



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y GESTIÓN

Tema:

**Establecimiento de plántulas y estacas de *Clusia flaviflora* sembradas
en una plantación de pinos al sur del Ecuador**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título:

Biólogo con mención en Ecología y Gestión.

Autor:

Santiago Sebastian Bonilla Chumbi

Director:

Antonio Crespo Ampudia Ph.D.

Cuenca – Ecuador

2023

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a todas esas personas que me apoyaron de alguna u otra manera a llegar donde estoy, en especial a mi familia quienes han sido mi soporte durante toda mi vida y me han enseñado a luchar por mis sueños y nunca rendirme. A mi niño interior que desde pequeño tuvo una gran fascinación por la naturaleza y por la vida y que soñaba con ser un gran científico algún día.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres Marina y Hernán por apoyarme en toda mi vida y en especial en mi etapa universitaria, gracias por enseñarme que con esfuerzo puedo lograr todo lo que me proponga.

Agradezco también a mis hermanos Paul y Gabriela, por ser un apoyo incondicional y ser personas en las que siempre puedo confiar.

A mi Pamela Andrade por acompañarme y ayudarme en todo este proceso, siempre darme ánimos para no rendirme y alegrarme la vida.

A mis compañeros de titulación: Eva Guim, Vanessa Moscoso, Thalía Ulloa y Valentino Jiménez, por hacer de todo este proceso una experiencia inolvidable y por apoyarnos unos a los otros siempre.

Agradezco de manera especial a mis profesores: Antonio Crespo, David Siddons y Danilo Minga por apoyarme a lo largo de todo este proyecto y ser una guía en todo momento.

Finalmente agradezco a todos mis amigos que formaron parte de mi época universitaria, gracias por regalarme momentos increíbles que recordaré para toda mi vida.

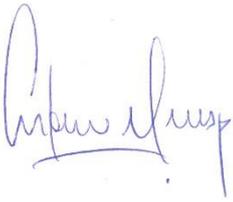
ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2 –MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
2.1. Área de estudio.....	4
2.2 Diseño experimental.....	5
2.3 Recopilación de datos.....	6
2.4 Análisis estadístico.....	7
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS.....	8
3.1 Condiciones micro climáticas durante el período de estudio.....	8
3.2 Supervivencia.....	8
3.3 Crecimiento.....	9
3.3.1. Comparación de los diámetros basales entre tratamientos.....	9
3.3.2 Crecimiento diametral plántulas.....	10
3.3.3 Crecimiento vertical de plántulas.....	11
3.4 Cambio en el número de hojas inicial y final del tratamiento con plántulas.....	12
3.5 Influencia del raleo y acícula en el crecimiento de las plántulas.....	12
CAPÍTULO 4 - DISCUSIÓN.....	13
CONCLUSIONES.....	15
REFERENCIAS.....	17
ANEXOS.....	21

RESUMEN

El presente estudio busca formas de recuperar la biodiversidad nativa y la productividad en las plantaciones de pino al sur del Ecuador, a través de siembras experimentales del árbol nativo *Clusia flaviflora* en la Estación Científica El Gullán, en el cantón Nabón. Para este estudio se usó parcelas experimentales dentro de una plantación de pino y se realizó una comparación entre los resultados de supervivencia y crecimiento de una siembra con plántulas y una siembra con estacas con y sin hojas durante un período de 20 semanas. Como resultados se obtuvo una supervivencia del 100 % en el tratamiento con plántulas y una menor al 6% en el caso de las estacas. Este estudio demuestra que la utilización de estacas no es viable para esta especie, al contrario de las plántulas, cuya supervivencia y crecimiento evidencian que son buenas candidatas para incrementar la biodiversidad dentro de los bosques de pino.

Palabras Clave: Restauración, pino, *Clusia flaviflora*, estacas, plántulas.



Antonio Crespo Ampudia Ph.D.
Director del trabajo de titulación



Antonio Crespo Ampudia Ph.D.
Coordinador de Escuela



Santiago Sebastian Bonilla Chumbi
Autor

ABSTRACT

This study focuses on the recovery of native biodiversity and the productivity of pine plantations in southern Ecuador. We set up experimental enrichment planting with the native tree *Clusia flaviflora* at El Gullán Research Station within a plant pine plantation that was thinned by 25%. We analyzed the survival and growth responses of planted seedlings and live stakes with and without leaves for 20 weeks. Planted seedlings had a 100 % survival rate during the experiment while in live stake, rates were below 6%. This study shows that the use of stakes is not viable for this species, contrary to seedlings, whose survival and growth show they are good candidates to increase biodiversity within pine forests.

Keywords: Restoration, pine, *Clusia flaviflora*, live stakes, seedlings



Antonio Crespo Ampudia Ph.D.

Degree Advisor



Antonio Crespo Ampudia Ph.D.

Faculty Coordinator



Santiago Sebastian Bonilla Chumbi

Author



Establecimiento de plántulas y estacas de *Clusia flaviflora* sembradas en una plantación de pinos al sur del Ecuador

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

Los bosques montanos tropicales representan uno de los ecosistemas más diversos del mundo, así como uno de los más frágiles. El incremento de la población y la necesidad por recursos ha disminuido la extensión del bosque montano continuamente provocando una pérdida de biodiversidad y fragmentación de hábitats (Tilman *et al.* 2001; Bussmann, 2005). Hace aproximadamente 20 años, se introdujeron especies exóticas como *Pinus patula* en la zona centro sur del Ecuador con el objetivo de dar alternativas de uso industrial de la madera, producción de papel y control de erosión (Parrotta, 1992; Ansaloni y Chacón, 2003). No obstante, algunas plantaciones fueron abandonadas por sus dueños, agravando los impactos negativos respecto al agua y suelo, desplazando y eliminando especies nativas y generando problemas de rendimiento de volumen debido a la baja calidad de la madera (Bueno y Baruch, 2011; Gutiérrez *et al.* 2013; Mas *et al.* 2004). Sin embargo, con un manejo sustentable y bien planificado de las plantaciones de pinos, se podrían obtener ganancias en madera y en biodiversidad por igual (Pignatti *et al.*, 2020). Para lograr esta meta social y ecológica, la ciencia y práctica de la restauración podrían ser fundamentales. A lo largo de varias zonas tropicales ha habido experiencias que demuestran el potencial de la restauración para revertir la degradación de los sistemas naturales, recuperar la biodiversidad y los servicios ambientales, combatir los efectos negativos del cambio climático y complementar estrategias de manejo del paisaje para la sostenibilidad de la vida en la tierra (Clewel y Aronson, 2013; Crespo y Inga, 2020; Brancalion y Chazdon, 2017).

