



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**Anteproyecto de trabajo de titulación presentado como requisito previo a
la obtención del título de Ingeniera Forestal**

**DETERMINACIÓN DE UN TRATAMIENTO PARA ENRAIZAMIENTO
DE CLONES DE *Eucalyptus globulus* Labill EN LA HACIENDA
PISANGACHO, DE LA PARROQUIA SAN BLAS, CANTON URCUQUÍ,
PROVINCIA DE IMBABURA.**

AUTOR

Imbaquingo Rosero Jessica Jasmin

DIRECTOR

Dr. Mario Añazco, Ph.D

IBARRA – ECUADOR

2021

DATOS GENERALES

CARRERA:	Ingeniería Forestal
ÁREA:	Genética
PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2017 – 2021:	Objetivo 3: garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales generaciones.
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA:	Desarrollo agropecuario y forestal sostenible
TÍTULO:	DETERMINACIÓN DE UN TRATAMIENTO PARA ENRAIZAMIENTO DE CLONES DE <i>Eucalyptus globulus</i> Labill EN LA HACIENDA PISANGACHO, DE LA PARROQUIA SAN BLAS, CANTON URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA.
INVESTIGADOR:	Imbaquingo Rosero Jessica Jasmin
DURACIÓN PROBABLE:	9 meses
NOMBRE DEL SECTOR:	San Miguel de Urucuquí
PARROQUIA:	San Blas
CANTÓN:	Urucuquí
PROVINCIA:	Imbabura
DIRECTOR SUGERIDO:	Dr. Mario Añezco, Ph.D.
ASESORES SUGERIDOS:	Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs Ing. Jorge Luis Ramírez López, MSc.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

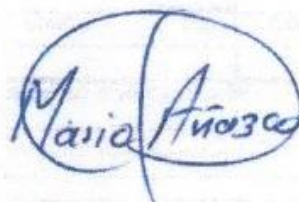
DETERMINACIÓN DE UN TRATAMIENTO PARA ENRAIZAMIENTO DE CLONES
DE *Eucalyptus globulus* Labill EN LA HACIENDA PISANGACHO, DE LA PARROQUIA
SAN BLAS, CANTON URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA.

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación
como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERA FORESTAL

APROBADO

Dr. Mario José Añazco, Ph.D.
Director de trabajo de titulación



Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.
Tribunal de trabajo de titulación



Ing. Jorge Luis Ramírez López, MSc.
Tribunal de trabajo de titulación



Ibarra – Ecuador

2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

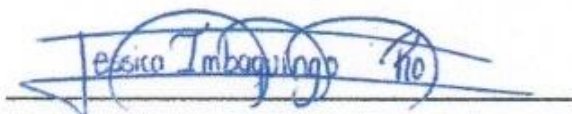
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172623364-4		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Imbaquingo Rosero Jessica Jasmin		
DIRECCIÓN:	Ibarra- El Olivo		
EMAIL:	jessica_tb_97@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2381-538	TELÉFONO	0979840072
		MÓVIL:	
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	DETERMINACIÓN DE UN TRATAMIENTO PARA ENRAIZAMIENTO DE CLONES DE <i>Eucalyptus globulus</i> Labill EN LA HACIENDA PISANGACHO, DE LA PARROQUIA SAN BLAS, CANTON URQUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA.		
AUTOR/A:	Imbaquingo Rosero Jessica Jasmin		
FECHA: (dd/mm/aaaa)	Jueves 22 de abril, 2021		
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN			
PROGRAMA:	PREGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Forestal		
DIRECTOR:	Dr. Mario José Añazco Romero, Ph.D.		

CONSTANCIA

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de abril de 2021

LA AUTORA



Imbaquingo Rosero Jessica Jasmin

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: XXXXX, FICAYA - UTN

Fecha: 26 de abril, 2021

Jessica Jasmin Imbaquingo Rosero: **DETERMINACIÓN DE UN TRATAMIENTO PARA ENRAIZAMIENTO DE CLONES DE *Eucalyptus globulus* Labill EN LA HACIENDA PISANGACHO, DE LA PARROQUIA SAN BLAS, CANTON URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA.** /Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 26 de abril 2021. 70 páginas.

DIRECTOR: Dr. Mario José Añezco Romero, Ph.D.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar el mejor tratamiento para enraizamiento y producción de clones de *Eucalyptus globulus* en vivero. Entre los objetivos específicos se encuentran: Determinar la dosis de la hormona ácido Indol butírico (IBA) de mayor eficiencia en enraizamiento de clones de *Eucalyptus globulus*. Evaluar la eficacia de las interacciones entre la IBA y tres mezclas de sustratos en la producción de clones de *Eucalyptus globulus*



Dr. Mario José Añezco Romero, Ph.D.
Director de trabajo de titulación



Jessica Jasmin Imbaquingo Rosero
Autora

DEDICATORIA

A Dios mi Padre celestial, quien me otorga la fortaleza y valentía para superar cada situación que se presenta en mi vida. A mis padres por brindarme su amor, confianza y apoyo incondicional en cada etapa, lo que hoy en día soy es gracias a ellos. A mis hermanos por ser mis compañeros de vida y guiarme con el ejemplo de honestidad, dedicación, humildad.

Por esto y más dedico mi trabajo de titulación a cada una de las personas mencionadas.

AGRADECIMIENTOS

A la gloriosa Universidad Técnica del Norte por ser mi segundo hogar durante toda mi etapa universitaria. A todos y cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería Forestal por los conocimientos impartidos, la dedicación y amor con la que realizan su trabajo, en especial a mi equipo asesor por el aporte y la ayuda prestada durante todas las fases de mi trabajo de titulación.

A la prestigiosa empresa NOVOPAN del Ecuador S.A por permitirme realizar mi trabajo de investigación y por el apoyo incondicional que me brindó.

LISTA DE SIGLAS

ADEVA: Análisis de Varianza.

ADHERIL EFX: Coadyuvante de control de enfermedades.

ADN: Ácido desoxirribonucleico.

AIB: Ácido Indol Butírico

ARN: Ácido ribonucleico

CODA. Código Orgánico del Ambiental.

CONAF: Corporación Nacional Forestal.

DAP: Diámetro a la altura del pecho.

ENCE: Productora de energía y celulosa en España.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

MAE. Ministerio del Ambiente del Ecuador.

MAG. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

NOVOPAN del Ecuador S.A: Empresa dedicada a la fabricación de tableros de partículas.

ppm: Partes por millón.

PDOT: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.

PREVICUR-N: Fungicida sistémico.

ROBRAL: Fungicida de acción protectante.

SENPLADES: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo.

TB-LAQ 20 SL: Fungicida de acción protectante.

INDICE DE CONTENIDOS

DATOS GENERALES	i
APROBACIÓN.....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	iii
CONSTANCIA.....	iv
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
LISTA DE SIGLAS	viii
INDICE DE CONTENIDOS	ix
INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE GRÁFICOS	xiii
INDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	4
1.1.1. Objetivo General.....	4
1.1.2. Objetivos Específicos.....	4

1.2. Hipótesis	5
1.2.1. Hipótesis nula.....	5
1.2.2. Hipótesis alterna.....	5
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Fundamentación legal	6
2.1.1. Constitución de la República del Ecuador del 2008	6
2.1.2. Código Orgánico del Ambiente (CODA)	6
2.1.3. Objetivo Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021	7
2.1.3.1. Política y lineamiento estratégico 3.3	7
2.1.3.2. Política de plantaciones forestales comerciales	7
2.1.4. Línea de investigación	8
2.1.5. Código de ética de la Universidad Técnica del Norte.....	8
2.2. Fundamentación Teórica.....	8
2.2.1. Eucalyptus globulus	8
2.2.1.1. Descripción botánica.....	8
2.2.1.2. Clasificación taxonómica.....	9
2.2.1.3. Distribución natural	9
2.2.1.4. Introducción en el Ecuador	10
2.2.1.5. Importancia social, económica y ambiental.....	10
2.2.1.6. Cuestionamiento ecológico	11
2.2.2. Genética	12
2.2.2.1. Principios	12
2.2.2.2. Importancia del mejoramiento genético del eucalipto.....	13
2.2.3. Propagación.....	13
2.2.3.1. Propagación asexual.....	13
2.2.3.2. Propagación clonal.....	15

2.2.3.3.	Sustrato	16
2.2.3.4.	Hormona	16
2.2.3.5.	Características generales de los rebrotes de <i>Eucalyptus globulus</i>	16
2.2.3.6.	Enraizamiento	17
2.2.3.7.	Ventajas de la multiplicación vegetativa del eucalipto.....	17
2.2.4.	Experiencias en propagación clonal de <i>Eucalyptus globulus</i>	18

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Ubicación del área de estudio	21
3.1.1. Política	21
3.1.2. Geográfica.....	22
3.1.3. Límites	22
3.2. Datos climáticos.....	22
3.3. Características del vivero	22
3.4. Características del invernadero	22
3.5. Materiales, equipos y softwares	23
3.5.1. Materiales.....	23
3.5.2. Equipos	23
3.5.3. Softwares.....	23
3.6. Metodología	23
3.6.1. Selección de los árboles candidatos	23
3.6.2. Diseño estadístico	24
3.6.3. Modelo estadístico	24
3.6.4. Tratamientos	25
3.6.5. Recolección del material vegetativo	25
3.6.6. Preparación de hormona y sustrato	26
3.6.7. Plantación.....	26

3.6.8.	Obtención de datos.....	27
3.6.9.	Aplicación de fertilizante y fungicida.....	27
3.6.10.	Procesamiento de datos.....	27

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1	Enraizamiento y mortalidad.....	28
4.2	Sanidad	33
4.3	Tiempo de enraizamiento	35
4.4	Numero de raíces por estaca.....	36

CAPITULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
5.1	Conclusiones.....	38
5.2	Recomendaciones	38

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
---------------------------------	----

ANEXOS	48
--------------	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción taxonómica del <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.....	9
Tabla 2. Registro de datos dasométricas de los árboles candidatos.....	24
Tabla 3. Codificación de tratamientos	25
Tabla 4. Análisis de varianza del enraizamiento de estacas de <i>Eucalyptus globulus</i>	28
Tabla 5. Análisis de Friedman para coloración.....	34
Tabla 6. Análisis de Friedman para marchitez.....	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la hacienda Pisangacho	21
--	----

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Enraizamiento de <i>Eucalyptus globulus</i> por tratamiento.	29
Gráfico 2: Porcentaje de mortalidad del <i>Eucalyptus globulus</i> por tratamiento.	30
Gráfico 3: Análisis de la prueba de medias para el Factor A	31
Gráfico 4: Análisis de la interacción entre el Factor A como variable y el Factor B como partición.	32
Gráfico 5: Análisis de la interacción entre el Factor B como variable y el Factor A como partición.	33
Gráfico 6: Tiempo de enraizamiento de las estacas de <i>Eucalyptus globulus</i> en número de semanas.	36

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Selección y tala de árboles candidatos.....	48
Anexo 2: Recolección del material vegetativo	48
Anexo 3: Preparación del sustrato y hormona.....	49
Anexo 4: Plantación y ubicación de las estacas en el invernadero.....	49
Anexo 5: Fertilizantes y fungicidas sistémicos aplicados durante la investigación.....	50
Anexo 6: Coloración marrón/rojiza en las hojas de las estacas.....	51
Anexo 7: Marchitez de las estacas.....	51
Anexo 8: Rebrotos en las estacas enraizadas.....	52

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE UN TRATAMIENTO PARA ENRAIZAMIENTO DE CLONES DE *Eucalyptus globulus* Labill EN LA HACIENDA PISANGACHO, DE LA PARROQUIA SAN BLAS, CANTON URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA.

Autora: Jessica Jasmin Imbaquingo Rosero

Director de trabajo de titulación: Dr. Mario José Añezco Romero, Ph.D.

Año: 2021

RESUMEN

Debido a que existe un déficit de estudios sobre la propagación vegetativa del eucalipto se desea ayudar a mejorar la información genética de esta especie. El objetivo principal fue determinar el mejor tratamiento hormonal para enraizamiento y producción de clones de *Eucalyptus globulus* a nivel de vivero. Se dividió el estudio en dos partes, en la primera se eligió a los tres mejores individuos y se procedió a cortarlos para obtener rebrotes; en un lapso de cuatro meses se dio inicio a la segunda fase, la cual constó de la recolección de estacas y la dosificación adecuada de la hormona (AIB) y el sustrato a base de corteza de árboles y cascarilla de arroz, así como la evaluación de la eficacia de la interacción entre estos dos factores. Las variables que se analizaron fueron el porcentaje de mortalidad y enraizamiento, la sanidad y tiempo de enraizamiento de las estacas. El tratamiento que mostró tener mayor efectividad fue el T1, formado por la dosis de hormona de 6 000 ppm y un sustrato con el 10% de cascarilla de arroz y 90% corteza de pino, la mejor interacción es la formada por la dosis más alta en cuanto al AIB que ayuda a incentivar el enraizamiento y la cascarilla de arroz que es la que le da aireación al sustrato. Por el contrario el T4 y T7 son los que presentaron los resultados más altos en mortalidad, descartando el uso de dosis menores a la del T1. Concluyendo que la hormona AIB no influyó en el enraizamiento de las estacas, sin embargo, se obtuvieron resultados positivos únicamente en combinación con el S1.

Palabras clave: Producción, mejoramiento genético, propagación vegetativa, interacción

TITLE: DETERMINATION OF A TREATMENT FOR ROOTING CLONES OF *Eucalyptus globulus* Labill IN THE PISANGACHO FARM, SAN BLAS PARISH, URCUQUÍ CANTON, IMBABURA PROVINCE.

