus torreliano* (sector A)

3.2. Discusiones

a. Porcentaje de humedad del suelo al interior y al exterior de la parcela donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus torreliano*

La profundidad de terreno involucrada en el problema y la distancia a la forestación en que puede originarse una competencia por el agua constituyen, además del suelo y las lluvias, otras variables de interés, y por lo tanto los resultados obtenidos de esta investigación teniendo en cuenta las tres variables independientes antes mencionadas pueden constituir un aporte para favorecer una discusión basada en información objetiva. Se observa que el contenido promedio de humedad al interior de las plantaciones de *Eucalyptus torreliano*, a 0.0 m de profundidad es 9.56%, a 0.5 m de profundidad es 8.60%, a 1.0 m de profundidad es 7.74%, a 1.5 m de profundidad es 9.96% y a 2.0 m de profundidad es 10.46%. Mientras que al exterior, a 0.0 m de profundidad la humedad es 11.39%, a 0.5 m 12.52%, a 1.0 m 10.09%, a 1.5 m 4.63 % y a 2.0 m 4.48 % de humedad.

b. Porcentaje de humedad del suelo al interior y al exterior donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus salignas*.

Se observa que el contenido promedio de humedad al interior de las plantaciones de *Eucalyptus salignas*, a 0.0 m de profundidad es 8.76%, a 0.5 m 8.40%, a 1.0 m 8.03 %, a 1.5 m 8.26%, a 2.0 m 8.18%. Mientras que al exterior de las plantaciones, a 0.0 m la humedad es 6.08%, a 0.5 m 5.57%, a 1.0 m 5.94%, a 1.5 m 4.98% y a 2.0 m 4.65%. En este sentido, coincidiendo con Torrán (2007) teniendo como referencia la distancia a la frontera de la plantación, el contenido de humedad promedio no exhibió un crecimiento al interior de las plantaciones, mientras que al exterior se mostraba una tendencia clara hacia la disminución de acuerdo a la profundidad.

c. Variedad óptima en la retención de humedad del suelo tanto al interior como al exterior de las plantaciones de “eucalipto”.

Respecto al *Eucalyptus torreliano* (sector A), observamos que al interior de las plantaciones de eucalipto el porcentaje promedio de humedad era del 9.26%, mientras que al exterior 8.62%. Según el análisis de varianza podemos concluir que no existe diferencia significativa entre los niveles de profundidad en cuanto al porcentaje de humedad acumulada. Asimismo, tampoco se evidencia de una diferencia significativa entre el porcentaje de humedad acumulada al interior y al exterior del sector A

En cuanto al coeficiente de variación se obtuvo 36.74% lo cual indica que el porcentaje de humedad se distribuye de manera heterogénea tanto al interior como al exterior del sector A

Respecto al *Eucalyptus salignas* (sector B), el porcentaje promedio de humedad al interior era del 8.33%, mientras que al exterior 5.54%. Según el análisis de varianza podemos concluir que no existe diferencia significativa entre los niveles de profundidad en cuanto al porcentaje de humedad acumulada. Sin embargo, se evidencia diferencia significativa entre el porcentaje de humedad acumulada al interior y al exterior del sector B

En cuanto al coeficiente de variación, se obtuvo un coeficiente de 5.81% lo cual indica que el porcentaje de humedad se distribuye de manera homogénea tanto al interior como al exterior del sector B

En cuanto al tratamiento óptimo, las especies del género *Eucalyptus* tal como lo refiere Martínez (2015) se caracterizan por ser de rápido crecimiento y turnos relativamente cortos que, dependiendo de la especie y el objetivo de la plantación y la calidad del sitio seleccionado, puede variar entre 6 – 15 años, en este sentido se convierte en una especie ideal para reforestación, captura de carbono, captura de humedad entre otras propiedades. En lo referente a la investigación realizada según lo mostrado al realizar la prueba de Duncan con un nivel de confianza del 95%, concluimos que el mayor porcentaje de humedad se acumula al interior de las plantaciones de *Eucalyptus torreliano* (sector A)

CONCLUSIONES

- a. El porcentaje de humedad del suelo al interior de las plantaciones de *Eucalyptus torreliano* en promedio es de 9.26%, mostrando una variación no significativa, es decir una tendencia homogénea según la profundidad a la que fue obtenida la muestra. Sin embargo, al exterior de la parcela donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus torreliano* se muestra una disminución significativa y progresiva de la humedad, evidenciándose que a 0.0 m de profundidad la humedad es 11.39%, bajando hasta 4.48 % de humedad a los 2 m de profundidad.