La siembra de plántulas es una de las técnicas más utilizadas al momento de realizar un proceso de restauración, ya que ayudan a establecer de manera rápida la cubierta arbórea (Chazdon, 2008; Holl *et al.*, 2010). Sin embargo, obtener plántulas de un tamaño apto para la siembra puede demorar varios meses. Por el contrario, el uso de material vegetativo, como las estacas, permite obtener un gran número de ejemplares de tallas mayores en menos tiempo (Sen y Rajput 2002, Ceccon, 2013). Esta técnica de revegetación ha sido poco explorada en el contexto de la ciencia de la restauración. Según Rojas *et al.* (2004) el enraizamiento se puede obtener de madera dura, en especial de

aquellas ramas de uno o más años de edad, así se garantiza un prendimiento mayor, incluso se puede utilizar productos hormonales. Zahawi y Holl (2009) realizaron un estudio en el cual comparan el desempeño de estacas y plántulas de 10 especies en Costa Rica, entre ellas *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium*, *Erythrina poeppigiana*, *E. berteroana*, *Ficus pertusa* y *Acnistus arborescens*, entre otras, para restaurar pastos tropicales abandonados. Las estacas desarrollan una mayor biomasa, tanto aérea como subterránea, en un menor tiempo. De igual manera el costo logístico se reduce de manera significativa en comparación con las plántulas (Polania, 2017).

Los árboles del género *Clusia* son propios de bosques tropicales montanos y premontanos y bosques tropicales montanos bajos. Poseen follaje de color verde oscuro, hojas carnosas con borde entero y opuestas, flores carnosas con estigma pegajoso y un fruto encapsulado con varias semillas (Salamanca - Grosso et al., 2014). El género *Clusia* es propicio para la conservación ex-situ ya que la propagación por semillas o cortes de tejido, al igual que su cultivo son relativamente fáciles en la mayoría de las especies. Sin embargo, la experiencia con el cultivo de *Clusiaceae* ecuatorianas es insuficiente debido a que son taxonómicamente poco conocidas y por esta razón resulta difícil estimar el número de especies que existen en el país y tampoco se sabe si algunas de ellas se encuentran amenazadas. (León-Yáñez et al., 2019).

La *Clusia flaviflora* es una especie arbórea nativa con poblaciones naturales en la Estación Científica el Gullán. Es un árbol que se distribuye a lo largo de la sierra ecuatoriana, se lo puede encontrar también en Colombia y Perú, su principal hábitat es el bosque nublado y crece en un rango altitudinal de entre 1500 msnm hasta los 3500 msnm. Pueden llegar a medir más de 6m de altura, presentan hojas verdes lustrosas en el haz y verde amarillentas en el envés y borde. Con botones florales. Actualmente no está registrada como una especie amenazada, pero el cambio climático y sobre todo la destrucción del hábitat puede estar afectando a esta especie (Jardín Botánico de Quito, 2015; Herbario Azuay, sf). No existe mucha información sobre propagación o siembra en el campo acerca de esta especie, por esta razón esta investigación es pionera en su tipo y nos brinda más conocimiento sobre prácticas de restauración utilizando la *Clusia flaviflora* y en especial dentro de plantaciones de pino.

Este estudio se enfocó en analizar las respuestas en la supervivencia y el crecimiento de estacas y plántulas de *Clusia flaviflora* sembradas en una plantación de pino y de esta

manera dar pautas sobre cómo se podrían aplicar estos resultados en un contexto de un manejo sustentable del pino en el Ecuador. Se aplicaron tres tratamientos experimentales: una siembra mediante plántulas, una siembra mediante estacas con hojas y una siembra mediante estacas sin hojas. Las preguntas abordadas en este estudio fueron: (a) ¿Cómo varía la supervivencia y el crecimiento entre la siembra de plántulas y de estacas de la especie *Clusia flaviflora* en una plantación de pino con un 25% de raleo? (b) ¿Cómo varía el crecimiento y supervivencia de las estacas de *Clusia flaviflora* sembradas con y sin hojas? (c) ¿Qué diferencias existen en la supervivencia y crecimiento entre plántulas y estacas de *Clusia flaviflora* sembradas en distintas condiciones de luz?

CAPÍTULO 2 –MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la Estación Científica El Gullán perteneciente a la Universidad del Azuay. La misma se encuentra en la parroquia Las Nieves del cantón Nabón de la provincia del Azuay al sureste del Ecuador ($3^{\circ}20'59.4''S$, $79^{\circ}09'53.4''O$). Posee un rango altitudinal que va desde 2650 a 3000 msnm. La estación científica tiene un área de 136 hectáreas y posee una plantación de pino; su ecosistema predominante es el matorral húmedo montano, entre los tipos de vegetación predominante se encuentran pastizales, pastos, matorrales nativos y plantaciones de pino. Entre las especies más representativas se encuentran: *Brachyotum confertum*, *Clusia flaviflora*, *Oreocallis grandiflora*, *Epidendrum secundum*, *Passiflora cumbalensis*, entre otras (Ríos, 2021). Las temperaturas oscilan entre 7 y 18 ° C durante el día. La precipitación media anual del área de estudio tiene un promedio de 550 mm. Los tratamientos de siembra se establecieron en el mes de mayo, correspondiente al período húmedo con mayor precipitación. Actualmente, la Universidad del Azuay vendió algunos árboles de pino (*Pinus patula*) a aserraderos locales para la obtención de madera.

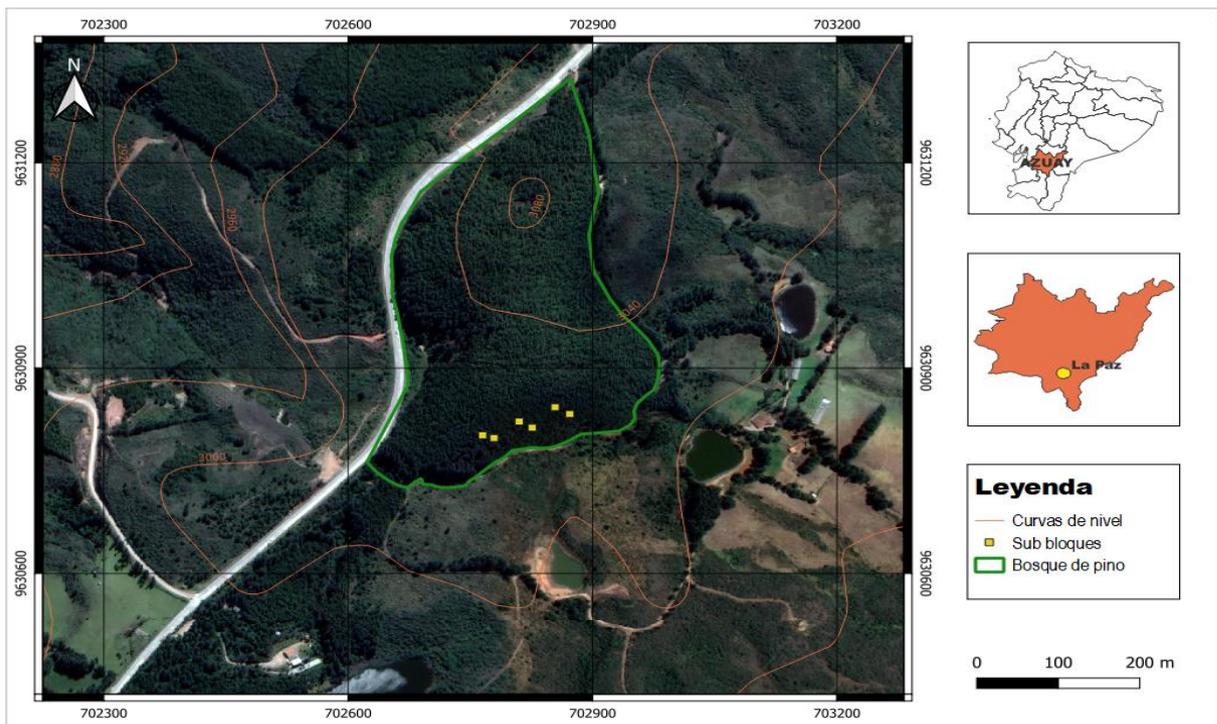


Figura 1. Plantación forestal de pino de la Estación Científica El Gullán, en la provincia del Azuay, cantón Nabón, parroquia La Paz. Se muestran los seis sub bloques donde se ubican los experimentos. Elaboración propia en Q-gis.