Author: Jessica Jasmin Imbaquingo Rosero

Director of thesis: Dr. Mario José Añezco Romero, Ph.D.

Year: 2021

ABSTRACT

Considering the lack of studies on the vegetative propagation of eucalyptus, this research aims to improve the genetic information on this species. This research was carried out at the Pisangacho farm, in the San Blas parish. Urcuquí canton, Imbabura province. The key objective was to determine the most adequate hormonal treatment for rooting and production of *Eucalyptus globulus* clones at the nursery level. The study was divided into two parts, in the first one the three best individuals were chosen, which consisted of the collection of cuttings and the adequate dosage of the hormone (IBA) and the substrate based on tree bark and rice husk, as well as the assessment of the effectiveness of the interaction between these two factors. The variables were the percentage of mortality and rooting health, and rooting time of the cuttings. The treatment that showed the greatest effectiveness was T1, formed by a dose of 6000 ppm hormone and substrate with 10% rice husk and 90% pine bark. Concluding the most significant interaction is formed by the dose higher in terms of IBA that helps to encourage rooting and the rice husk, which is what allows the substrate aeration. On the contrary, the T4 and T7 presented the highest mortality, ruling out the use of a dose lower than that of T1.

Keywords: Production, genetic improvement, vegetative propagation, interaction.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El eucalipto es un árbol australiano, varias especies y subespecies se hallan naturalmente en Pápua Nueva Guinea, en el norte de Australia, algunas de ellas también se encuentran en Islas en la parte oriental del archipiélago indonesio (Navarro, 2012). Existen más de 700 especies en el mundo y se cultivan en diferentes regiones tropicales del planeta. Por su rápido crecimiento se considera que tienen un gran potencial en plantaciones forestales, muchas de ellas son comercialmente importantes, principalmente para la producción de madera, pulpa papel y aceites esenciales.

Actualmente se estima que la superficie plantada con variedades clonales de *Eucalyptus globulus* Labill, corresponden a fragmentos menores a la mitad del patrimonio que gestionan las empresas dedicadas a la producción de celulosa a nivel mundial. En cuanto se refiere a multiplicación vegetativa, durante muchos años se ha considerado como una especie difícil de enraizar (Majada, Lopez, y Neves, 2012).

Rezende (2009) identificó cinco países tropicales donde se desarrollan de manera efectiva programas nacionales de mejoramiento genético de eucalipto, los cuales son: Sudáfrica, Brasil, Zambia, Filipinas y Nueva Guinea. Además de estos países, el Congo ha pulido métodos de mejoramiento genético avanzados, especialmente apoyados en especies híbridas. Dichos métodos son tomados en cuenta en la India para la implementación de plantaciones a gran escala. Los países firmemente dedicados al mejoramiento genético del eucalipto en la región templada incluyen a Estados Unidos, Australia y Portugal. A escala experimental los trabajos de multiplicación vegetativa con eucaliptos se llevan a cabo en varios países más, pero es escasa la información publicada al respecto (Balmelli, 2011).

Los comienzos de la clonación en árboles son muy antiguos, dichos estudios en el género *Eucalyptus* son un fenómeno más nuevo. El enraizamiento de estacas es importante ya que permite capturar los genes deseables y transmitir al nuevo árbol el potencial genético del progenitor, puesto que cada célula vegetal contiene las características genéticas necesarias para crear un nuevo individuo. Cualquier intento de enraizamiento se justifica en la medida que se dispone de buenos genotipos para ser propagados, lo que permite tener una producción a gran escala e impactar a un mercado explícito (Costa, Dutkowski y Borralho, 2005).

A finales de los años 70 Brasil inició a una nueva manera de multiplicación vegetativa a partir de estacas colectadas de brotes de cepas de eucalipto, con la primera plantación establecida en 1979 de mil hectáreas en el estado de Espírito Santo, se observó un aumento significativo en productividad y calidad de la madera. Las especies tropicales de *Eucalyptus*, permitieron desarrollar y ajustar las técnicas de propagación clonal a gran escala. *Eucalyptus globulus*, comenzó a multiplicarse vegetativamente por enraizamiento de estaquillas, siguiendo el éxito previamente obtenido con las especies de *Eucalyptus* tropicales. Empresas portuguesas y españolas fueron adoptando la metodología de enraizamiento de macro estaquillas a mediados de los años 80 (Wilson, 1993).

La proporción de individuos de *Eucalyptus globulus* con elevada capacidad de enraizamiento es considerablemente baja en comparación a otras especies del género *Eucalyptus* en regiones tropicales húmedas (Griffin, 2011). Esta peculiaridad puede ser una limitante para que la población logre una mejora en cuanto a características ecológicas y productivas consideradas con mayor importancia, como lo es el enraizamiento (Assis, 2001). A pesar de que existen importantes estudios sobre la variación y el control genético de varias características de interés, la habilidad de enraizamiento es la menos estudiada, ya que se desconocen los porcentajes de enraizamiento de esta especie.

Por ser una excelente fuente de madera y por su rápido crecimiento el *Eucalyptus globulus* es una especie idónea para su producción. Mediante la multiplicación vegetativa se pueden obtener plantas idénticas genéticamente a la planta madre, ésta provee de muchas ventajas frente a la propagación sexual (Cevallos, Guallpa, Rosero y Samaniego, 2016). Uno de los adelantos biológicos que posee la propagación clonal es su simplicidad; dado que no se tiene que originar células sexuales ni realizar procesos en las operaciones precedentes a la fecundación (Campinhos, 2004).

En el Ecuador una de las empresas más importantes en fabricar, comercializar localmente y exportar tableros aglomerados de madera es NOVOPAN del Ecuador S.A (Ecuador Forestal, [EF] 2011). La sostenibilidad y el cuidado del ambiente ha sido una constante en esta empresa, esas medidas le permitieron ser un productor Carbono Neutro y recibir un reconocimiento del Municipio de Quito. La empresa cuenta también con viveros propios, los mismos que tienen una capacidad de producción de más de un millón de plántulas al año, considerando al pino radiata, ciprés y eucalipto (Santillán, 2019).

Para una mayor eficiencia, las especies han sido mejoradas biogénicamente con la colaboración del Instituto de Investigación y Estudios Forestales, de Brasil. Así mismo, NOVOPAN ha desarrollado por cuenta propia un jardín clonal y ha sembrado con éxito clones obtenidos en su laboratorio. Estos adelantos facilitan un crecimiento anual de 50 m³ por hectárea en el litoral y recientemente 20 m³ por hectárea en la Sierra.

Se requiere de una mayor investigación acerca de esta especie y su propagación a nivel de vivero para conseguir plantaciones de calidad a gran escala y a un tiempo reducido, de tal manera que un individuo aislado puede dar lugar a un gran número de descendientes.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar el mejor tratamiento para enraizamiento y producción de clones de *Eucalyptus globulus* en vivero.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar la dosis de la hormona ácido Indol butírico (AIB) de mayor eficiencia en enraizamiento de clones de *Eucalyptus globulus*.
- Evaluar la eficacia de las interacciones entre la AIB y tres mezclas de sustratos en la producción de clones de *Eucalyptus globulus*

1.2. Hipótesis

1.2.1. Hipótesis nula

Los tratamientos provenientes de la combinación de tres dosis de la hormona IBA y tres mezclas de sustratos no presentan diferencias significativas en el enraizamiento de clones de *Eucalyptus globulus*.

1.2.2. Hipótesis alterna

Al menos uno de los tratamientos provenientes de la combinación de tres dosis de la hormona IBA y tres mezclas de sustratos presenta diferencias significativas en el enraizamiento de clones de *Eucalyptus globulus*.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación legal

2.1.1. Constitución de la República del Ecuador del 2008

La Constitución de la República del Ecuador del 2008, en los artículos 10, del 71 al 74, 119 y 132 expresa.

Es así que la Pacha Mama, donde se lleva a cabo la vida, será sujeto de aquellos derechos que se le reconozcan en la Constitución, toda persona, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza, la misma que aplicará medidas de precaución para todas aquellas acciones que puedan conducir a la extinción de especies o la alteración de los ecosistemas naturales. En el caso de impacto ambiental grave o permanente, el estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración y mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

La Autoridad Ambiental Nacional, en sus respectivos ámbitos de competencia, diseñará e implementarán planes, programas o proyectos especiales en el territorio para brindar a los actores forestales información, asistencia técnica y servicios de extensión en materia de manejo forestal sostenible, restauración ecológica, reforestación con fines de conservación y plantaciones de producción. Las plantaciones forestales con fines de conservación y producción son de prioridad nacional. Las plantaciones forestales y sistemas agroforestales de producción constituirán medios para aliviar la presión sobre los bosques naturales, por la demanda de madera y sus derivados.

El establecimiento de bancos de germoplasma forestal, huertos semilleros, jardines botánicos y viveros forestales, así como la adquisición, importación, almacenamiento y tratamiento de semillas forestales y cualquier otro tipo de material genético, están sujetos a los controles que determinen las autoridades competentes. (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.1.2. Código Orgánico del Ambiente (CODA)

El CODA se pronuncia sobre la genética de especies forestales, en los artículos 8, 97, 132 y 133.

En los que se menciona que la Autoridad Nacional de Agricultura ejecutará la regulación, organización, fomento y gestión de plantaciones forestales, así como de sistemas agroforestales de producción y comercialización. El establecimiento de bancos de germoplasma forestal, huertos semilleros, jardines botánicos y viveros forestales, así como la adquisición, importación, almacenamiento y tratamiento de semillas forestales y cualquier otro tipo de material genético, están sujetos a los controles que determinen las autoridades competentes, las mismas que identificarán y propondrán iniciativas para la investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico y extensión forestal en base a sus competencias

Instaurar estrategias territoriales nacionales que contemplen e incorporen criterios ambientales para la conservación, uso sostenible y restauración del patrimonio natural, los cuales podrán incluir mecanismos de incentivos a los Gobiernos Autónomos Descentralizados por la mejora en sus indicadores ambientales. La planificación y el ordenamiento territorial son unas de las herramientas indispensables para lograr la conservación, manejo sostenible y restauración del patrimonio natural del país. Las políticas de desarrollo, ambientales, sectoriales y nacionales deberán estar integradas (Código Orgánico del Ambiente [CODA], 2017).

2.1.3. Objetivo Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021

La actual investigación se enmarca en el objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo donde dice: “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones” Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2018).

2.1.3.1. Política y lineamiento estratégico 3.3

Se expresa en la promoción de buenas prácticas ambientales las mismas que aporten a la disminución de la contaminación, la conservación, mitigación y adaptación de los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017)

2.1.3.2. Política de plantaciones forestales comerciales

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) elabora el Plan Nacional Agropecuario para los próximos diez años, considerando la zonificación de las áreas de producción. Con el fin de saciar la necesidad de alcanzar un desarrollo socio económico sostenible, a través del

uso eficiente de los recursos naturales; se fomenta el establecimiento de 20 000 hectáreas bajo el Proyecto de Incentivos Forestales, donde el eucalipto está entre las especies que reciben incentivos económicos. Se lleva a cabo el fomento de plantaciones forestales comerciales, porque pueden suplir de madera para la industria, la exportación y el mercado local. Los proyectos forestales comerciales también ayudan en la recuperación de suelos degradados, generan empleo y réditos económicos que genera al productor, además de que se pueden asociar con otras especies y son sostenibles por su naturalidad (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2020).

2.1.4. Línea de investigación

El estudio se enmarca en la línea de investigación de la carrera: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

2.1.5. Código de ética de la Universidad Técnica del Norte

Enfocado en el cumplimiento del código de ética de la Universidad Técnica del Norte; para la realización de la presente investigación se hace uso del convenio de cooperación interinstitucional para prácticas pre-profesionales e investigación forestal entre la Universidad Técnica del Norte y la empresa NOVOPAN del Ecuador S.A, el mismo que tiene como objetivo incentivar y motivar a los estudiantes a que sean creativos con temas de investigación y trabajos de titulación en áreas de práctica; que sirvan de beneficio mutuo entre las instituciones involucradas, así como concienciar al estudiante sobre la magnitud y responsabilidad que implica la participación en el sector de su profesión para contribuir a un mejor servicio profesional e institucional.

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Eucalyptus globulus

2.2.1.1. Descripción botánica

El eucalipto pertenece a la familia *Myrtaceae*, tal como se señala en la Tabla 1. Es un árbol de gran desarrollo que alcanza alturas que pueden sobrepasar los 60 m. Tronco cilíndrico, recto y grueso, alcanza hasta 2m de DAP. Copa alargada e irregular sobre un fuste limpio de ramas hasta en 2/3 de su altura total (Fresquet, 1995). Corteza de 3 cm de grosor que desprende en tiras al madurar, dejando una segunda corteza lisa, dando al árbol un aspecto característico, en ocasiones expulsa resina.

Sus hojas pueden presentar dos formas distintas: las hojas juveniles son opuestas, sésiles, de base cordada, de color gris-azulado, de 8-15 cm de longitud y 4-8 cm de anchura; las adultas alternas, pecioladas, con la base cuneada, linear-lanceoladas, de 15-25 cm de longitud, con el ápice acuminado, presentan un color verdoso (Ecuador Forestal, 2013).

Las flores son grandes, blancas y axilares generalmente solitarias o en grupos de 2-3 y hasta de 3 cm de diámetro, con numerosos estambres de color blanco. Fruto en cápsula campaniforme de color glauco y cubierta de un polvo blanquecino, de 1.5-3 cm de diámetro. Las semillas fértiles son negras, rugosas y más grandes, los óvulos abortados son rojizos y livianos (Ipinza, 1998).