- b. En cuanto al *Eucalyptus salignas*, el porcentaje de humedad del suelo al interior de las plantaciones en promedio fue de 8.33%, no evidenciándose cambios significativos en este porcentaje debido a la profundidad a la que fue obtenida la muestra. Al exterior de la parcela donde se ubican las plantaciones de *Eucalyptus salignas* se muestra una disminución significativa en cuanto al porcentaje de humedad, siendo en promedio 5.54%. Este porcentaje no se ve afectado por la profundidad a la que se obtuvo la muestra.

- c. Finalmente al realizar la prueba de Duncan con un nivel de confianza del 95%, concluimos que el tratamiento 1 es óptimo; es decir, el mayor porcentaje de humedad acumulado durante los meses de verano del año 2016 es al interior de las plantaciones de *Eucalyptus torreliano* (sector A).

RECOMENDACIONES

A las autoridades de la Facultad de Ecología promover la investigación entre los estudiantes desde los primeros ciclos, especialmente la investigación de campo en convenios con instituciones públicas y privadas.

A los estudiantes y egresados de la Facultad de Ecología realizar trabajos similares con otros diseños experimentales en el área, realizando evaluaciones mensuales tanto en épocas secas como lluviosas.

A las autoridades de entidades gubernamentales, promover políticas que conlleven a realizar proyectos de agroforestería con especies asociadas y a sus respectivos estudios y monitoreos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown y Hillis. (2010). *El Eucalyptus y el medio ambiente*. Australia: Pemberg.
- FAO (1990). *El dilema del eucalipto*. Roma.
- Gayoso e Iroume (2005). *Impacto del manejo de plantaciones sobre el ambiente físico* (tesis). Universidad Austral. Chile.
- Martínez (2015). Eucalipto (*Eucalyptus spp.*): condiciones para su cultivo, fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono. Fondo Nacional de Fomento Forestar. Costa Rica
- Pereira de Lima (2010). *Antropización, dinámicas de ocupación del territorio y desarrollo en la Amazonía brasileña*. Brasil: Amapá.
- Pérez (2007). *Plantaciones forestales e impactos sobre el ciclo del agua, un análisis a partir del desarrollo de las plantaciones forestales en Uruguay*. Uruguay: Hersilia Fonseca.
- Pérez (2007). *Plantaciones forestales en la pradera uruguayas*. Grupo Guayubira, Maldonado. Uruguay: Maldonado.
- Perrier (2014). *Updated evapotranspiration and crop water requirement definitions*. In: *Les besoins en eau des cultures/Crop Water Requirements*, Conference Internationale. Canadá: Internationale.
- Philip (2007). *The theory of infiltration*. Soil Science. Montreal: United.
- Radersma (2008). *Spatial distribution of root length density and soil water of linear agroforestry system in sub-humid Kenya: implications for agroforestry models, Forest ecology and management*. USA: United.
- Rébori (2011). *Requerimientos de agua del Eucalyptus dunnii en su implantación y monte adulto. Medición y contribución al balance hídrico regional*. Investigación Forestal al Servicio de la Producción II, Ministerio de Economía y Producción Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos Dirección de Forestación. Argentina: Córdoba.