2.2 Diseño experimental

En este experimento se comparó la supervivencia y el crecimiento entre una siembra con plántulas y una siembra con estacas de *Clusia flaviflora* en tres áreas distintas en una plantación de pino con raleo al 25%. Para la tala de pinos se llegó a un acuerdo con aserraderos locales. Se les entregó algunos árboles a cambio de que se los remueva, esto para llegar al porcentaje de raleo necesario. Para el estudio se delimitaron tres bloques de 24 x 10 m dentro del bosque de pinos separados uno del otro por 50 m. Cada bloque posee un raleo del 25%. A su vez, cada bloque se divide en dos sub bloques de 10 x 10 metros, separados con un buffer de 4 m entre ellos. Cada sub bloque tiene 25 cuadrantes de 2 x 2 m que fueron las unidades de respuesta; Se delimitó también un área de control en el bosque de pino original donde no se realizó un raleo (Fig. 2).

Para la siembra se utilizaron plántulas de *Clusia flaviflora* traídas desde el Vivero de Plantas Nativas de la Universidad del Azuay que tenían aproximadamente 6 meses y cuyas semillas provinieron de la Estación Científica El Gullán. Mientras que las estacas se recolectaron directamente desde la zona de matorral nativo de la Estación Científica, cortando porciones de tronco de aproximadamente 40cm de árboles de *Clusia flaviflora* maduros que contengan yemas. Previo a la siembra se dejó reposar las estacas en un recipiente con agua y diluido el enraizante durante una hora (Hormonagro 1 - Colinagro©). En cada uno de los cuadrantes de 2 x 2 m se extrajo completamente la acícula de pino antes de sembrar.

Para este experimento se utilizaron tres tratamientos: el primero fue mediante una siembra de plántulas de *Clusia flaviflora*, el segundo tratamiento fue mediante una siembra de estacas de *Clusia flaviflora* conservando algunas hojas y el tercer tratamiento fue mediante una siembra de estacas de esta misma especie retirando completamente las hojas. Se escogieron cuatro cuadrantes dentro de cada sub bloque, en el primer cuadrante se sembró la plántula, en el cuadrante inmediato se sembró una estaca con hojas y sin hojas obtenidas de árboles maduros. Es decir, en cada sub bloque se sembró 2 plántulas, 2 estacas con hojas y 2 estacas sin hojas de *Clusia flaviflora* (Fig. 3).

Se utilizó un área de control, donde no se han modificado sus condiciones ambientales y no se han realizado talas (0% raleo y presencia de acícula) para comparar si el raleo del 25% aumentó la incidencia de luz y aumento de temperatura.

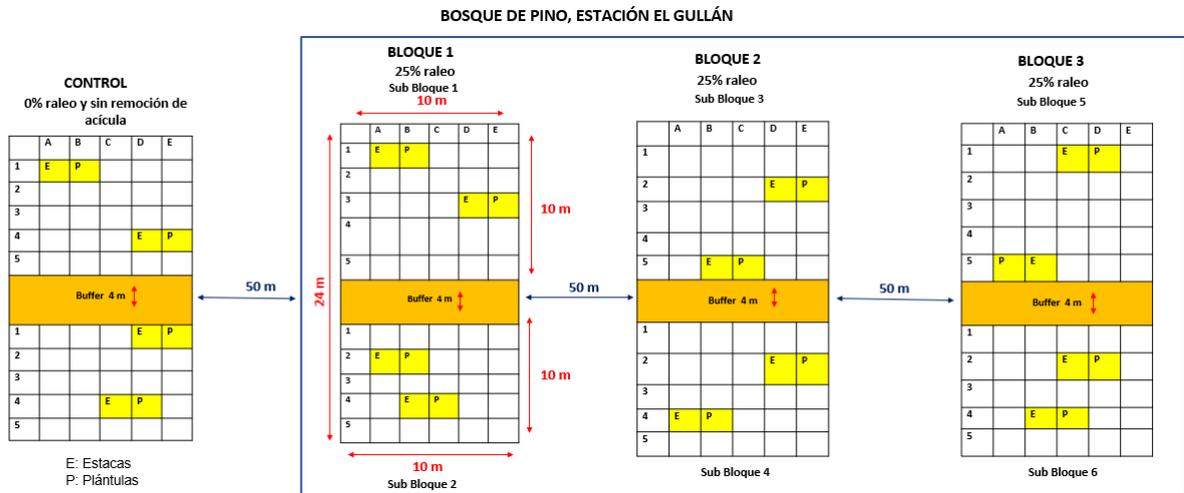


Figura 2. Croquis de la disposición de los bloques de 24 x 10 m, sub-bloques de 10 x 10 m y los cuadrantes de 2 x 2 m. Las siglas dentro de las parcelas indican los nombres de los tratamientos 1) E: Estacas (con hojas y sin hojas); 2) P: Plántulas. Elaboración propia.

Estacas con y sin hojas



Plántula



Figura 3. Representación de los tratamientos; Plántula y estacas con y sin hojas

2.3 Recopilación de datos

Para la obtención de los datos se tomaron medidas de altura (cm) con un flexómetro y diámetro basal (cm) utilizando un calibre. Además, se registró la supervivencia y

número de brotes tanto para las plántulas como para las estacas desde las primeras dos semanas después de ser sembradas hasta las 20 semanas de haber sido sembradas. Se registró también el número de hojas inicial y final. Para obtener la altura de las plántulas se tomaba la medida desde el suelo hasta la base del meristema apical y para la medida de diámetro basal desde el punto en que el tallo emerge del suelo utilizando un calibrador (Mostacedo y Fredericksen, 2000). En el caso de las estacas se tomarán medidas de las alturas de cada nudo desde el piso y de su diámetro en caso de existir brotes. Se mantuvo también un registro fotográfico en cada toma de datos. Los datos se tomaron periódicamente cada dos semanas durante 20 semanas (Anexo 3).

Para obtener datos de luz y temperatura se utilizaron sensores HOBO Onset UA-002-08 que registraron datos en un intervalo de 1 hora. Los datos fueron descargados de los sensores cada 15 días durante 3 meses proporcionando información sobre las variaciones de intensidad de luz y temperatura existentes en los bloques (Anexo 4).