2.2.1.2. Clasificación taxonómica

Eucalyptus es el nombre dado a un grupo de especies afines dentro de la gran familia de las Myrtaceas, originaria del sureste de Australia y Tasmania (Houtou, 2009), nombre asignado por el botánico francés Charles Louis L'Héritier de Brutelle en 1788 (Bentham, 1867).

Tabla 1.

Descripción taxonómica del Eucalyptus globulus Labill

Descripción Taxonómica	
Reino	Plantae
División	Spermatophita
Subdivisión	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae
Género	<i>Eucalyptus</i>
Especie	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill
Nombre común	Eucalipto

2.2.1.3. Distribución natural

Es originario de Australia. El género es uno de los árboles más conocidos de la flora australiana ya que por su rápido crecimiento se ha extendido por todo el mundo para su aprovechamiento industrial (Skolmen y Ledig, 2010). En el país, estos árboles se encuentran distribuidos, en mayor porcentaje, en las provincias de la Sierra. Tienen más presencia en

Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Carchi, Tungurahua, Chimborazo, Loja, Imbabura, Azuay, Cañar (Balmelli, 2011).

2.2.1.4. Introducción en el Ecuador

En el Ecuador la principal especie de eucalipto plantada es *E. globulus*, fue introducida en el mes de mayo de 1865 bajo el auspicio del presidente Gabriel García Moreno, los primeros individuos fueron sembrados en una quinta al interior del callejón Interandino, en la ciudad de Ambato, por el doctor Nicolás Martínez, quien fue uno de los primeros propulsores de la forestación nacional (Solís, 1979). En este y en otros países andinos se han introducido algunas especies; pero el *Eucalyptus globulus* es el que mejor se ha adaptado y el que más beneficios económicos ha brindado a sus habitantes ya que ha sido vastamente plantado sobre la meseta central entre las altitudes de 1 800 y 3 300 msnm.

En el país la superficie plantada con Eucalipto es de 45 000 hectáreas, 20 000 de ellas son de *Eucalyptus globulus* (Inventarios Forestales Nacionales [IFN], 2010). A nivel nacional el 84,22% del volumen total aprovechado en plantaciones se concentra en la aprobación de cuatro especies: balsa, eucalipto, pino y laurel, lo que significó un volumen total de 1 707 043,06 m³ de madera. Eucalipto ocupa el segundo lugar y su participación total es del 16.79% con un volumen de aprovechamiento autorizado de 619 243,35 m³ (Robles, 2011).

Generalmente se encuentran en plantaciones puras, los principales eucaliptos cultivados, aparte de *E. globulus*, son *E. urograndis*, *E. saligna*, *E. camaldulensis* y pocos *E. robusta* (Buitrón, 2001). La principal concentración de plantaciones se encuentra entre Quito y Latacunga, pero las plantaciones se extienden a las provincias de Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Imbabura, Loja y Tungurahua (Cevallos *et al*, 2016).

2.2.1.5. Importancia social, económica y ambiental

Ha sido especialmente utilizada para sanear zonas pantanosas al eliminar la humedad de estas con la consiguiente erradicación de sus plagas de insectos, principalmente mosquitos y, de las enfermedades que transmiten (López, 2010).

Su uso ha desarrollado una gran ayuda para el control del paludismo en muchas zonas de Asia, América del Sur y el sur de Europa. La principal función que se le da a la madera es para producción de pulpa papel, una parte se usa para carbón vegetal y cajones. Las plantaciones a

lo largo de las carreteras y cortinas de abrigo cumplen una valiosa finalidad de esparcimiento y protección (Fresquet, 1995).

La madera producida es principalmente de pequeñas dimensiones, de gran importancia para los países interesados y representa para ellos una inversión financiera considerable. La producción de las plantaciones de eucaliptos está dividida, aproximadamente, en: leña o madera para pulpa, 85%; postes y productos de madera en rollo de mejor calidad, 10%; madera aserrada, 5% (Golfin y Baso, 2007). La mayor parte de la producción de los montes de eucaliptos de corta rotación es de madera para leña, este es el producto de menor valor en el mercado por unidad de volumen, sin embargo, puede ser el producto de mayor valor social para las comunidades interesadas (Quispe, 2016).

En el Ecuador es una especie de importancia económica que ha llegado a integrar parte elemental del paisaje interandino (Ecuador Forestal [EF], 2013). Por ser una especie de rápido crecimiento, se puede encontrar cultivada en la región andina.

- En la industria maderera para la fabricación de muebles, tableros MDF, aglomerados y materia prima para la elaboración de celulosa que posteriormente servirá para exportación.
- Industrias farmacéuticas mediante obtención de aceites esenciales que ayudan a tratar enfermedades como la gripe, bronquitis, asma, etcétera. (Solis, 1979). Así como en la industria química para la elaboración de insecticidas, fungicidas, alcohol, desinfectantes.
- Uso doméstico como leña y elaboración de carbón.

2.2.1.6. Cuestionamiento ecológico

Las Plantaciones de Eucalyptus siempre han despertado fuertes controversias en pro y en contra, pero los argumentos utilizados tanto por quienes se oponen como por quienes las favorecen, se han fundamentado más en prejuicios que en consideraciones ponderadas de los hechos. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2013).

Estas críticas son muy diversas, algunas de ellas también podrían aplicarse a otros tipos de plantaciones, pues todos los monocultivos son más propensos que los bosques mixtos al ataque de plagas y enfermedades (López, 2010).

En lugares donde se establecen plantaciones forestales es esencial limitar la distorsión del suelo y promover la presencia de sotobosque y una capa de hojarasca, lo que se logra dando raleos oportunos y de este modo se evita los incendios forestales durante las épocas secas (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2009).

Suárez (2017) menciona “el eucalipto no es más inflamable que otras especies”. Facilita la propagación de incendios forestales porque las cortezas se desprenden del árbol y se acumulan en el suelo generando la presencia excesiva de material combustible bajo la copa de los árboles, por tal motivo cuando existe un incendio las plantaciones son de fácil combustión (Assis, 2001). Debido a la gran altura que alcanzan estos árboles en un corto período de tiempo, una plantación de eucalipto cumple la función de sumidero de carbono atmosférico, ayudando a reducir los impactos del cambio climático (MAE, 2013).

El mejor crecimiento de *Eucalyptus globulus* Labill se presenta en localidades entre 2 200 y 3 300 msnm, donde la precipitación anual es de 800 a 1 500 mm. Su rendimiento decae en zonas con periodos secos, prolongados, con neblina en zonas húmedas, con heladas en zonas secas y vientos frecuentes superiores a 8m/segundo. Esta especie se desarrolla de mejor manera en suelos franco-arenosos, arcillosos o areno-arcillosos. Con un pH de 5 a 7, que no estén compactados y tengan buen drenaje (Ecuador Forestal, 2013).

2.2.2. Genética

2.2.2.1. Principios

La historia de la genética comienza por el trabajo del monje agustino Gregor Mendel. Su investigación sobre hibridación en guisantes, “Experimentos sobre hibridación de plantas” publicada en 1866, descubre las leyes de Mendel (Cornide, 2001). Gardner (2000) divide la historia de la genética en tres importantes periodos.

El primer período (1900-1944) estuvo dominado por la herencia mendeliana o variación cualitativa “Teoría de la Evolución” planteada por Charles Darwin (Gardner, 2000). El segundo período (1945- 1969) dominado por estudios en virus y bacterias, dio lugar a la Genética Molecular (Gardner, 2000). Es así que se reunieron los conocimientos genéticos en que se basaron los programas de selección de plantas de alta productividad y resistencia a enfermedades, protagonistas de la Revolución Verde (Tamarin, 2015). El tercer período (1970) no se ha terminado, forma parte de una nueva era de la Genética (Gardner, 2000). La misma

que ha alcanzado su mayoría de edad con el desarrollo de modelos genético-estadísticos en cuatro áreas principales: genética poblacional, estimación de componentes de varianza entre parientes, análisis de segregación y mapeo génico (Poehlman, 2003).

2.2.2.2. *Importancia del mejoramiento genético del eucalipto*

Los programas de mejoramiento genético forestal en diferentes especies tienen sus orígenes hacia la década de 1950 (Cornide, 2001). En muchos casos las poblaciones domesticadas están distanciadas genéticamente de sus poblaciones silvestres solo una o dos generaciones. Las poblaciones naturales de todas las especies son indispensables para conservar la diversidad de los genes y mantener el ecosistema. Esta cercanía generacional de las plantaciones frente al bosque natural representa una gran ventaja, puesto que significa que las posibilidades de selección y mejoramiento siguen siendo amplias (Assis, 2001).

La variación genética es la plataforma del mejoramiento de los árboles, es decir que la única posibilidad que tiene el hombre para propiciar el mejoramiento genético es la infalible presencia de variabilidad. Consecuentemente, una estrecha base genética tiene consecuencias contundentes en la disminución del rendimiento de la producción maderera (Wendling, 2013).

Casi la totalidad de los países que inician programas de mejoramiento genético forestal en los eucaliptos han adecuado métodos y estrategias utilizados en las especies de zonas templadas (Balmelli, 2011). Recientemente se han expuesto nuevas estrategias que aprovechan completamente las características específicas de los eucaliptos y de las condiciones ambientales en las cuales se plantan. Actualmente, la técnica más satisfactoria y prometedora es la que emplea los recientes adelantos de propagación clonal hacia la producción intensiva de material genéticamente mejorado, obtenido por los métodos tradicionales de genética forestal (Ramos y Domínguez, 2016).

2.2.3. *Propagación*

2.2.3.1. *Propagación asexual*

Por muchos años los eucaliptos han sido regenerados de manera efectiva a través de semillas y ha resultado ser una manera muy efectiva de propagación dado su alto porcentaje de viabilidad (Alfenas, 2017). Sin embargo, la propagación clonal de individuos seleccionados por el hombre es un método relativamente reciente y prometedor para el uso directo a gran escala en los progresos alcanzados por el mejoramiento genético de árboles (Prieto, 2004).

Existen diferentes técnicas de propagación vegetativa, a parte de la propagación clonal, que han demostrado cierto grado de éxito cuando se les aplicó en *Eucalyptus globulus* tales como tallar o monte bajo, injerto, reproducción in vitro por organogénesis y la producción por acodos (López, 2010). El método de tallar es a menudo usado para regenerar las plantaciones, pero una vez que la primera generación por plántulas queda establecida, no es posible el control genético, dado que toda regeneración por tallar será genéticamente idéntica al progenitor (Assis, 2001).

Los métodos más efectivos empleados en los eucaliptos son el injerto en botella, injerto terminal por hendidura, injerto de aproximación y de yema (Azcón, 2000). Aunque el logro inicial puede llegar a ser de hasta el 80%, los eucaliptos injertados ponen en evidencia, a menudo, una elevada proporción de incompatibilidad inmediata o retardada hacia el esqueje (Quiñones, 2015). La silvicultura clonal es la utilización masiva de genotipos sobresalientes, a través de plantas obtenidas por enraizamiento de esquejes (estaquillas, estacas) o de plantas obtenidas mediante técnicas de "cultivo in vitro", por medio de cultivo de órganos o de callos o bien mediante plantas derivadas de embriones encapsulados (Gutiérrez y Chung, 2002).

La facilidad que tienen las estacas para enraizar varía de una especie a otra y, en menor grado, de un individuo a otro, sin embargo, la mayoría de los eucaliptos no enraizarán a partir de estacas o por acodos aéreos, una vez que la planta supera el estado juvenil (Harrand, 2006). Generalmente, los efectos de envejecimiento comienzan a manifestarse cuando las plántulas tienen de seis a ocho pares de hojas, si bien con *E. deglupta*, por ejemplo, pueden todavía obtenerse estacas de las plántulas de 3 años (Sisaro y Hagiwara, 2016).

En la práctica, los efectos del envejecimiento pueden ser superados aprovechando los brotes adventicios, epicórmicos o tuberoleñosos para la obtención de estacas. Su formación puede ser estimulada, talando árboles adultos, desmochando plántulas o árboles jóvenes a cierta distancia del suelo, con la parcial incisión anular del árbol, o con tratamientos hormonales (Fierro, 2017). El trasmocho es el recorte de los brotes para estimular el desarrollo de una cantidad de brotes nuevos vigorosos en reemplazo de los que han sido eliminados y a veces se aplica también para asegurar cantidades abundantes de material apto para estacas (Campinhos, 2004).

2.2.3.2. *Propagación clonal*

(Castro, Díaz, y Linero, 2002), menciona que la propagación vegetativa de los eucaliptos tiene gran importancia en su mejoramiento para asegurar ganancias genéticas inmediatas. Los clones de eucaliptos seleccionados cuidadosamente a partir de poblaciones naturales o mejoradas pueden ser propagados masivamente a bajo costo. Los brotes obtenidos de los clones seleccionados podrán ser utilizados directamente en plantaciones para asegurar que las características superiores de crecimiento sean retenidas. Esta tecnología está muy bien establecida en algunos países como Brasil, donde de la producción anual en viveros es de 175 millones de plantas, aproximadamente 30% proviene de estacas enraizadas (Assis y Rodríguez, 2014).