- Ritchie (2010). *A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover*, Water Resources Research. Canadá: Iberoamericana.
- Salisbury y Ross (2004). *Fisiología Vegetal*. Colombia: Iberoamérica.
- San Martín y Acevedo (2011). *Temperatura de canopia, CWSI y rendimiento en genotipos de trigo*. Laboratorio de relación suelo – agua - planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Bolivia: Cultura.
- Sánchez (2008). *Situación foresto industrial de Argentina al 2008*. III Simposio Iberoamericano de Gestión y Economía Forestal Ubatuba San Pablo Brasil. Argentina: Hemisferio.
- Santa Olalla y De Juan (2013). *Agronomía del riego*. Perú: Mundi-Prensa.
- Secretaría de Estado de la Producción de Entre Ríos e INTA Concordia. (2007). *Relevamiento de industrias forestales primarias de la costa del Río Uruguay de Entre Ríos*. Concordia, Entre Ríos. Río Uruguay, II, 78-101.
- Schmincke (1995). *Las Industrias Forestales, elemento decisivo para el desarrollo socioeconómico*. Unasyuva. FAO
- Sivori (2007). *Fisiología Vegetal*. Argentina: Hemisferio Sur.
- Soares y Almeida (2009). *Modeling the water balance and soil water fluxes in fast growing Eucalyptus plantation in Brazil*. Brasil: Journal of hydrology.
- Taiz (2008). *Plant physiology*. Sinauer associate. USA: Inc. Publishers.
- Torran (2007). *Impacto de las plantaciones de Eucalyptus grandis sobre el contenido de humedad del suelo*. Análisis de un caso en el Noreste de la Provincia de Entre Ríos. (tesis de grado). Universidad Regional de Concepción. Uruguay.
- Vihavainen (2009). *Environmental aspects of timber*. In Timber Engineering STEP 1. Netherlands: Centrum Hout.
- Zhang y Davies (2010). *Changes in the concentration of ABA in xylem sap as a function of changing soil water status can account for changes in leaf conductance and growth*. Plant. USA: Cell and Enviroment.

Zhou, Morris, Yan, Yu, Peng (2012). *Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in southern China*. Forest ecology and Management. China: Yupeng.

UNC. (2012). *Determinación del contenido hídrico del suelo*. Disponible en:
http://vaca.agro.uncor.edu/~ceryol/documentos/ecofisiologia/GUIA_AGUA.pdf

USDA. (2009). *Soil Taxonomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Washington DC: Mythology.