2.4 Análisis estadístico

Tomando en cuenta la naturaleza de los datos se utilizaron dos análisis estadísticos distintos. Para analizar los datos de supervivencia se aplicó un análisis de supervivencia basado en el método de Kaplan-Meier en el software estadístico SigmaPlot. Este análisis permite estimar la probabilidad de que un evento crítico como la muerte de una plántula no ocurra en un periodo definido (McNair *et al.* 2012). En este caso se estimó la probabilidad de que las plántulas y estacas no mueran hasta la semana 20 después de la siembra. El análisis de supervivencia genera curvas de probabilidad que reflejan el patrón temporal de supervivencia para cada tratamiento. Además, permite probar estadísticamente si las curvas de supervivencia asociadas a cada tratamiento son iguales o distintas mediante un test long-rank. Para aislar el tratamiento o los tratamientos que difirieron de los otros, se aplicó una prueba de comparaciones múltiples por pares con el método Bonferroni (α 0.05)

En el caso de datos de crecimiento, diámetro basal, influencia del raleo y número de hojas se utilizaron modelos mixtos lineales. Para la obtención de este modelo, se usó la función lme4 en el software R (Douglas *et al.* 2014), donde se aplicó un ImerTest con el fin de efectuar pruebas a cada efecto y ajustar el modelo (Kuznetsova *et al.* 2015).

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS

3.1 Condiciones micro climáticas durante el período de estudio

El registro mínimo de temperatura dentro del área con raleo fue 11,88 °C y el máximo fue 16,73 °C, teniendo un promedio de 14,31 C°. En la zona de bosque sin raleo, los promedios mínimos y máximos fueron de 8,95 °C y 14,52 °C, respectivamente, con un promedio de 11,73 C°. Es decir, la zona sin raleo tiene una temperatura menor en comparación con la zona con raleo. En cuanto a la intensidad de luz, el registro mínimo dentro del área con raleo fue 3657,3 Lux y el máximo fue 54079,8 Lux, teniendo un promedio de 28868,55 Lux. En la zona de bosque sin raleo, los promedios mínimos y máximos fueron 1262,5 Lux y 3834,2 Lux, respectivamente, con un promedio de 2548,35 Lux. Es decir, la zona con raleo registra una intensidad de luz mayor en su interior en comparación con la zona sin raleo, esto tiene sentido, porque al talar algunos árboles ingresa más luz dentro del bosque (Figura 4).

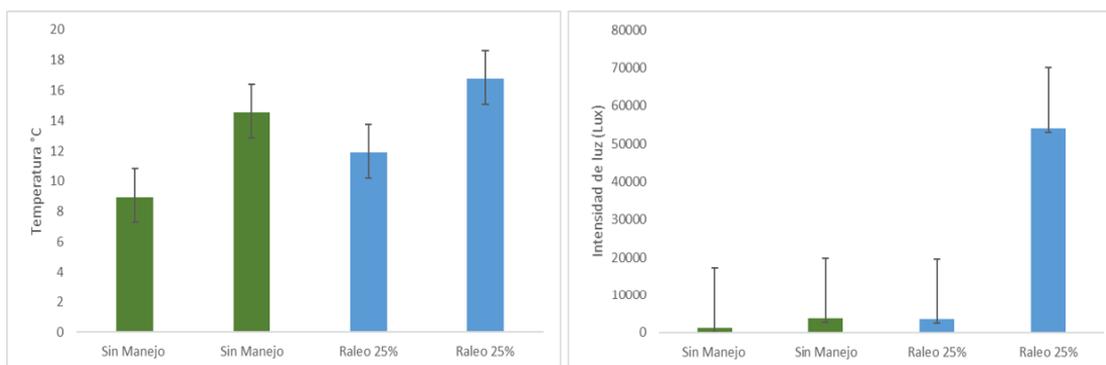


Figura 4. Comparación del valor mínimo y máximo de temperatura (C°) e intensidad de luz (Lux) entre el bosque original (sin manejo) y los bloques con raleo del 25% durante 12 semanas de monitoreo.

3.2 Supervivencia

Tras las 20 semanas de muestreo, el 100% de las estacas sembradas con hojas murieron. En el caso de las estacas sembradas sin hojas solamente sobrevivió una de las 16 sembradas (6%). En el tratamiento con plántulas se obtuvo una supervivencia del 100 % de los individuos.

Las estacas con hojas tuvieron un tiempo de supervivencia menor que las estacas sin hojas que sobrevivieron más semanas, a pesar de eso, la gran mayoría no sobrevivieron. Por esta razón, comparando los tratamientos de estacas con hojas (EH) y estacas sin hojas (ESH) no existe una diferencia estadísticamente significativa $p= 0,286$ ($p > 0,05$). Por el contrario, comparando los tratamientos de estacas con hojas (EH) con el tratamiento de plántulas (P) si existe una diferencia significativa con un valor $p < 0,001$ y comparando el tratamiento de estacas sin hojas (ESH) con las plántulas (P) también existe una diferencia estadísticamente significativa con un valor $p < 0,001$ (Figura 5).

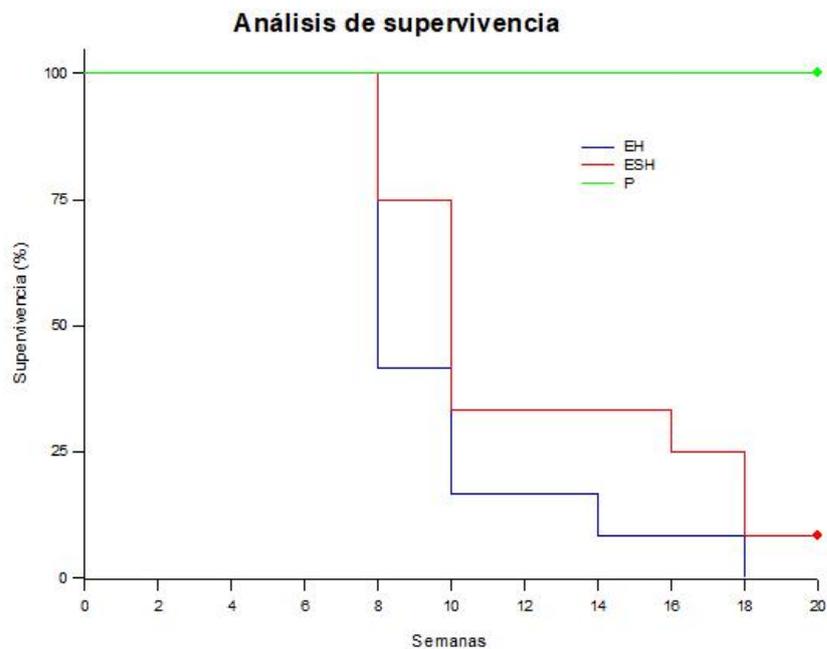


Figura 5. Comparación entre la supervivencia de plántulas (P) y estacas con hojas (EH) y sin hojas (ESH) de *Clusia Flaviflora* durante un periodo de 20 semanas. Las curvas con valores aproximados a 100 representan tasas más altas de supervivencia.

3.3 Crecimiento

3.3.1. Comparación de los diámetros basales entre tratamientos

En los tratamientos de estacas con hojas (EH) y estacas sin hojas (ESH) las medidas de los diámetros basales fueron disminuyendo hasta que se secaron completamente y murieron, con excepción de una de las estacas sin hojas en el sub bloque 3 que sí sobrevivió. En los tratamientos con estacas no se registró un ensanchamiento del diámetro basal, En el caso de las plántulas los diámetros basales en general mantuvieron su grosor o aumentaron muy poco.