Eldridge (1993) menciona que “la mejor especie para la industria celulósica es *Eucalyptus globulus*”. Durante muchos años se consideró una especie muy difícil para enraizar (Quinto, 2016). *Eucalyptus globulus* comenzó a multiplicarse vegetativamente por enraizamiento de estacas, siguiendo el éxito anteriormente obtenido con las especies de *Eucalyptus* tropicales (Frangi, Goya, Luy y Arturi 2013)

El interés por utilizar este método de propagación va en incremento, esto se debe a la simpleza y rapidez con que se obtienen las ganancias genéticas que ofrecen los programas de mejora. La diferencia entre la mejora genética por estacas y su ejecución mediante semillas, es que con el acierto en la elección de genotipos superiores y mediante la multiplicación clonal se consiguen grandes ganancias a corto plazo (Laclau *et al.*, 2009).

El progreso en los métodos de la propagación vegetativa de los eucaliptos es revolucionario desde el punto de vista de la genética forestal. Combinando las técnicas tradicionales de genética forestal y la propagación vegetativa del material mejorado, la producción en volumen de algunas especies de eucaliptos puede más que duplicarse en menos de 10 años (Arango y Tamaño, 2008). De todos los métodos de propagación vegetativa utilizados, el más habitual es el enraizamiento por estacas debido a las diversas ventajas demostradas. Este método es preferido a nivel mundial, por la gran cantidad de descendientes que se puede obtener de un árbol individual, evitando los problemas de incompatibilidad de los injertos y, los costos más bajos en comparación con otros (Condo y Pazmiño, 2015).

El sistema de estaquillado es muy utilizado actualmente en el mundo por la producción en millones de plantas, principalmente especies subtropicales y de zonas templadas, como *Eucalyptus*, esta técnica de propagación clonal se está desarrollando muy velozmente por las ventajas de producir masivamente plantas a través de enraizamiento de estacas (Arango y Tamaño, 2008).

2.2.3.3. Sustrato

La elección de un adecuado sustrato de enraizamiento es un factor fundamental en la optimización del proceso (Donoso, González, Escobar, Basso, y Otero, 1999). El sustrato es el medio de cultivo en el que se desarrollan las raíces de la planta y debe cumplir con la función de soporte físico de las raíces, facilitar el agua y nutrientes a las mismas, así como permitir una buena aireación al sistema radicular (Quiroz, 2001).

Cabe destacar, para que el sustrato mantenga las condiciones idóneas de enraizamiento, no solo depende de sus características intrínsecas, es decir; de la textura, estructura, porosidad y otras, sino también de cómo interacciona éste con las otras condiciones ambientales como la temperatura, humedad del aire, la dosis y frecuencias de los riegos y hasta el envase utilizado (Vita, 1996). En la ejecución de la presente investigación se utilizó un sustrato que es empleado por la empresa NOVOPAN del Ecuador, el mismo que está hecho a base de corteza de pino, molida y descompuesta.

2.2.3.4. Hormona

Para el caso particular del enraizamiento, el principal interés son las auxinas, las mismas que, entre otras funciones, tiene la labor de mantener la dominancia de la yema apical (Koichi y Daniel, 1997). En el mercado existen dos productos considerados como los más efectivos para la estimulación del crecimiento de raíces adventicias en estacas, de los cuales se utilizará el AIB (ácido Indol butírico), la que está disponible en preparaciones comerciales dispersadas en talco o en formulaciones líquidas (Dolé y Gibson, 2006).

2.2.3.5. Características generales de los rebrotes de *Eucalyptus globulus*

El manejo de rebrotes se emplea con éxito en un amplio grupo de especies del género *Eucalyptus spp*; y la mayor rentabilidad de esta especie frente a otras está determinada en gran medida por la habilidad que ésta tiene para rebrotar, llegando a tener hasta cuatro ciclos, de los

cuales los dos primeros son los más efectivos (Corporación Nacional Forestal [CONAF], 1998).

2.2.3.6. Enraizamiento

El enraizamiento de estacas es importante en el mejoramiento genético porque captura los genes deseables sin necesidad de volver a recombinar y por consiguiente, sin pérdidas de los genes deseados. Cualquier intento de enraizamiento se justifica en la medida que se dispone de buenos genotipos para ser propagados y que compensen dicho esfuerzo (Azcón, 2000).

La capacidad de enraizamiento de estacas depende de la especie con la que se trabaje, las raíces son la reacción que tiene una estaca al corte realizado. La presencia de hojas puede influir de manera negativa el enraizamiento de las estacas. (Sisaro y Hagiwara, 2016).

2.2.3.7. Ventajas de la multiplicación vegetativa del eucalipto

El creciente interés por utilizar el método de propagación clonal se debe a la simpleza y rapidez con que se hacen operativas las ganancias genéticas que ofrecen los programas de mejora. La mayor ventaja que presenta el mejoramiento genético por estacas es que se adquieren grandes ganancias en plazos reducidos (Costa *et al.*, 2005), logrando el establecimiento de plantaciones mejor adaptadas a las condiciones del sitio, esto se retribuye con mayor producción y menor costo (Assis y Rodríguez, 2014).

En general, clones mejor adaptados experimentarán una mejor defensa frente a plagas y enfermedades. En última instancia, el productor forestal asume el riesgo de disminuir la diversidad a favor de quedarse con lo más ventajoso (Balmelli, 2011). Esto ha sido claramente demostrado en otras especies de eucalipto. Mientras algunas referencias mencionan las restricciones de propagación vegetativa de esta especie (Griffin, 2011), las extensas superficies clonales implantadas en España, Portugal y Chile muestran otra realidad.

Balmelli (2011) manifiesta que “Se pueden mantener genotipos superiores que fijan características genéticas deseables de los cultivos; como una alta productividad y crecimiento, mayor calidad, tolerancia a insectos, plagas y/o enfermedades, tolerancia a condiciones extremas de humedad, entre otros”. Al ser individuos clonados, es decir, idénticos genéticamente, su uniformidad es una ventaja en el manejo de un cultivo. Se puede acortar la

etapa vegetativa, por lo que las plantas pueden entrar más rápido a la etapa reproductiva (Cevallos *et al.*, 2016).

Por otro lado, Prieto (2004) menciona “La producción masiva de plantas o micropropagación, la introducción rápida de nuevas variedades y la limpieza de genotipos valiosos para obtener plantas libres de virus son sus principales ventajas. Y puede ser utilizada también como herramienta para la conservación de los recursos fitogenéticos”.

2.2.4. Experiencias en propagación clonal de *Eucalyptus globulus*

Las especies tropicales de *Eucalyptus*, como lo son *E. grandis*, *E. urophylla*, entre otros, permitieron desarrollar y ajustar las técnicas de propagación clonal. En los comienzos, la estrategia de enraizamiento de estacas contemplaba la selección, en plantaciones existentes, de los individuos mejor adaptados a la zona que era objetivo de plantación. La metodología de propagación clonal produjo ciertas repercusiones en las estrategias de mejora. Ello implicó ventajas productivas tanto en cantidad como en los plazos de entrega de la ganancia producida por un programa de mejora (Inglaterra, 2007).

Eucalyptus globulus comenzó a multiplicarse vegetativamente por enraizamiento de estacas, siguiendo el éxito previamente obtenido con las especies de *Eucalyptus* tropicales. A finales de los años 70 Brasil inició a una nueva manera de multiplicación vegetativa a partir de estacas colectadas de brotes de cepas de eucalipto. Empresas portuguesas y españolas fueron adoptando la metodología de enraizamiento de macro estaquillas a mediados de los años 80 (Wilson, 1993). Mientras en otras partes del mundo también se ajustaba la técnica, llegando a alcanzar carácter operativo en Chile, Uruguay y parcialmente en Australia (Griffin, 2011). A pesar de que existen diferentes estudios sobre la variación genética el control genético de varias características que resultan ser de interés, la habilidad de enraizamiento es la menos estudiada.

Muñoz (2018) realizó una investigación en la que propuso evaluar la eficiencia del ácido Indol butírico (AIB) en el enraizamiento de mini estacas de *Eucalyptus urograndis*, cantón Buena Fe, provincia Los Ríos, la investigación se instaló en el vivero “Los Ángeles”, donde se extrajo material vegetativo de tres cultivares L.A-10, E-154, E-71 y se aplicaron cuatro dosis AIB, de 0 ppm (T1), 500 ppm (T2), 1 000 ppm (T3) y 2 000 ppm (T4).

En la investigación se obtuvo que la interacción del cultivar L.A-10 con el T4 obtuvo el mayor porcentaje de sobrevivencia con el 100%. Se puede determinar que el Ácido Indol butírico ayudó a acelerar el desarrollo de las raíces en las mini estacas en el cultivar E-154 interactuado con el T2, por lo que recomienda la aplicación de 500 ppm de AIB. Esto indica que el cultivar L.A-10, es el más indicado para propagarlo vegetativamente por su rápido crecimiento y desarrollo. El cultivar E-71 junto al tratamiento 2 (T2) 500 ppm, es la combinación que produjo mayor número de brotes.

Soria y López (2014) realizaron una investigación en la que se propuso evaluar la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* por enraizamiento de estaquillas, en la ciudad de Huelva, España, dicha investigación se instaló en el vivero “ENCE”. En donde a través de la recolección de pies madre se pudo obtener dos sistemas de producción, macro estaquillado y mini estaquillado. No se utilizan hormonas vegetales (reguladores del crecimiento) para mejorar el enraizamiento de los esquejes.

El autor menciona que en pruebas anteriores realizadas con dosis crecientes de AIB no se logró una mejora en la tasa de enraizamiento en ninguno de los clones en producción. “Se ensayaron concentraciones de AIB aplicado con talco industrial en dosis que iban de 1 500 ppm hasta 9 000 ppm, con dosis por encima de 3 000 ppm se retrasaba considerablemente la brotación de las estaquillas”. Se utiliza un sustrato mezcla de fibra de coco fino al 70% con turba rubia al 30%. Este componente se requiere para incrementar la disponibilidad de agua fácilmente aprovechable por la planta, parámetro bastante bajo en la fibra de coco.

Una vez concluida la fase de aclimatación, se observa un desarrollo importante de la parte aérea de las plantas y las raíces adventicias aparecen por la parte inferior de los envases. El porcentaje medio de éxito es del 86%, tanto para macro como mini estaquillas, variando para cada uno de los seis clones que componen la actual población de propagación, entre el 72 y el 93%. Estos resultados tan interesantes permiten producir una planta mejorada de *E. globulus* a costos comerciales competitivos.

Rodríguez (2011) realizó una investigación donde se propuso evaluar el efecto del Ácido Indol butírico sobre el enraizamiento de minicortes apicales e intermedios de clones de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* y *E. globulus*. El enraizamiento del minicorte se

realizó durante 30 días en invernadero climatizado, luego los esquejes se trasladaron a la casa de sombra donde permanecieron durante 10 días.

Con el uso y aplicación de la hormona la supervivencia y el enraizamiento de los mini-esquejes apicales fueron significativamente mayores. Sin embargo, no se observó interacción entre las concentraciones de IBA con clones y tipos de minicortes en todas las características estudiadas., excepto por la supervivencia a los 30 días en invernadero.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

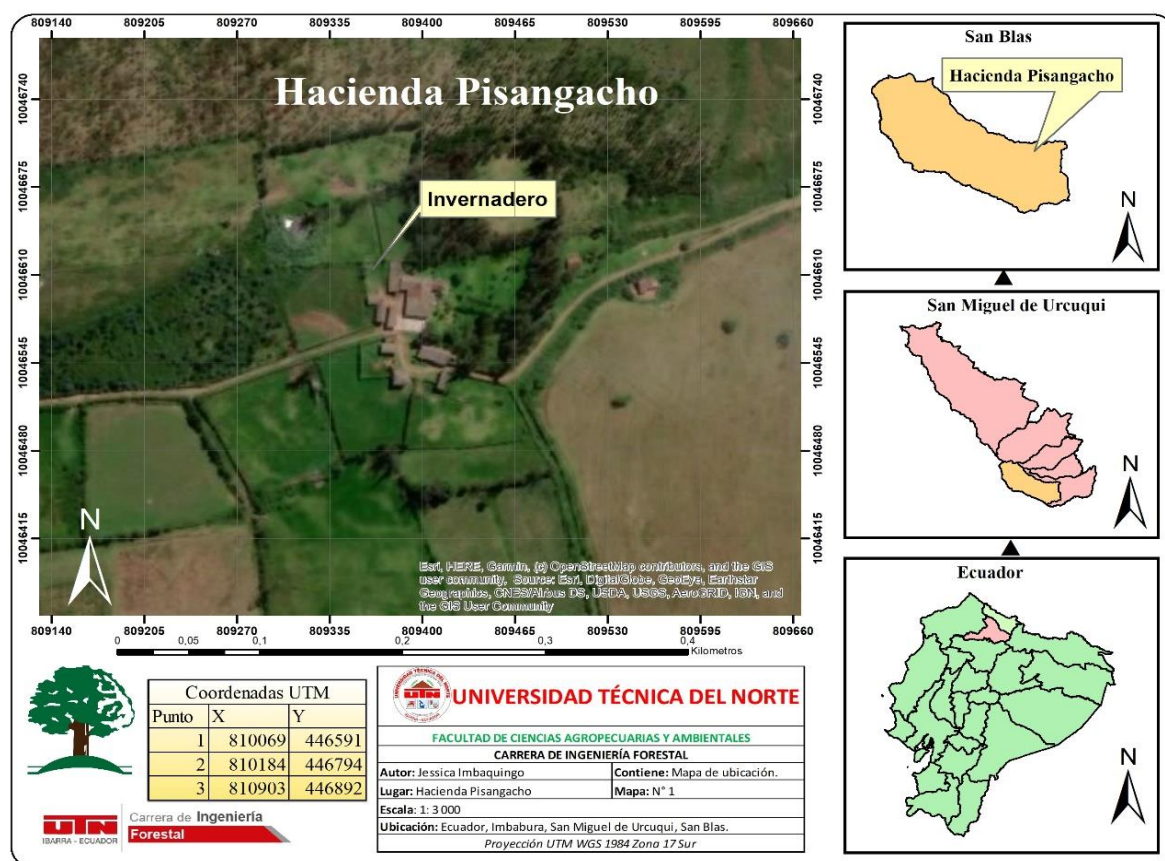
3.1. Ubicación del área de estudio

3.1.1. Política

El presente trabajo de titulación se lo realizó en el invernadero de la Hacienda Pisangacho, perteneciente a la empresa NOVOPAN del Ecuador S.A, ubicada en la parroquia San Blas, a 32 km del Noroccidente de la ciudad de Ibarra y a 4 km de la cabecera cantonal Urcuquí (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT], 2015). Lugar donde se realizó la recolección del material vegetal necesario para la investigación, el mismo que se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Mapa de ubicación de la hacienda Pisangacho



3.1.2. Geográfica

El invernadero se encuentra a 78° 11' 50 longitud oeste, 0° 25' 13" de latitud norte, en el rango altitudinal de 2 226 msnm a 2 718 msnm (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT], 2014).