ANEXOS

ANEXO 1

Panel fotográfico



Foto 1: Reconocimiento del interior de las plantaciones



Foto 2: Extracción de muestras de tierra

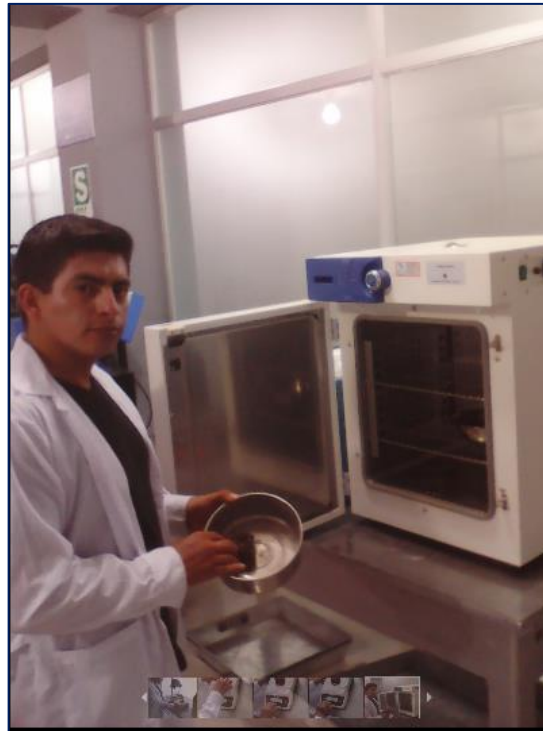


Foto 3: Secado de las muestras de tierra

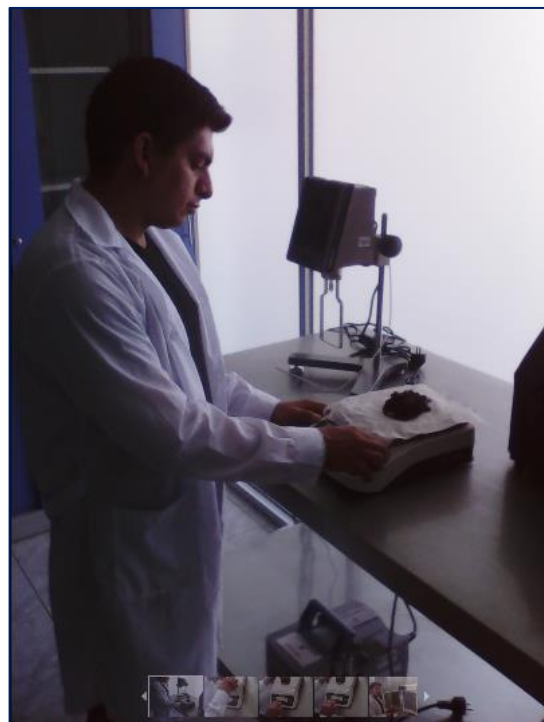
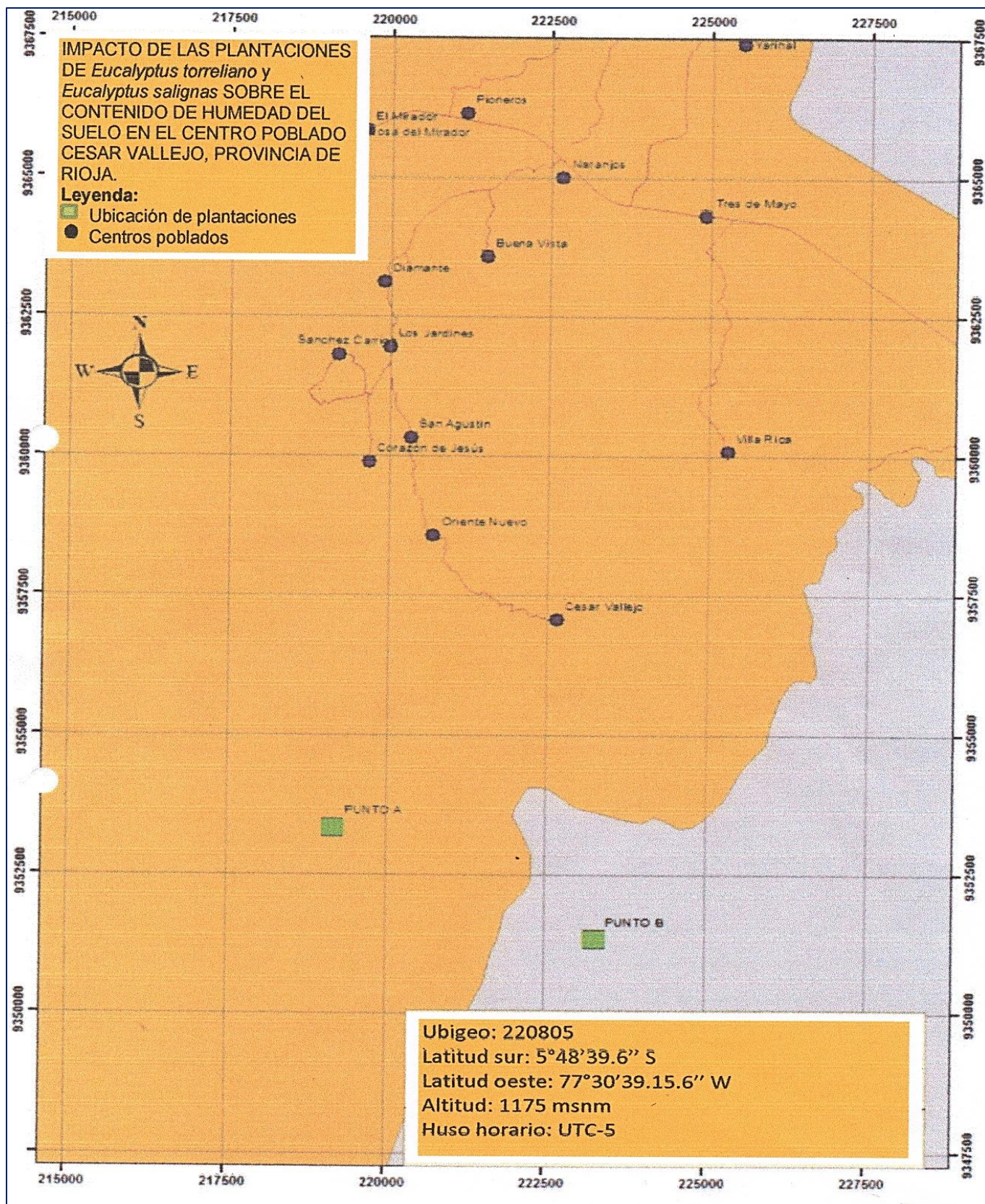