3.3.2 Crecimiento diametral plántulas

En el eje X se encuentra el tiempo representado en semanas, mientras que en eje Y se encuentra el diámetro basal de plántulas representado en centímetros. Las plántulas presentaron un crecimiento no lineal y en general tuvieron un crecimiento mínimo (0,1 cm aproximadamente). Entre la semana 8 y la 14 se muestra una reducción del diámetro basal, intensificando en la semana 10 y 12, la cual posiblemente fue provocada por una época de sequía.

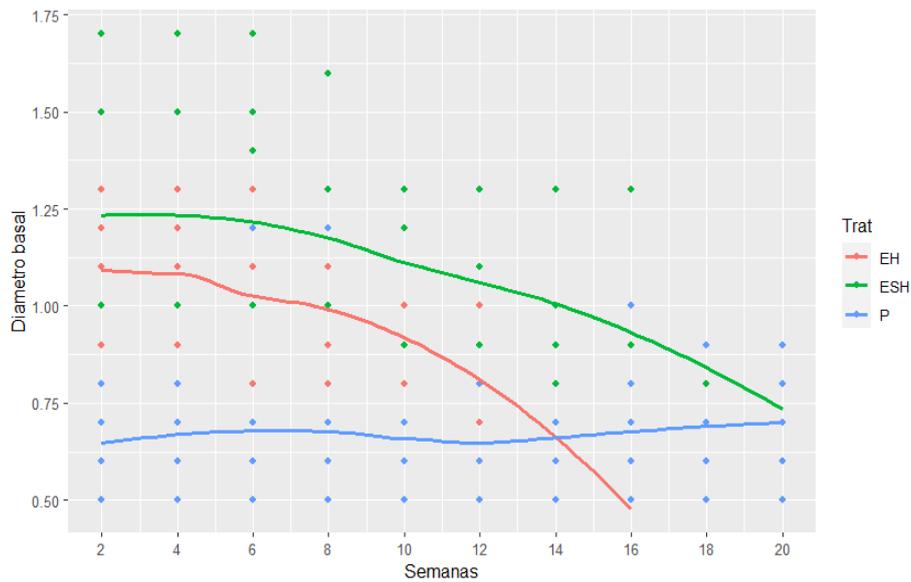


Figura 6. Comparación de las medias de crecimiento del diámetro basal entre los tres tratamientos: plántulas (P), estacas con hojas (EH) y estacas sin hojas (ESH) a lo largo de 20 semanas.

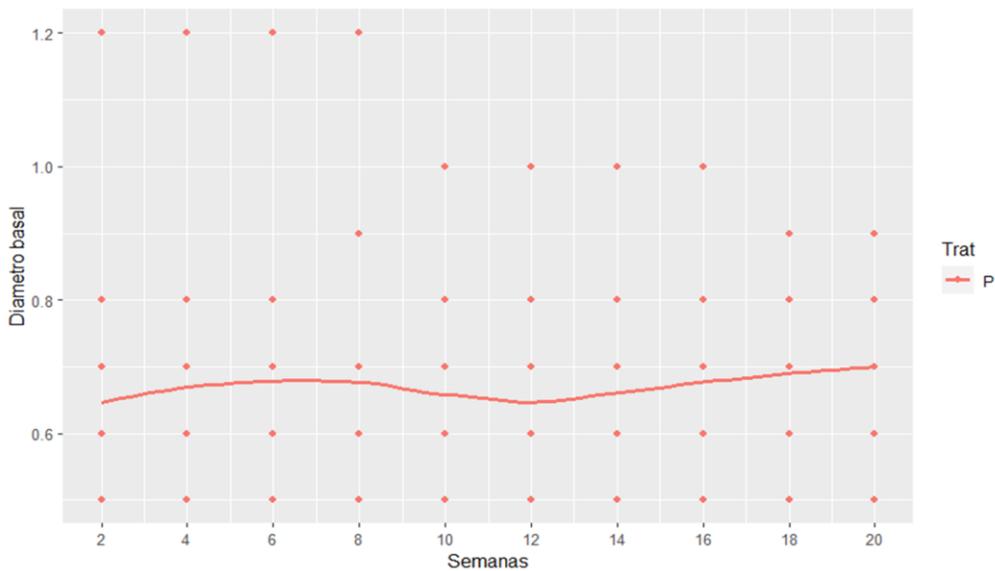


Figura 7. Crecimiento promedio en el ancho del diámetro basal en centímetros de las plántulas en un periodo de 20 semanas.

3.3.3 Crecimiento vertical de plántulas

En la figura 8 se observa una relación positiva directa entre el tiempo y el crecimiento vertical de las plántulas. Durante las 20 semanas las plántulas tuvieron un crecimiento progresivo, en promedio crecieron 2 cm durante las 10 semanas de observación. Los tratamientos con estacas no registraron crecimiento alguno, por esta razón no están representados.

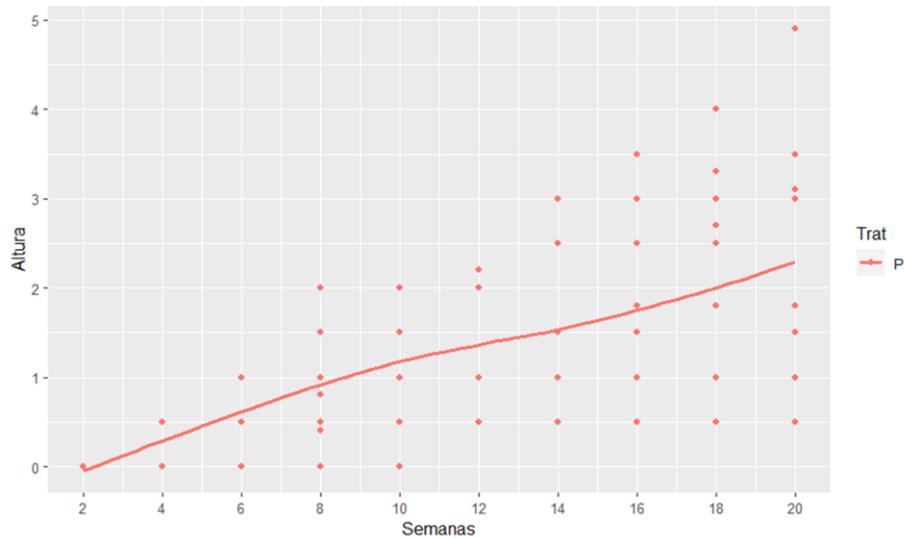


Figura 8. Crecimiento promedio en la altura en centímetros de las plántulas en un periodo de 20 semanas.