3.1.3. Límites

La hacienda Pisangacho limita al norte con las parroquias rurales de Cahuasquí, Pablo Arenas, Tumbabiro y Urcuquí del mismo cantón, al sur con la parroquia rural de Imantag del cantón Cotacachi, al Oriente con la parroquia urbana de Urcuquí, al Occidente con la parroquia rural de Imantag del cantón Cotacachi (Sarmiento y Torres, 2011).

3.2. Datos climáticos

La temperatura mínima es de 7,0°C y la temperatura máxima 17,0°C. De acuerdo con las estaciones más cercanas al sitio, la parroquia se caracteriza por presentar la mayor cantidad de precipitación en el mes de abril, con 582,27 mm anuales y la presencia de meses secos, los cuales van de junio a agosto, donde se observa que la precipitación tiende a disminuir (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT], 2015).

3.3. Características del vivero

La hacienda Pisangacho cuenta con un vivero forestal permanente donde existe con un conjunto de instalaciones, equipos y herramientas necesarias para aplicar las técnicas apropiadas en la producción de plántulas de pino y eucalipto con calidad adecuada y su posterior plantación en los diferentes predios pertenecientes a la empresa NOVOPAN del Ecuador S.A, con el consecuente mejoramiento ambiental.

3.4. Características del invernadero

La orientación del invernadero ubicado en la hacienda Pisangacho, está dada por su eje longitudinal de este a oeste, el mismo que a su vez tiene riego controlado por microaspersión cada 15 minutos y posee un termo higrómetro digital (simpla THO2) para conocer la temperatura, expresada en grados centígrados y humedad relativa expresada en porcentaje. La temperatura y humedad relativa promedio en el invernadero es de 25 °C y 45% de humedad.

3.5. Materiales, equipos y softwares

3.5.1. Materiales

- Libreta de campo
- Motosierra
- Podadora manual
- Jabas con tubetes para estacas
- Recipiente para recolección de estacas
- Estacas de *Eucalyptus globulus* Labill
- Sustrato a base de corteza de arboles
- Cascarilla de arroz
- Ácido Indol butírico (AIB) (hormona para enraizamiento)

3.5.2. Equipos

- Computadora
- Cámara fotográfica
- GPS
- Clinómetro digital

3.5.3. Softwares

- Microsoft Excel 2013
- Microsoft Word 2013
- ArcGIS 10.4
- InfoStat 2018

3.6. Metodología

3.6.1. Selección de los árboles candidatos

La empresa NOVOPAN lleva un registro de los árboles plus existentes en sus predios, en función de este trabajo previo se realizó la selección de los tres mejores individuos basándose en sus características fenotípicas en cuanto a: diámetro a la altura del pecho (DAP) tomado a 1.30 m del suelo, altura total, fuste recto, fuste cilíndrico y sin bifurcaciones, con una copa

uniforme y balaceada. Se realizó un registro de los datos dasométricas y se georreferenciaron, esto se muestra en la Tabla 2. Una vez obtenida la información, se procedió a cortarlos con el fin de estimular el crecimiento de rebrotes para posteriormente ser plantados; en un tiempo posterior de cuatro meses se obtuvieron ramas jóvenes y vigorosas.

Tabla 2.

Registro de datos dasométricas de los árboles candidatos

N° Árbol	DAP (cm)	Altura (m)	Coordenadas geográficas UTM	
			x	y
PI72	21,4	19,8	810069	446591
PI44	23,7	19	810184	446794
PI30	23,4	20	810903	446892

3.6.2. Diseño estadístico

Se utilizó un diseño estadístico en bloques al azar con arreglo factorial 3x3 (3 dosis de AIB x 3 mezclas de sustrato). Se obtuvo nueve tratamientos con tres repeticiones, cada una de ellas con un testigo, con un total de 30 unidades experimentales, cada unidad experimental formada por 48 individuos, con un total de 1 440 estacas, las mismas que fueron recolectadas y plantadas el mismo día. Se analizará las variables descartando el efecto borde, por lo que de las 49 estacas solo se evaluarían 25.

La metodología utilizada fue creada por la empresa NOVOPAN del Ecuador S.A, con el fin de encontrar un método ideal para la propagación clonal, la misma que se detalla a continuación.

3.6.3. Modelo estadístico

El modelo que se describe corresponde a un experimento bifactorial.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + u_{ij} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b,$$

Donde:

Y_{ij}: Representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor A y al nivel (j) del factor B.

μ: Efecto constante denominado media global.

τ_i : Efecto producido por el nivel i-ésimo del factor A, ($\sum_i \tau_i = 0$).

β_j : Efecto producido por el nivel j-ésimo del factor B, ($\sum_j \beta_j = 0$).

$(\tau\beta)_{ij}$: Efecto producido por la interacción entre A×B, ($\sum_i (\tau\beta)_{ij} = \sum_j (\tau\beta)_{ij} = 0$).

u_{ij} son v.a. independientes con distribución $N(0, \sigma)$.

3.6.4. *Tratamientos*

Se utilizó tres mezclas de sustratos:

- S1: 90% corteza + 10% cascarilla de arroz
- S2: 95% corteza + 5% cascarilla de arroz
- S3: 100% corteza

Estas mediciones se realizarán por porciones.

Se utilizó la hormona (AIB) ácido Indol butírico en tres diferentes dosis con talco industrial

- H1: 6000 ppm
- H2: 4000 ppm
- H3: 2000 ppm

Tabla 3.

Codificación de tratamientos

Tratamiento	Sustrato	Hormona	Código
T1	S1	H1	T1S1H1R1
T2	S1	H2	T2S1H2R1
T3	S1	H3	T3S1H3R1
T4	S2	H1	T4S2H1R1
T5	S2	H2	T5S2H2R1
T6	S2	H3	T6S2H3R1
T7	S3	H1	T7S3H1R1
T8	S3	H2	T8S3H2R1
T9	S3	H3	T9S3H3R1
TESTIGO	S0	H0	T10S0H0R1

3.6.5. *Recolección del material vegetativo*

En las primeras horas del día y con la ayuda de la podadora manual, desinfectada con alcohol metílico, se recolectaron los rebrotes, mismos que fueron sumergidos en agua con el fin de evitar su deshidratación, se cortaron secciones de 8-10 cm a lo largo de la rama para obtener las estacas, dejando dos pares de hojas verdaderas y seccionadas a la mitad para

disminuir las pérdidas de humedad por transpiración y evitar el contacto con las hojas de las otras estacas; durante la manipulación de las mismas se procuró rozar lo menos posible la superficie de las hojas para evitar eliminar la cubierta protectora de las ceras.

3.6.6. Preparación de hormona y sustrato

Para el uso del ácido Indol butírico (AIB) en el enraizamiento de las estacas se mezcló la hormona con talco industrial en tres diferentes cantidades, citadas anteriormente. Para obtener exactitud en la medición de la dosificación de AIB, estos datos fueron calculados según el peso, dicha preparación fue realizada en el laboratorio de la empresa NOVOPAN del Ecuador S.A.

El sustrato fue preparado mediante la mezcla de corteza de pino que normalmente es utilizada por dicha empresa y, cascarilla de arroz que es la que le aportará mayor aireación a las estacas. El sustrato se lo realizó de manera proporcional mediante el uso de palas rectas; por cada bloque se utilizaron 10 palas de sustrato, teniendo así una composición con un porcentaje de cascarilla de arroz del 10%, 5% y 0%.

Posteriormente se procedió a llenar los tubetes con los tres tipos de sustratos procurando que el mismo quede muy uniforme y favorezca la aireación dentro de este, se aplicó un fungicida sistémico (PREVICUR-N) para el control de hongos que pudiesen desarrollarse; la dosis recomendada fue de 1ml/ 1litro de agua. Cabe mencionar que este proceso se lo realizó como una práctica preventiva, mas no como parte de los tratamientos.

3.6.7. Plantación

Para la aplicación de la hormona a las estacas se utilizó el método de inmersión rápida, es decir, se sumergió la base de las estacas en la hormona y se procedió a sembrar directamente en el invernadero. Las estaquillas se plantaron teniendo precaución de manipular lo menos posible las hojas e intentando colocarlas en el centro del tubete, se procuró no introducir las a demasiada profundidad para descartar que las hojas toquen el sustrato y se doblen ya que esto podría ocasionar que el agua se acumule en esta zona y que pueda inducir al desarrollo de hongos; principalmente el desarrollo de *Botrytis cinérea*.

Una vez colocada la estaca en el sustrato se procuró presionar ligeramente para descartar la presencia de aire y asegurar un buen prendimiento.

3.6.8. Obtención de datos

Los datos se tomaron cada 15 días y las variables que se analizaron fueron: Supervivencia y sanidad (enraizamiento y mortalidad), expresadas en porcentaje, para ello se utilizó el método de la visualización directa, con un conteo total de las estacas. Para el caso de la Sanidad se utilizó el método de visualización directa, se logró obtener los datos en función de las características de las estacas, como son, el color y vigorosidad de las hojas y el tallo.

Para examinar el tiempo de enraizamiento se aplicó la observación directa a los orificios de los tubetes, donde se contabilizó la cantidad de estacas que lograron enraizar y, para analizar el número de raíces por estaca se aplicó el método destructivo. Esta etapa se llevó a cabo al final de la investigación, tomando un porcentaje de las 48 estacas existentes en cada unidad experimental.

3.6.9. Aplicación de fertilizante y fungicida

A partir del establecimiento de los bloques se llevó un riguroso control para evitar el ataque de hongos y vectores, así como ayudar al correcto prendimiento de estas.

A los ocho días de haber plantado las estacas se realizó la primera aplicación, con fungicidas de acción protectante ROBRAL y TB-LAQ 20 SL, para el control de enfermedades y un coadyuvante ADHERIL EFX para ayudar a fijar el producto; la dosis recomendada es de 1 ml/ 1 litro de agua, cada 15 días.

A los treinta días de la plantación se aplicó de manera diaria el fertilizante Raizal 400, para proveer de nutrientes a las estacas y estimular el crecimiento de raíces, dicha mezcla fue preparada con una conductividad de 1,5 la cual es controlada con un conductímetro.

3.6.10. Procesamiento de datos

Las variables cuantitativas que cumplieron con los supuestos paramétricos de normalidad y homocedasticidad se realizaron a través del ADEVA y posteriormente una prueba de significancia de Dunnett al 95%. Para las variables que no cumplieron con los supuestos paramétricos se aplicó una prueba de Friedman.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el cumplimiento del primer objetivo se analizaron los datos obtenidos y se pudo determinar lo siguiente:

4.1 Enraizamiento y mortalidad

Dado que el coeficiente de variación de la variable enraizamiento era muy alto se corrigió los valores nulos en función de una transformación de una raíz cuadrada y un Lamda (Ec. 2) que es lo recomendado para corregir este tipo de valores (Montgomery, 2004) una vez realizado este procedimiento se tiene un coeficiente de variación de 25,47% para enraizamiento, esta variable cumple con los supuestos de normalidad (Shapiro Wilks, p: 0,1852) y homogeneidad de varianzas (Levene, p: 0,3893) lo cual indica que se puede continuar con los cálculos del ADEVA, como lo muestra la Tabla 4.

$$Y_{ij}^* = \sqrt{Y_{ij}} \text{ o bien } Y_{ij}^* = \sqrt{Y_{ij} + \lambda} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

Y_{ij} : se refiere a datos de conteo, permitiendo suponer que Y tiene distribución de Poisson.

Siendo λ : 0, 1/2, 3/8, etc.

Tabla 4.