Foto 3: Pesado de la muestra

ANEXO 2











Mapa de ubicación













ANEXO 3

UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS EN LAS FORESTACIONES

SITIO A (plantaciones de *Eucalyptus torreliano*)

Interior	Exterior
 I  IV	 III  II
 II	 V
 III  V	 IV  I

SITIO B (plantaciones de *Eucalyptus salignas*)

Interior	Exterior
 III  I	 V  I
 II	 IV
 V  IV	 II  III

LEYENDA:

I: a 0 m de profundidad

II: a 0.5 m de profundidad

III: a 1.0 m de profundidad

IV: a 1.5 m de profundidad

V: a 2.0 m de profundidad

ANEXO 4

Valores críticos para la prueba de *Duncan*.

$$U_{\alpha}(v_1, v_2)$$

v_2	α	v_1													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
1	0.05	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
	0.01	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
2	0.05	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09
	0.01	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
3	0.05	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
	0.01	8.26	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	8.9	9.0	9.0	9.0	9.1	9.2	9.3	9.3
4	0.05	3.93	4.01	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02
	0.01	6.51	6.8	6.9	7.0	7.1	7.1	7.2	7.2	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.5
5	0.05	3.64	3.74	3.79	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
	0.01	5.70	5.96	6.11	6.18	6.26	6.33	6.40	6.44	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8
6	0.05	3.46	3.58	3.64	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68
	0.01	5.24	5.51	5.65	5.73	5.81	5.88	5.95	6.0	6.0	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3
7	0.05	3.35	3.47	3.54	3.58	3.60	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
	0.01	4.95	5.22	5.37	5.45	5.53	5.61	5.69	5.73	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0
8	0.05	3.26	3.39	3.47	3.52	3.55	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56
	0.01	4.74	5.0	5.14	5.23	5.32	5.40	5.47	5.51	5.5	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8
9	0.05	3.20	3.34	3.41	3.47	3.50	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52
	0.01	4.60	4.86	4.99	5.08	5.17	5.25	5.32	5.36	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7
10	0.05	3.15	3.30	3.37	3.43	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.48
	0.01	4.48	4.73	4.88	4.96	5.06	5.13	5.20	5.24	5.28	5.36	5.42	5.48	5.54	5.55
11	0.05	3.11	3.27	3.35	3.39	3.43	3.44	3.45	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48
	0.01	4.59	4.85	4.97	4.96	4.94	5.01	5.06	5.12	5.15	5.24	5.28	5.34	5.38	5.39
12	0.05	3.08	3.23	3.33	3.36	3.40	3.42	3.44	3.44	3.46	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48
	0.01	4.32	4.55	4.68	4.76	4.84	4.92	4.96	5.02	5.07	5.13	5.17	5.22	5.24	5.26
13	0.05	3.06	3.21	3.30	3.35	3.38	3.41	3.42	3.44	3.45	3.45	3.46	3.46	3.47	3.47
	0.01	4.26	4.48	4.62	4.69	4.74	4.84	4.88	4.94	4.98	5.04	5.08	5.13	5.14	5.15
14	0.05	3.03	3.18	3.27	3.33	3.37	3.39	3.41	3.42	3.44	3.45	3.46	3.46	3.47	3.47
	0.01	4.21	4.42	4.55	4.63	4.70	4.78	4.83	4.87	4.91	4.96	5.00	5.04	5.06	5.07
15	0.05	3.01	3.16	3.25	3.31	3.36	3.38	3.40	3.42	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47
	0.01	4.17	4.37	4.50	4.58	4.64	4.72	4.77	4.81	4.84	4.90	4.94	4.97	4.99	5.00
16	0.05	3.00	3.15	3.23	3.30	3.34	3.37	3.39	3.41	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47
	0.01	4.13	4.34	4.45	4.54	4.60	4.67	4.72	4.76	4.79	4.84	4.88	4.91	4.93	4.94