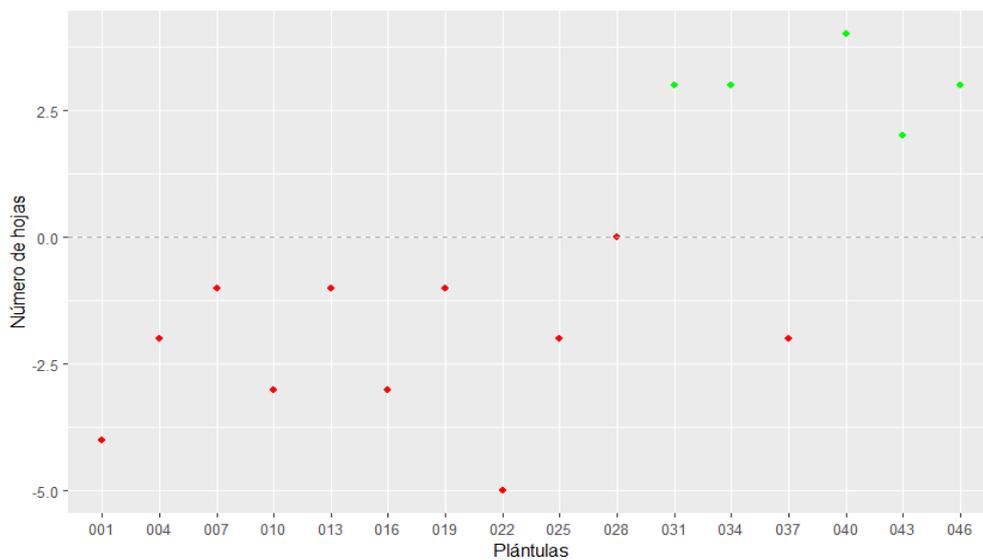


Figura 9. Balance del número de hojas de las plántulas entre las iniciales al momento de la siembra con el número de hojas final obtenido a las 20 semanas de ser plantadas.

3.4 Cambio en el número de hojas inicial y final del tratamiento con plántulas

Las plántulas de *Clusia flaviflora* al terminar el estudio en general registraron un menor número de hojas en comparación con las que poseían al momento de ser sembradas, con la excepción de las que fueron plantadas en el último bloque, las cuales, al contrario de las anteriores, aumentaron entre 2 y 3 hojas más que las que poseían inicialmente (Figura 9). Las estacas no produjeron ninguna hoja nueva, por esta razón no están representadas en el gráfico.

3.5 Influencia del raleo y acícula en el crecimiento de las plántulas

Como datos preliminares sobre la influencia del raleo y la acícula en el crecimiento de las plántulas, podemos observar que existe una tendencia positiva de crecimiento en las zonas donde sí existió un raleo y se removió la acícula, aunque no sea estadísticamente significativo $p=0,161$ ($P > 0,05$). Al parecer el realizar una poda de algunos árboles y remover la acícula puede dar ciertas ventajas a las plántulas para crecer, en promedio las plántulas en la zona con raleo crecieron un 0,5 cm más en un periodo de 20 semanas. Sin embargo, ya que no hubieron repeticiones del tratamiento sin raleo, estos datos se consideran preliminares y debe ser confirmados con estudios posteriores.

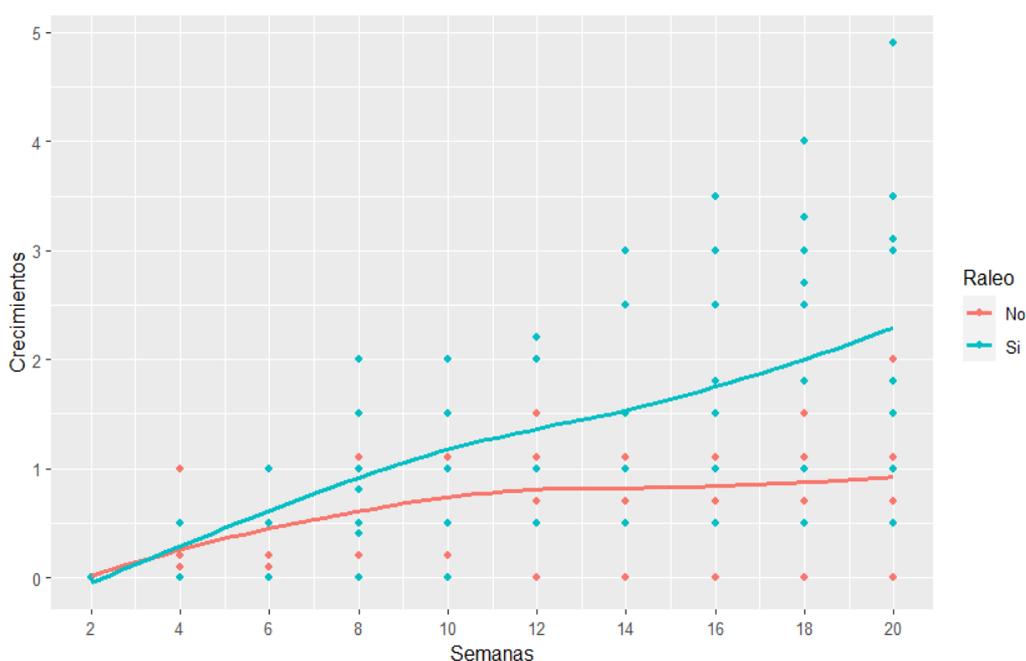


Figura 10. Comparación de la media del crecimiento de las plántulas en centímetros entre la zona con raleo y la zona de bosque con condiciones originales (Bosque de pino sin raleo).

CAPÍTULO 4 - DISCUSIÓN

Cuando se aplicó un proceso de raleo, las condiciones micro climáticas dentro del bosque cambian. Con la poda de algunos árboles ingresa más luz al interior y la temperatura incrementa (figura 4). Esto puede resultar beneficioso tanto para los árboles de pino que quedan después de la poda obteniendo más luz y recursos, así como para las plántulas que están sembradas y las que se están desarrollando de manera natural. La poda de ciertos árboles nos encamina a un manejo sustentable de los sembríos de pino haciendo que los árboles que no se talen puedan crecer de mejor manera y ser aprovechados más adelante para obtener madera y al mismo tiempo aumentar la diversidad dentro del bosque utilizando plantas nativas locales. En el bosque de pinos original, hay plántulas de *Clusia flaviflora* que han llegado de forma natural, demostrando que esta especie si es apta para crecer dentro del bosque y que muy probablemente le sea beneficioso tener árboles como plantas nodriza que le brinden sombra o protección. Corbin y Holl (2012) en una revisión bibliográfica sobre diferentes experimentos sobre la nucleación como método de restauración, encontraron una mayor supervivencia de plántulas en zonas donde existían árboles más que en zonas desnudas de vegetación.

En este estudio se compararon tres tratamientos de siembra de *Clusia*, dos tratamientos con estacas y uno con plántulas. El tratamiento de estacas con hojas resultó en un 0% de supervivencia de los individuos los cuales murieron aproximadamente a la octava semana. Según Cárdenas & López (2011) en una revisión bibliográfica sobre la reproducción vegetativa mediante estacas, la muerte de estas puede deberse a la falta de un sistema radical desarrollado, por esta razón al no ingresar nutrientes ni agua, las estacas agotan sus recursos y mueren. Los autores mencionan que el enraizamiento de las estacas está regulado por una combinación entre: procesos fisiológicos, factores medioambientales y condiciones de propagación. La combinación apropiada de estos puede ayudar en el establecimiento de las estacas. Por otra parte, las estacas sin hojas tuvieron una supervivencia más prolongada, incluso en algunos individuos se empezaron a desarrollar sus nudos y enraizar, sin embargo, entre la décima y la décima sexta solamente una estaca sobrevivió. Conociendo que en el proceso de enraizamiento de las estacas es fundamental el mantenimiento del estado hídrico (Sisaro y Hagiwara, 2016; Sánchez-Del Castillo, 2016) se debe mencionar que ocurrió un periodo de baja precipitación durante el estudio, mismo que posiblemente influyó en el proceso.