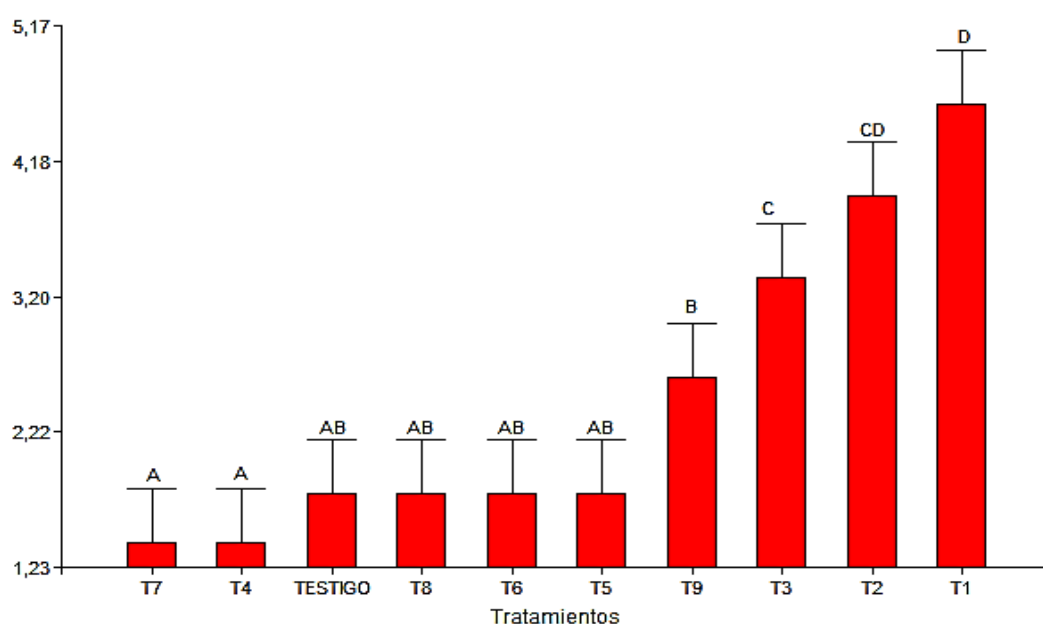
Análisis de varianza del enraizamiento de estacas de Eucalyptus globulus.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	34,95	9	3,88	8,44	<0.0001
Factor A	28,54	2	14,27	31,02	0,00000
Factor B	0,05	2	0,03	0,07	0,93706
Factor A*Factor B	4,87	4	1,22	2,65	0,06335
Test vs Resto	1,49	1	1,49	3,24	0,08700
Error	9,2	20	0,46		
Total	44,15	29			

Existen diferencias significativas entre los tratamientos, lo que quiere decir que de todos ellos al menos uno es diferente. Después de realizar la prueba de medias Dunnet se tiene que el T1 tuvo el mayor porcentaje de enraizamiento con un 19,4%, esto lo muestra el Gráfico 1, sin embargo, también se presentó un porcentaje de mortalidad del 100% en los T4 y T7, esto se detalla en el Gráfico 2. Según Oberschelp (2008) el porcentaje de sobrevivencia se atribuye principalmente al rejuvenecimiento de las plantas madre obtenidas por propagación vegetativa y tiene como consecuencia un aumento en la capacidad de enraizamiento.

Gráfico 1

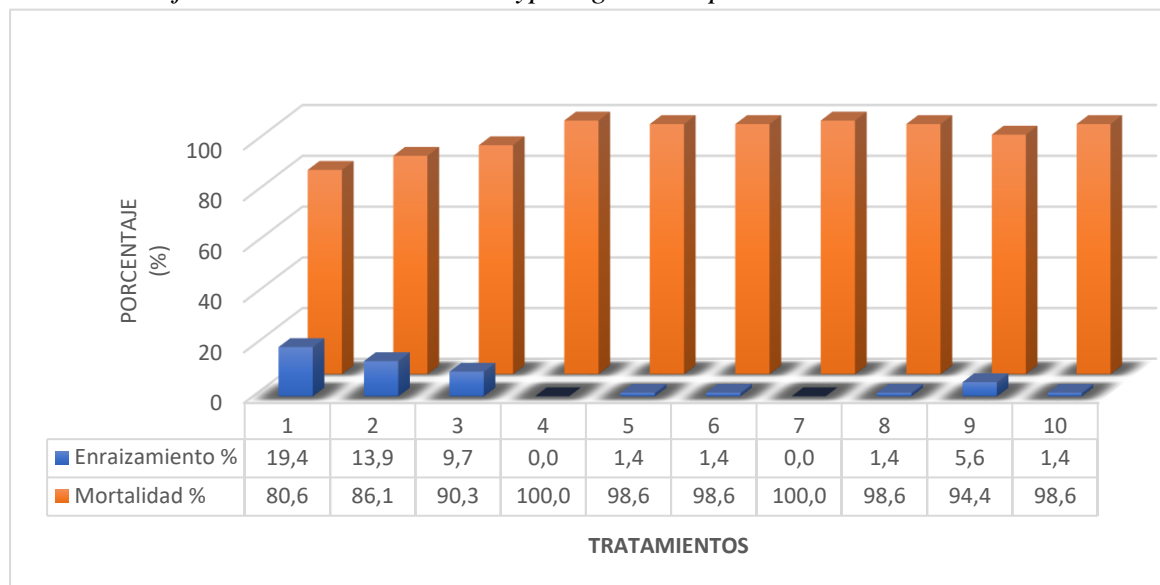
Enraizamiento de Eucalyptus globulus por tratamiento.



Bidwell (1998) menciona que “La falta de luz es un factor decisivo en la formación de raíces adventicias”. Una temperatura controlada de 23 a 27°C en la base y 18 a 21°C en la parte aérea, junto al uso de reguladores de crecimiento y una humedad alta pueden ayudar a que las estacas enraícen de 15 a 30 días, dependiendo de la especie (Hartmann, 1997). Lo mencionado por estos autores difiere con los resultados obtenidos en esta investigación dado que no hay suficiente evidencia estadística para considerar que los tratamientos y el testigo se comportan de manera diferente, tal como lo indica la Tabla 4.

Gráfico 2

Porcentaje de mortalidad del Eucalyptus globulus por tratamiento.



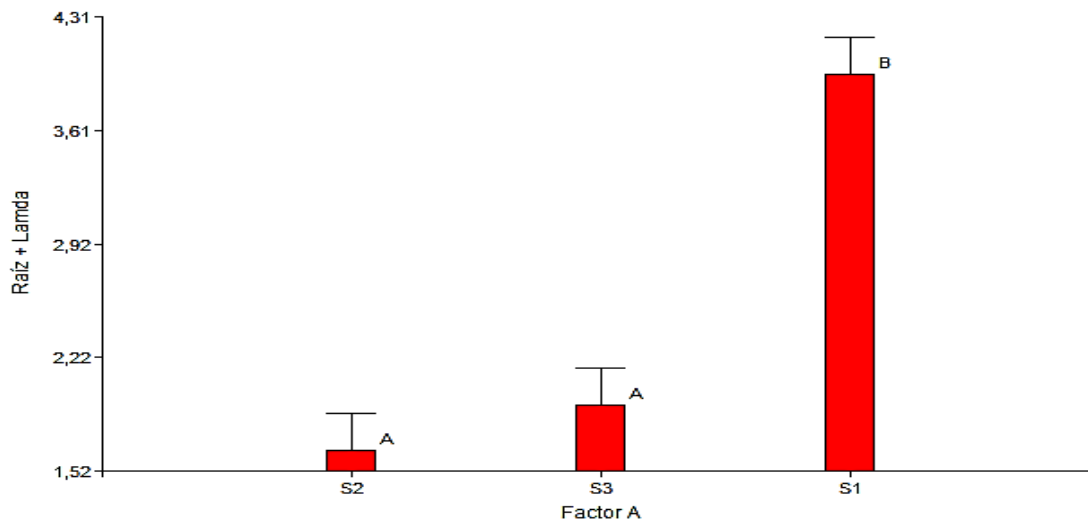
El Factor A (Sustrato) muestra que existen diferencias significativas, después de realizar la prueba de medias se obtuvo que el S1 tuvo más influencia que el S2 y S3 en el enraizamiento de las estacas, este sustrato estuvo formado por el porcentaje más alto de cascarilla de arroz, con un 10% y un 90% de corteza de pino, aportándole mayor aireación al sustrato, esto se puede verificar en el Gráfico 3.

La condición más importante que debe desempeñar un buen sustrato es la capacidad de retención de agua fácilmente disponible para la estaca y de la misma manera suficiente aireación (Hoover, 2008). Chong (2008) afirma que esta porosidad está relacionada con la disponibilidad de oxígeno necesario para la respiración de las raíces, así como con un adecuado intercambio gaseoso, removiendo el exceso del dióxido de carbono en el aire cercano a la rizosfera (Chong, 2008).

A diferencia del Factor B (hormona) donde no hay diferencias significativas, todas las hormonas se comportan de la misma manera.

Gráfico 3

Análisis de la prueba de medias para el Factor A



Soria y López (2014) quienes realizaron una investigación bajo invernadero, evaluaron la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* por enraizamiento de estaquillas. En pruebas realizadas con anterioridad, al usar dosis de Ácido Indol Butírico (IBA) no se logró una mejora en la tasa de enraizamiento en ninguno de los clones en producción.

Los autores mencionan “Se ensayaron concentraciones de IBA aplicado con talco industrial de 1 500 ppm hasta 9 000 ppm, con dosis por encima de 3 000 ppm se retrasaba considerablemente la brotación de las estaquillas”, por tal razón no utilizaron hormonas para mejorar el enraizamiento. Los datos obtenidos en esta investigación concuerdan con los reportados por estos autores dado que no existen diferencias significativas con ninguna de las dosis de AIB que se aplicaron.

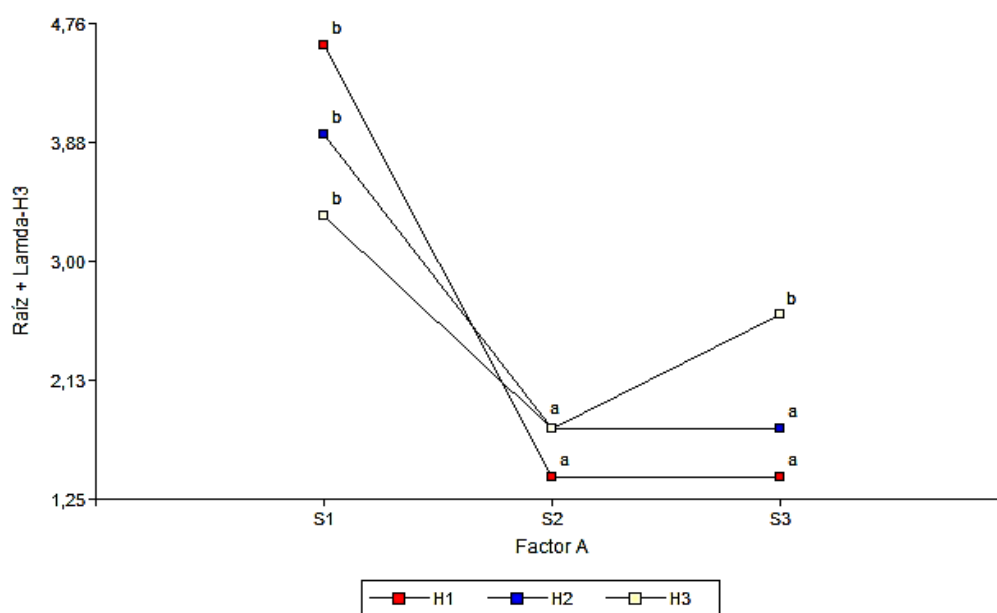
El p valor del Factor A * Factor B indica que, no hubo una interacción entre estos dos factores, sin embargo, se realizó un análisis con el fin de comprobar el comportamiento de estos. Se realizaron dos cálculos de interacciones, una con el Factor A como variable y el Factor B como partición, como lo muestra el Gráfico 4, y otra con el Factor B como variable y el Factor A como partición como se evidencia en el Gráfico 5, con el fin de determinar la influencia que tiene un factor en el otro, después de realizar la prueba de medias se tiene que:

En la primera interacción, cuando se utiliza la H1 el sustrato que mejor se comporta es el S1, el cual presenta diferencias significativas del S2 y S3; lo mismo sucede cuando se usa la H2, no existe diferencias significativas entre el S2 y S3 ya que estos tienen el mismo valor, cuando se usa la H3 el sustrato que mejor se comporta es el S1 nuevamente y el que menos porcentaje de enraizamiento tiene es el S2 con 1,41 y 1,77.

En el caso de las tres hormonas el sustrato que logra destacar es el S1, teniendo mejores resultados la H1 con un 4,6, seguido de la H2 con un 3,93 y finalmente la H3 con valor de 3,34.

Gráfico 4

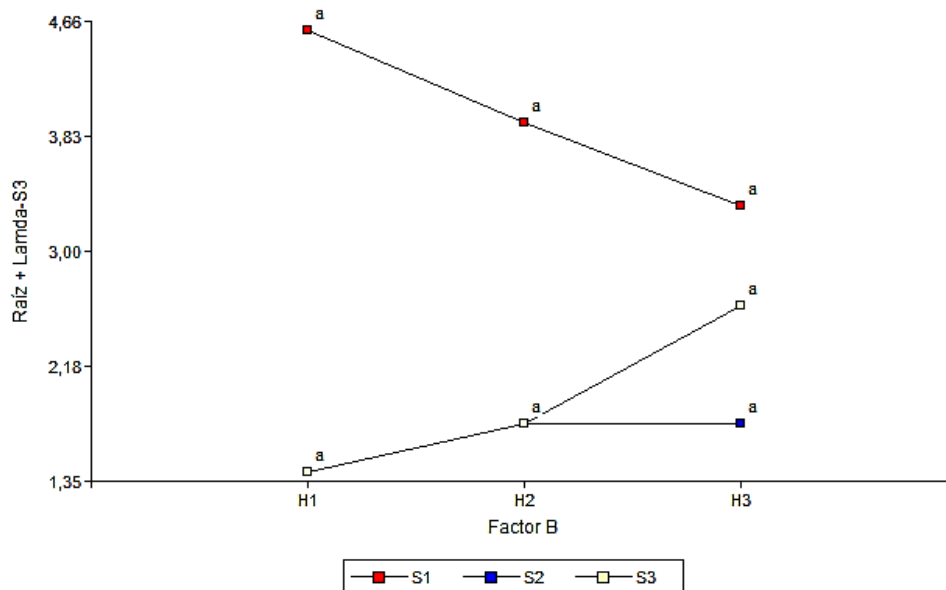
Análisis de la interacción entre el Factor A como variable y el Factor B como partición.