El tercer tratamiento incluyó la siembra de plántulas de *Clusia flaviflora* dando como resultado un 100% de supervivencia de los individuos, demostrando ser el método más efectivo para esta especie dentro una plantación de pino. En un estudio presentado por Días y Polania (2017) donde experimentan con varias especies para restaurar una zona degradada en Colombia, utilizaron la *Clusia multiflora* para realizar una reproducción vegetativa mediante estacas y plántulas, que, aunque no es la misma especie de este estudio pertenece al mismo género. En este experimento la estacas de *Clusia* plantadas directamente no sobrevivieron después de 13 semanas de muestreo, sin embargo, las estacas que tuvieron un pretratamiento en un vivero tuvieron una supervivencia del 30%, se atribuye la nula supervivencia a que algunas especies carecen de rasgos regenerativos, capacidad de reproducción vegetativa. Por otro lado, las plántulas de esta especie tuvieron una supervivencia del 95%. Esto refleja similitudes con los tratamientos llevados a cabo en este estudio, al igual que en el caso del estudio de Días y Polania (2017), en el que las estacas no resultaron ser un método efectivo para restaurar, inclusive siendo tratadas en un vivero antes de sembrar. Por otro lado, las plántulas si registran una tasa de supervivencia mucho mayor (más del 95%), por esta razón, podríamos inferir que en el género de *Clusia* la siembra mediante plántulas es más efectivo en comparación con las estacas. En este estudio las plántulas tuvieron un crecimiento de entre 1 y 2 centímetros en un periodo de 5 meses (Fig. 8) debido a que la *Clusia* es una planta de crecimiento lento.

Otro factor considerado en este estudio fue el diámetro basal. Tomando en cuenta solo el tratamiento de plántulas, se identificó un patrón interesante en el que se observa que entre la semana 8 y 14 existió una ligera reducción en el ancho de la base del tallo una hipótesis puede ser que las plántulas redujeron su diámetro por falta de agua. El cambio en el diámetro del tallo está controlado por el estado hídrico de las plantas bajo diversos tipos de estrés ambiental (Ohashi *et al.*, 2016). Comparando estos resultados con los datos que se tiene sobre la lluvia en la estación científica, se puede observar que, a finales de mayo, cuando se realizó la siembra, aún era época de lluvia en la zona de estudio. Sin embargo, los siguientes meses están marcados por una reducción en la precipitación en la zona (julio en adelante). Cruz-Leyva *et al* (2010) menciona que el diámetro basal tiene una correlación positiva con la precipitación anual en un estudio realizado con *Pinus patula* y *P. teocote*. Es decir, el diámetro basal tiende a incrementar con el aumento de la precipitación.

En la figura 9 se representa el número de hojas, aquí se observa un patrón interesante, en la gran mayoría de plántulas al final de la toma de datos, se registraron menos hojas de las que se contaron al principio, en promedio entre 2 y 3 hojas menos, esto puede deberse a un método de supervivencia de las plantas. Un mecanismo clave de las plantas como respuesta a épocas de sequía es la reducción de su área foliar, esto ayuda a reducir la transpiración total del árbol. El desprendimiento de hojas suele ocurrir después del cierre de estomas, reduciendo la pérdida marginal de agua (Li *et al.*, 2020; Nadal *et al.*, 2021; Yan *et al.*, 2017) . Por el contrario, en el último subbloque el número de hojas en las plántulas aumentó en promedio entre 2 y 3, esto puede deberse a una pequeña variación en el microclima, dándoles una posible ventaja a las plántulas en su crecimiento. Zahawi y Holl (2009) encontraron que las plántulas poseían crecimientos diferentes influenciadas por variaciones específicas del sitio, incluso a pequeña escala. El bloque en donde las plántulas aumentaron el número de hojas posee una mayor pendiente y más humedad, lo que puede representar una ventaja para su crecimiento.

En cuanto al raleo del bosque de pinos, como datos preliminares se aprecia que las plántulas tienen una tendencia a crecer más en las áreas donde se realizó el 25% del raleo, esto puede deberse a que en las zonas taladas existe mayor disponibilidad de recursos, así como un mayor ingreso de luz (Figura 10). Según Romo (2005) los claros permiten un incremento en los niveles de luz y consecuentemente el crecimiento de las plantas. Sin embargo, la falta de réplicas para áreas sin raleo no permite llegar a conclusiones más contundentes al respecto.

CONCLUSIONES

- La siembra de plántulas de *Clusia flaviflora* es una buena opción al momento de realizar un proceso de restauración y más aún dentro de una plantación de pinos con el objetivo de aumentar la diversidad vegetal dentro del bosque.
- La siembra con estacas de *Clusia flaviflora* no resultó ser un método efectivo para la restauración en el caso específico de esta especie.
- Retirar o mantener las hojas en las estacas no representó ninguna ventaja para la supervivencia y crecimiento de las mismas.

- Las pequeñas variaciones micro climáticas pueden dar ciertas ventajas al crecimiento de las plántulas, se pueden identificar estas condiciones para optimizar los lugares de siembra.
- Las plantas tienen una tendencia a crecer más cuando se siembra en zonas con raleo.
- Es necesario seguir realizando estudios sobre restauración a pequeña escala con plantas nativas de la zona, con el fin de tener bases útiles para proyectos de restauración ambiental a gran escala.
- Para futuros estudios se podría experimentar realizar enmiendas de suelo antes de la siembra o probar otras técnicas de restauración como la siembra directa mediante semillas de *Clusia flaviflora*.

REFERENCIAS

- Ansaloni, R. & Chacón, G. (2003). Interacción suelo, vegetación y agua: el efecto de las plantaciones de pino en ecosistemas altoandinos del Azuay y Cañar. *Revista de la universidad del Azuay*, (31), 1-11.
- Bueno, A., & Baruch, Z. (2011). Soil seed bank and the effect of needle litter layer on seedling emergence in a tropical pine plantation. *Revista de Biología Tropical*, 59(3), 1071-1079
- Bussmann, Rainer W.. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 203-216. Recuperado en 21 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332005000200006&lng=es&tlng=es.
- Brancalion, P. H., & Chazdon, R. L. (2017). Beyond hectares: four principles to guide reforestation in the context of tropical forest and landscape restoration. *Restoration Ecology*, 25(4), 491-496.
- Crespo, A., & Inga, D. (2020). De la parcela al paisaje: restauración forestal en los Andes ecuatorianos. *Editorial FLACSO Ecuador, Quito, Ecuador*.
- Cruz-Leyva, I. A., Valdez-Lazalde, J. R., Ángeles-Pérez, G., & Santos-Posadas, H. M. D. L. (2010). Modelación espacial de área basal y volumen de madera en bosques manejados de *Pinus patula* y *P. teocote* en el ejido Atopixco, Hidalgo. *Madera y bosques*, 16(3), 75-97.
- Ceccon, E. 2013. Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Ediciones D. D. S. México, 289 pp.
- Corbin, J. D. y K. D. Holl. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology & Management* 265: 37-46.
- Chazdon R. (2008). Beyond deforestation: restoring forests and ecosystems services on degraded lands. *Science* 320(1458). http://lerf.eco.br/img/publicacoes/2008_2411%20Beyond%20Deforestation%20Restoring%20Forests%20and%20Ecosystem%20Services%20on%20Degraded%20Lands.pdf

- Clewell AF y Aronson J. (2013). Ecological restoration: Principles, values and structure of an emerging profession. Second edition. edición. The science and practice of ecological La restauración de bosques andinos tropicales | 75 restoration series., Island Press, Washington, D.C., EE.UU.
- Douglas, B., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. *R package version, 1*, 1-23.
- Díaz-Páez, M. y J. Polanía. 2017. Experiencia piloto de nucleación con especies nativas para restaurar una zona degradada por ganadería en el norte de Antioquia, Colombia. *Biota Colombiana* 18 (Suplemento 1): 60–69. DOI: 10.21068/c2017.v18s01a03
- Gutiérrez Flores, M. E. (2016). *Evaluación del carbono en la biomasa de 3 especies forestales nativas (Miconia Aspergillaris, Vallea Stipularis, Oreocallis Grandiflora) en el bosque Aguarongo* [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Holl K, Zahawi R, Cole R, Ostertag R, Cordell S. (2010). Planting seedlings in tree islands versus plantations as a large-scale tropical forest restoration strategy. *Restoration Ecology*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1526-100X.2010.00674.x>
- Herbario Azuay. (s.f). *Clusia flaviflora Engl.* <https://herbario.uazuay.edu.ec/muestras/214-dicotiledonae-clusiaceae-clusia-flaviflora-engl>
- Jardín Botánico de Quito. (2015). *Clusia flaviflora*. <https://jardinbotanicoquito/photos/familia-clusiaceae-nombre-cient%C3%ADfico-clusia-flavifloranombre-com%C3%BAnguanderal-gua/990164877661359/>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2015). Package ‘lmerTest’. *R package version, 2*(0), 734.
- Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., & Pérez-Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multivariate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249-261.
- McNair, J. N., Sunkara, A., & Frobish, D. (2012). How to analyze seed germination data using statistical time-to-event analysis: non-parametric and semi-parametric methods. *Seed Science Research*, 22(2), 77-95.

- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal (Vol. 87). Santa Cruz, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR).
- Nadal-Sala, D., Grote, R., Birami, B., Knüver, T., Rehschuh, R., Schwarz, S., & Ruehr, N. K. (2021). Leaf shedding and non-stomatal limitations of photosynthesis mitigate hydraulic conductance losses in scots pine saplings during severe drought stress. *Frontiers in plant science*, 1600.
- Cárdenas Navarro, R., & Lopez-Perez, L. (2011). Propagación vegetativa de rosa: efecto del sustrato, luminosidad y permanencia de la hoja. *Scientia Agropecuaria*, 2, 203–211.
- Ohashi, Y., Nakayama, N., Saneoka, H., & Fujita, K. (2006). Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum*, 50(1), 138-141.
- León-Yáñez, S., R. Valencia, N. Pitmam, L. Endara, C. Ulloa Ulloa y H. Navarrete. (2019). Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. <<https://bioweb.bio/floraweb/librorojo>>, acceso martes, 21 de junio de 2022.
- Li, X., Smith, R., Choat, B., and Tissue, D. T. (2020). Drought resistance of cotton (*Gossypium hirsutum*) is promoted by early stomatal closure and leaf shedding. *Funct. Plant Biol.* 47, 91–98. doi: 10.1071/FP19093
- Rojas, S., J. García y M. Alarcón. (2004). Propagación asexual de plantas. Conceptos básicos y experiencias con especies Amazónicas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Pronatta. Bogotá D.C., 57 pp.
- Romo Reátegui, M. (2005). Efecto de la luz en el crecimiento de plántulas de *Dipteryx micrantha* Harms" Shihuahuaco" transplantadas a sotobosque, claros y plantaciones. *Ecología Aplicada*, 4(1-2), 1-8.
- Ríos Márquez, S. A. (2021). *Guía de identificación de plantas comunes con flor de la Estación Científica El Gullán* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Parrotta, J. A. (1992). The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 41(2), 115-133.

- Pignatti, G., Facciotto, G., Incollu, G., Maltoni, S., Marongiu, M., Sperandio, G., Verani, S., et al. (2020). Gestión forestal sostenible en plantaciones de pino radiata: un estudio de caso en Cerdeña (Italia). *La Ira Conferencia Electrónica Internacional sobre Bosques—Bosques para un Futuro Mejor: Sostenibilidad, Innovación, Interdisciplinariedad* . MDPI. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/IECF2020-07958>
- Sen, D. N. y P. Rajput. 2001. Ecophysiological aspects of the vegetative propagation of saltbush (*Atriplex* spp.) and mulberry (*Morus* spp.). Pp: 127-142. En: Pessaraki, M. (Ed.). 2001. Handbook of Plant and Crop Physiology. Second edition. Revised and expanded. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Sánchez-Del Castillo, F. (2016). Métodos de enraizamiento de esquejes para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) Hidropónico. *Agro Productividad*, 9(10).
- SALAMANCA-GROSSO, G., OSORIO, M. & CASAS, L. (2014). Origen botánico y dominancia cromática de las cargas de polen corbicular colectado por *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) en cuatro zonas biogeográficas colombianas. *Zootecnia*, 32 (4), 377-390
- SISARO, D., & HAGIWARA, J. C. (2016). Propagación vegetativa por medio de estacas de tallo. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-_propagacion_vegetativa_por_medio_de_estacas_de_tallo.pdf
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292, 281– 284.
- Yan, W., Zhong, Y., and Shangguan, Z. (2017). Rapid response of the carbon balance strategy in *Robinia pseudoacacia* and *Amorphafruticosa* to recurrent drought. *Environ. Exp. Bot.* 138, 46–56. doi: 10.1016/j.envexpbot.2017.03.009
- Zahawi, R.A. and Holl, K.D. (2009), Comparing the Performance of Tree Stakes and Seedlings to Restore Abandoned Tropical Pastures. *Restoration Ecology*, 17: 854-864. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00423>

ANEXOS

Anexo 1. Proceso de tala de los árboles de pino por aserradores locales en la Estación Científica El Gullán para obtener al 25% de raleo.



Anexo 2. Limpieza de los bloques en la plantación de pino perteneciente a la Estación Científica El Gullán.



Anexo 3. Recolección de datos sobre la supervivencia y el crecimiento de los individuos.



Anexo 4. Instalación y muestreo de los data loggers para la obtención de datos microclimáticos.



Anexo 5. Algunas de las de plántulas de *Clusia flaviflora* a las 20 semanas de ser sembradas.



Anexo 6. Planta de *Clusia flaviflora* que se desarrolló de manera natural dentro del bosque de pinos.