En la interacción dos, cuando se utiliza el S1, S2 o S3 no existen diferencias significativas con las tres dosis de hormonas, es decir, el Factor B (Hormona) se comporta de la misma manera al combinarlo con cualquiera de los sustratos. Sin embargo, los tres tipos de hormonas muestran mayor eficiencia cuando se los combina con el S1, confirmando nuevamente que los mejores resultados de enraizamiento se obtienen en la interacción del S1 con la H1.

Gráfico 5

Análisis de la interacción entre el Factor B como variable y el Factor A como partición.



Para el cumplimiento del segundo objetivo se examinaron los datos obtenidos y se presentan los siguientes resultados:

4.2 Sanidad

En la variable sanidad se evaluaron las estacas para ver su comportamiento y se determinó que estas tuvieron cambios en su coloración y vigorosidad durante las primeras semanas de evaluación, todas las estacas presentaron una marchitez en sus hojas durante el primer mes y a partir de la quinta semana las hojas volvieron a retomar su vigorosidad, esto se da por la pérdida de agua a través de las hojas y el cambio que sufre la estaca al separarlas de su proveedor natural quien le aporta agua y nutrientes. La marchitez dura hasta que la estaca logre adaptarse a su nuevo medio y empiece a tomar el agua y los nutrientes necesarios del sustrato en la que se las coloque (Vargas, 2019).

Algunas estacas presentaron una coloración marrón/rojiza en sus hojas durante las seis primeras semanas de evaluación, esto se da porque para poder sobrevivir la estaca toma los nutrientes de las hojas y los conduce hacia la parte basal, que es donde se realizará la formación de raíces, pero para ello es importante controlar la temperatura del ambiente, esto lo afirma Probert (1992) quien menciona “La temperatura del ambiente donde se mantienen en

observación las estacas, debe ser más baja que la temperatura del sustrato para evitar favorecer el desarrollo del follaje en lugar del de las raíces.”

Tabla 5.

Análisis de Friedman para coloración

Tratamientos	suma	media	n	
T1	10	3	3	A
T7	12	4	3	A
T9	13	4	3	A
T8	13	4	3	A
T3	14	4	3	A
T2	15	5	3	A
T6	15	5	3	A
TESTIGO	22	7	3	A
T5	23	7	3	A
T4	26	8	3	A

Se procedió a realizar un análisis de Friedman para determinar si existieron diferencias entre los tratamientos, para el caso de la coloración en las hojas se determinó que no existen diferencias significativas ya que se obtuvo un p-valor de 0,2757, esto se detalla en la Tabla 5. Para el caso de la marchitez en las hojas se obtuvo un p-valor de 0,1618 lo que significa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, esto se especifica en la Tabla 6.

Tabla 6.

Análisis de Friedman para marchitez.

Tratamientos	suma	media	n		
T6	6	2	3	A	
TESTIGO	12	4	3	A	B
T9	13	4	3	A	B
T5	15	5	3	A	B
T7	16	5	3	A	B
T8	16	5	3	A	B
T2	18	6	3	A	B
T1	23	8	3	A	B
T3	23	8	3	A	B
T4	25	8	3		B

Se previno al 100% la muerte de las estacas por ataque de plagas y hongos, ya que esto fue controlado con la ayuda de fertilizantes y fungicidas. Al finalizar la evaluación todos los individuos perdieron sus hojas y de las 39 estacas enraizadas el 100% lograron desarrollar brotes.

4.3 Tiempo de enraizamiento

Para conocer el tiempo de enraizamiento de las estacas se hizo una observación directa a los orificios del tubete para confirmar la presencia de raíces, la mayoría de los tratamientos enraizaron en la semana 10 siendo el tratamiento uno y tres los que presentaron mayor cantidad de individuos enraizados con un total de cuatro estacas cada tratamiento, la mayor cantidad de enraizamiento se presentó en la semana 12 donde destacaron los tratamiento uno y dos con un total de siete estacas cada tratamiento, sin embargo a partir de la semana 14 se muestra una decadencia en la cantidad de estacas enraizadas, se finalizó con un enraizamiento de un solo individuo perteneciente al tratamiento 1, esto se detalla en el Grafico 6.

Se puede determinar que la interacción entre la H1 y S1 ayudaron a acelerar el desarrollo de raíces dado que es el único tratamiento que presenta enraizamiento durante todas las semanas de evaluación y en cada una de ellas se destaca como uno de los tratamientos con más cantidad de individuos enraizados, con esto se confirma que el T1 es el mejor tratamiento para incentivar el enraizamiento en estacas de *Eucalyptus globulus*.

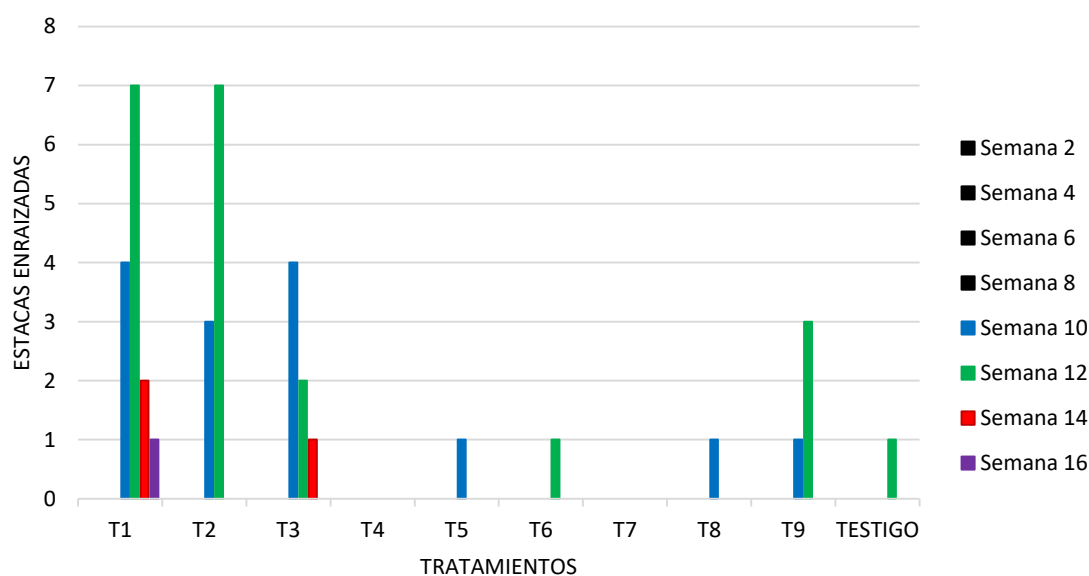
Valverde (2012) en su investigación “Enraizamiento de estacas de especies forestales”, menciona que en una investigación previa se obtuvo un aumento significativo en la sobrevivencia y enraizamiento al aplicar a las estacas un enraizador para estimular el crecimiento de raíces, el mismo que fue aplicado a los ocho y 15 días después de haber realizado la siembra de las mismas y se obtuvieron resultados favorables a la tercera y cuarta semana, dicha investigación fue realizada bajo invernadero con condiciones controladas y manejo fitosanitario.

Dichos resultados no coinciden con la presente investigación dado que se aplicó un estimulante (enraizador) diariamente a partir del primer mes de plantadas las estacas y los primeros resultados se observaron a la décima semana de haber realizado la plantación.

Esto coincide con lo mencionado por Griffin (2011) quien indica que en comparación a otras especies del género *Eucalyptus* en regiones tropicales húmedas, la proporción de individuos de *Eucalyptus globulus* con elevada capacidad de enraizamiento es considerablemente baja. Ruter (2008) menciona “En general los esquejes foliares enraízan en unas tres semanas, mientras que los leñosos y semi leñosos tardan hasta cinco meses”

Gráfico 6

Tiempo de enraizamiento de las estacas de Eucalyptus globulus en número de semanas.



4.4 Numero de raíces por estaca

Para evaluar el número de raíces por estaca se aplicó el método destructivo una vez finalizada la evaluación y se determinó que todas las estacas que lograron enraizar no presentaron raíces secundarias por lo que no se realizó el análisis de varianza dado que los tratamientos influyeron en la formación de raíces más no en la cantidad de estas.

Los resultados obtenidos para esta variable coinciden con los presentados por Navarrete (2007) quien realizó un estudio bajo invernadero con ambiente semicontrolado (temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa). Con el propósito de desarrollar una técnica de propagación asexual de *Eucalyptus camaldulensis*, mediante el uso de rebrotes, se establecieron dos ensayos en diferentes lapsos de tiempo, para evaluar el efecto de la dosis de AIB y la capacidad de enraizado de las estacas. De acuerdo con los datos obtenidos, no se encontró un efecto significativo de la dosis de AIB en el porcentaje de estacas enraizadas.

Además, se encontraron diferencias significativas entre los clones en el porcentaje de estacas enraizadas y estacas que formaron callo, así como en la longitud de raíz, aunque no en el número de raíces formadas.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las dosis de hormona Ácido Indol Butírico no influyeron en el enraizamiento de las estacas de *Eucalyptus globulus*.

La interacción que tuvo mayor efectividad en el enraizamiento de estacas de *Eucalyptus globulus* es la del T1, formada por un 10% de cascarilla de arroz y un 90% de corteza de pino, en conjunto con la hormona AIB en una dosis de 6 000 ppm.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda experimentar en los métodos de propagación clonal de *Eucalyptus globulus* con dosis de AIB mayores a 6 000 ppm. Esta fue la hormona que presentó mejores resultados en la presente investigación y las dosis menores no tuvieron resultados favorables. Lo mismo ocurrió con el sustrato, se descarta el uso de dosis menores al 10% de cascarilla de arroz dado que no favorecen al enraizamiento de las estacas.

Es recomendable tener en cuenta que la necesidad de contar con material vegetal rejuvenecido y una serie de equipos e instrumentos esenciales que ayudarán al enraizamiento de estacas, para lograr así, la propagación clonal.

Existen amplios conocimientos sobre los aspectos fisiológicos del proceso y aplicación de técnicas para asegurar un buen futuro al desarrollo de la propagación vegetativa de especies arbóreas de interés económico. La información existente referente a *Eucalyptus Globulus* Labill es escasa, por ello es recomendable continuar estudiando esta especie, así como dedicarle más tiempo a la evaluación del enraizamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfenas, A. (2017). Pasantía Forestal Internacional. *Revista N°436. Revista N°436.*, 70-71.
- Allard, R. (1967). Principios de la mejora genética de las plantas. Barcelona: Omega ES. .
- Arango, B., y Tamaño, L. (2008). Densidad de la madera en clones de *Eucalyptus* por densitometría de rayos X. *Universidad Pontificia Bolivariana*, 126.
- Asamblea Nacional. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito: LEXIS FINDER.
- Assis. (2001). *Evolucion de tecnologias para la clonacion de Eucalipto a gran escala*. Chile: IUFRO.
- Assis, F., y Rodríguez, F. (2014). Mejoramiento Genético de Eucaliptos en Chile. En *La propagación vegetativa de eucaliptos en Chile* (págs. 125-146). Chile: INFOR - FIA.
- Azcón, J. (2000). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Barcelona : Universidad de Barcelona.
- Balmelli, G. (2011). *Ensayos de origenes de Eucalyptus globulus*. Uruguay: INIA.
- Bentham, G. (1867). *Flora Australiensis. Londres Reeve Vol. 1*, 20.
- Bidwell, R. (1998). *Fisiología vegetal*. México: AGT Editor.
- Borrvalho, N. M., y Wilson, P. J. (1994). *Inheritance of initial survival and rooting ability in Eucalyptus globulus Labill*. *Silvae Genetica* 43 p: 238-242.
- Brown, A., y Hall, N. (1968). *Cultivo de árboles en granjas australianas*. Canberra: Impresora del Gobierno.

- Buitrón, R. (8 de Julio de 2001). *Ecuador: plantaciones de eucaliptos*. Obtenido de Movimiento Mundial por los Bosque Tropicales: <https://wrm.org.uy>
- Campinhos, E. (2004). Nueva tecnica para propagacion de eucalipto. Aveiro, Portugal.
- Castro, D., Díaz, G., y Linero, J. (2002). Estrategias de trabajo para la multiplicación clonal in vitro de árboles adultos. Rionegro: Universidad Católica de Oriente.
- Cevallos, E., Gualpa, M., Rosero, S., y Samaniego, M. (2016). *Caracterización edáfica y dasométrica de una plantación de Eucalyptus globulus Labill y propuesta de manejo en la zona estepa espinosa Montano Bajo, Riobamba, Ecuador*. Quito: Creative Commons.
- Chong, C. (2008). *Physical properties and other factors to consider when selecting propagation media*, en: Beyl, R., y Trigiano, R., (eds.), *Plant propagation*. USA: CRC Press.
- CONAF. (1998). Experiencia Silvicultural del Bosque Nativo de Chile. Recopilación de Antecedentes para 57 Especies Arbóreas y Evaluación de Prácticas Silviculturales. En GTZ, *Proyecto Manejo Sustentable del Bosque Nativo* (pág. p.420). Santiago, Chile: Editorial Publicaciones Lo Castillo.
- Condo, L., y Pazmiño, J. (2015). Aspectos ambientales referentes al establecimiento de plantaciones de eucalipto de gran escala en áreas tropicales. *Growth and Development of plants in Culture*, 298-234.
- Cornide, M. T. (2001). La genetica vegetal, el mejoramiento y la sociedad. *Cultivos Tropicales*, vol. 22, núm. 3. pp.73-82.

- Costa, I., Dutkowski, G., y Borralho, N. (2005). Parámetros genéticos para el rasgo de enraizamiento de *Eucalyptus globulus*. Barnes RD: IUFRO.
- Dole, J. M., y Gibson, J. L. (2006). A Guide to Propagating and Producing Floriculture Crops. First Edition. En *Cutting Propagation* (pág. 385p). Batavia Illinois: Ball Publishing.
- Donoso, P., González, M., Escobar, B., Basso, I., y Otero. (1999). Viverización y plantación. En *En Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile*. Chile: A. Lara y C. Donoso.
- Ecuador Forestal. (03 de octubre de 2011). *NOVOPAN del Ecuador S.A. Los tableros MDP son su carta de presentación*. Obtenido de ecuadorforestal.org: <https://ecuadorforestal.org>
- ECUADOR FORESTAL, E. (23 de Julio de 2013). *Ecuador Forestal*. Obtenido de Ficha Técnica No. 15 *Eucalyptus globulus* Labill: <https://ecuadorforestal.org>
- England, N. (2007). Tree improvement and cuttings propagation of *Eucalyptus globulus* at Albany Forestry Research Centre. *The Australasian Forest Genetics Conference* (págs. Pp: 237-238.). Australia: Proceedings CRCTHF-IUFRO Conference.
- Fierro, A. (2017). *Manual de propagación de plantas superiores*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Frangi, J., Goya, J., Luy, A., y Arturi, M. (2013). Contenido de nutrientes en las raíces finas y el mantillo de rodales de *Eucalyptus grandis*. En C. Pérez. Argentina: CONAF.
- Fresquet, J. L. (1995). *Eucalyptus globulus* y Medicina. *Revista de Estudios Históricos de las Ciencias Médicas*, 23.

Gardner, J. (2000). Principles of genetics. México: Limusa Wiley.

Golfin, F., y Baso, C. (2007). Caracterización de la madera de *Eucalyptus globulus* para uso estructural. *Centro de Investigación Forestal. INIA.*, p:98.

Griffin, A. R. (2011). *Clonal forestry Ð Is it always the best deployment option? En: Proceedings IUFRO Conference, 14-18 Noviembre 2011.* Brasil: Porto Seguro, Brasil. p: 58.

Gutiérrez, B., y Chung, P. (2002). *Propagacion vegetativa y silvicultura clonal en Eucalipto.* Colombia: División Silvicultura INFOR.

Harrand, L. (2006). Oportunidades y limitaciones en el mejoramiento genético de *Eucalyptus grandis*. *EEA INTA Concordia*, p: 5-6.

Hartmann. (1997). *Plant propagation: principles and practices, 6th ed.* EUA: Prentice Hall.

Hartmann, H. T., Kester, D., Davies, F. T., y Geneve, R. L. (2002). Principles and practices. Seventh Edition. En *Plant propagation*. New Jersey : Prentice Hall. p: 880

Hoover, E. (2008). *Environmental factors affecting seed germination, en: Beyl, A., y Trigano, N., (eds.), Plant propagation concepts and laboratory exercises.* EUA: CRC Press.

Inventario Forestal Nacional. (2010). *Global Eucalyptus Map*. Obtenido de http://git-forestry.com/download_git_eucalyptus_map.htm: <https://archivo-es.greenpeace.org>

Inglaterra, N. (14 de Abril de 2007). *Mejora de arboles y propagacion de Eucalipto*. Obtenido de <http://proceedings.com>

- Ipinza, R. (1998). *Análisis genético de algunas variables dasométricas y sanitarias en ensayos de progenie y procedencias de Eucalyptus spp.* INFOR.
- Juárez, S., y Francisco Velásquez, R. L. (2014). Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz, México. En *Madera y Bosques*, vol. 20 (págs. pp. 85-96). Xalapa, Mexico: ISSN: 1405-0471.
- Koichi, Y., y Daniel, M. (1997). Manual de propagación por esquejes en floricultura. CETEC HO-JICA.
- Laclau, J., J, A., Alves, J., Saint-André, L., Ventura, M., Ranger, J., Nouvellon, Y. (2009). Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf life and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. *Improvement and Silviculture*, p: 111-124.
- López, G. (2010). Técnicas de propagacion vegetativa de *Eucalyotus globulus*. Ethiopia: Addis Ababa.
- MAE, (23 de Julio de 2013). *Ficha Técnica No. 15 Eucalyptus globulus Labill.* Obtenido de ecuadorforestal.org: <https://ecuadorforestal.org>
- MAG. (12 de agosto de 2020). *Ministerio de Agricultura y Ganaderia* . Obtenido de [agricultura.gob.ec](https://www.agricultura.gob.ec): <https://www.agricultura.gob.ec>
- Majada, J. P., Lopez, G. A., y Neves, L. (2012). *Eucalyptus globulus Labill.* En M. d. Ciencia, *Producción y manejo de semillas y plantas forestales* (págs. 462-491). Madrid: INIA.

- Martinez, A. (1999). *Silvicultura práctica en renovales puros y mixtos y, bosques remanentes originales del tipo forestal*. Chile: A. Lara y C. Donoso.
- Molina, M., y Pinilla, J. (2007). *Avances en la estrategia de mejoramiento genético para especies del género Acacia en la zona Centro Sur de Chile*. Chile: EMBRAPA.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos 2a. Ed.*. México D.F: Limusa Wiley.
- Navarro, R. (2012). Producción y manejo de semillas y plantas forestales. En *Eucalyptus globulus Labill* (págs. 462-465). Madrid, Spain: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- PDOT. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento de la Parroquia San Blas*. Ibarra: Prefectura de Imbabura.
- PDOT, G. M. (2014). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial San Miguel de Urquí.*. Ibarra: GAD Municipal de Urquí.
- Poehlman, J. M. (2003). *Mejoramiento Genético de las Cosechas*. Editorial LIMUSA.
- Prieto, J. (2004). Factores que influyen en la producción de plantas en vivero y en su establecimiento en campo. *Universidad Autónoma de Nuevo León*, p:110.
- Probert, J. (1992). *The role of temperature in germination ecophysiology*. U.K: Cab International.

- Quinto, H. M. (2016). Biomasa de Raíces Finas y Fertilidad del Suelo en Bosques Pluviales Tropicales del Pacífico Colombiano. *Universidad de Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales*, 53-66.
- Quiñones, J. R. (2015). Reproducción asexual o multiplicación vegetativa artificial: Ingerito. En *Guía de técnica, métodos y procedimiento de reproducción asexual o vegetativa de las plantas* (págs. 20-30). República Dominicana: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Ambiental (CEDAF).
- Quiroz, I. (2001). *Tratamientos intermedios y Técnicas de Manejo*. INFOR/Gob.Regional X/DED/Instituto de Educación Rural.
- Quispe Santos, A., y Ramos, A. (2018). *Técnicas de rejuvenecimiento en árboles clonales de eucalipto urograndis (Eucalyptus grandis x E. urophylla) en Palca Tarma – Junín*. Ambato: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Quispe, A. (2016). *Desarrollo de un prototipo productivo clonal – PPC, para incrementar la productividad y calidad de las plantaciones de eucalipto y su posterior comercialización a los viveros forestales tecnificados del Perú*. Perú: CATIE.
- Ramos, A., y Domínguez, G. (2016). Selección de árboles de bolaina blanca (Guazuma crinita Mart.) provenientes de árboles candidatos a árboles “plus” para ensayos de rejuvenecimiento y brotación. *Ecología Aplicada*, 131-175.
- Rezende, G. (2009). Clonal forestry of Eucalyptus: Europe and South America. En *Vegetative propagation and deployment of varieties – the scope for Europe* (págs. 21-23). UK: Liverpool.

- Rizzo, P. (5 de octubre de 2009). *Ecuador Forestal*. Obtenido de ecuadorforestal.org:
<https://ecuadorforestal.org>
- Robles, M. (2011). *Aprovechamiento de Recursos Forestales del Ecuador*. Quito: OIMT.
- Ruiz, R. (2005). Efecto del Ácido Indol Butírico y tipo de estacas en el enraizado de *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 320-326.
- Ruter, J. (2008). *Cloning plants by rooting stem cuttings*, en: Beyl, A., y Trigano, N. (eds.), *Plant propagation concepts and laboratory exercises*. EUA: CRC Press.
- Santillán, S. (noviembre de 2019). *Mundo Constructor*. Obtenido de <https://www.mundoconstructor.com.ec>: <https://www.mundoconstructor.com.ec>
- Sarmiento, J., y Torres, N. (2011). *Propuesta participativa para repoblación forestal en el caton Urcuquí..* Ibarra.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional del Buen Vivir 2017-2021*. Quito, Ecuador.
- SENPLADES. (19 de Junio de 2018). Plan de Desarrollo Nacional 2017-2021. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de Juan León Mera N.º 1936 y Patria, Edif. Senplades.
- Sisaro, D., y Hagiwara, J. C. (2016). *Propagación vegetativa por medi de estacas de tallo*. Hurlingham, Buenos Aires: INTA.
- Skolmen, R., y Ledig, T. (2010). *Eucalyptus globulus Labill-Eucalipto goma azul*. Chicago: Servicio Forestal USDA.

Solis, M. A. (1979). *El Eucapipto en el Ecuador*. Quito: ECUADOR.

Tamarin, R. (2015). *Principios de Genética*. Cuarta Edición. Barcelona: Editorial Reverté.

Valverde. (2012). Enraizamiento de estacas de especies forestales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 59–64.

Vargas, G. (2019). Biomecánica de los árboles. En *Crecimiento, anatomía y morfología* (págs. 115-124). Xalapa: Madera bosques vol.25 no.3.

Vega, A. M. (2017). *Manejo y mantenimiento de invernaderos*. España: Mundiprensa.

Vita, A. (1996). Tratamientos Silviculturales. En E. d. Forestales, *Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales*. Chile: Universidad de Chile.

Wendling, I. (2013). Silvicultura clonal. Principios y Técnicas 2 Ed. *Universidad Federal de Vicosá*, 297.

Wilson, P. (1993). *Propagation characteristics of Eucalyptus globulus Labill, ssp. globulus stem cuttings in relation to their original position in the parent shoot*. *Journal of Horticultural Science* 68(5): 715-724.

ANEXOS

Anexo 1: Selección y tala de árboles candidatos



Anexo 2: Recolección del material vegetativo



Anexo 3: Preparación del sustrato y hormona.



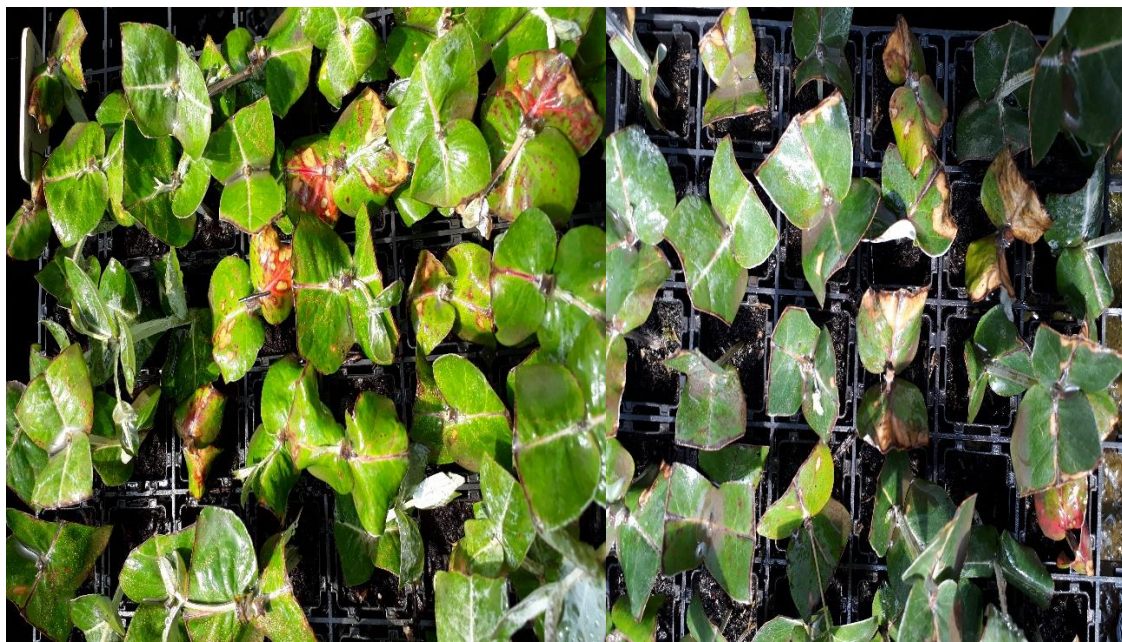
Anexo 4: Plantación y ubicación de las estacas en el invernadero.



Anexo 5: Fertilizantes y fungicidas sistémicos aplicados durante la investigación.



Anexo 6: Coloración marrón/rojiza en las hojas de las estacas



Anexo 7: Marchitez de las estacas.



Anexo 8: Rebrotos en las estacas enraizadas.

