



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

**Dirección Específica de Ciencias Ambientales y Cambio
Climático**

Trabajo de Tesis

**Monitoreo de dos métodos de restauración pasiva y
activa en un fragmento de bosque en la Mina San
Albino El Júcaro Nueva Segovia, en el periodo 2019-2021**

Autores

**Br. Mayerling Junieth Johanneth Somarriba Martínez
Br. Ricardo José Reyes Velásquez**

Asesores

**PhD. Guillermo Ramón Castro Marín
MSc. Edwin Alonzo Serrano**

Presentado a la consideración del honorable comité evaluador como
requisito final para optar al grado de Ingeniero Forestal.

**Managua, Nicaragua
Marzo, 2024**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la decanatura de la Dirección Especifica de Ciencias Ambientales y Cambio Climático, como requisito final para optar al título de Ingeniero Forestal con mención en Restauración de Ecosistemas Forestales.

Ingeniero Forestal con mención en Restauración de Ecosistemas Forestales.

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Miguel Ángel Garmendia
Zapata
Presidente

Ing. Bayardo Alberto González
Ñamendy
Secretario

Ing. Fernando Francisco Amador Espinoza
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 21/03/2024

DEDICATORIA

A Dios padre todopoderoso, maestro, guía, refugio y consuelo en mis días más difíciles y de angustia; a él que con su infinito amor me cuida, me brindó la oportunidad de estudiar y protege en cada paso que doy.

A mis padres Junieta Isabel Martínez y Natividad Mauricio Somarriba Mendoza por su amor, apoyo, sacrificio y dedicación durante todos mis años de estudio e inspirarme a estudiar esta hermosa carrera. A mis hermanos y sobrino, Maryuri Masiell Somarriba Martínez, Mauricio José Somarriba Martínez y Axel Johann Martínez Somarriba por ser fuente de inspiración para salir adelante y ser una profesional. A toda mi familia por su apoyo constante.

A mi colega, amigo y compañero de tesis Ricardo José Reyes Velásquez por su compromiso, dedicación y trabajo constante durante toda la investigación.

Br Mayerling Junieta Johanneth Somarriba Martínez

Dedico esta investigación a Dios por guiarme, brindarme salud, paciencia y paz emocional para la ejecución y desarrollo de esta investigación.

A mis padres mi madre Isabel Del Rosario Velásquez Ortiz y Félix Ricardo Reyes Chavarría por contribuir de forma ineludible durante mi periodo de aprendizaje y desarrollo personal, así mismo a mis hermanos Ileana Aracely Morales Velásquez y Ronny Ramon Reyes Velásquez.

A mi padrino Fernando Francisco Amador Espinoza por brindarme su afecto, las pautas sobre el conocimiento de la profesión y de forma económica durante mis años de estudio.

A mi compañera, amiga y colega Mayerling Junieta Johanneth Somarriba Martínez por la atención, dedicación y desempeño en la investigación.

Br Ricardo José Reyes Velásquez

AGRADECIMIENTO

Agradecemos infinitamente a Dios nuestro creador por brindarnos la vida, salud y oportunidad de hacer posible la culminación de nuestros estudios mediante la ejecución y culminación de esta investigación.

A nuestras familias pilares de nuestra vida e inspiración para salir adelante.

A nuestros asesores PhD. Guillermo Ramón Castro Marín y MSc. Edwin Alonzo Serrano, por la oportunidad que nos brindaron al optar por este tema de investigación, depositando su confianza en nosotros en todo momento, gracias por su paciencia, apoyo continuo, dedicación, profesionalismo y cohesión durante todas las etapas de la investigación.

Así mismo a los docentes de la Dirección Especifica de Ciencias Ambientales y Cambio, quienes fueron pilares e inspiración en nuestro desarrollo como estudiantes, compartiendo continuamente sus conocimientos siendo las bases de nuestra formación profesional y brindando su confianza en nosotros.

A la empresa Nicoz Resources S.A, Ingeniera Carla Brennes y trabajadores de la empresa, por brindarnos la oportunidad de realizar nuestra investigación, con las mejores condiciones y apoyo continuo, facilitando el trabajo en campo dentro de las áreas de los métodos de restauración, agradecemos el compromiso continuo con la conservación del fragmento de bosque reflejado en el seguimiento y cuidado a los ensayos de restauración.

Br Ricardo José Reyes Velásquez

Br Mayerling Junieth Johanneth Somarriba Martínez

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADRO	vi
ÍNDICE DE FIGURA	vii
ÍNDICE DE ANEXO	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 La sucesión vegetal como base para la restauración de los ecosistemas	4
3.2 La degradación de ecosistemas y su mitigación	4
3.3 Métodos de Restauración Pasiva	5
3.4 Métodos de Restauración Activa	6
3.5 Importancia de la ecología en la restauración	6
3.5.1 Plantas Heliófitas efímeras	7
3.5.2 Plantas Heliófitas durables	7
3.5.3 Plantas esciófitas	7
3.6 Dinámica del bosque	7
3.6.1 Crecimiento de las especies	7
3.6.2 Mortalidad y Reclutamiento	8

3.6.3	Incremento periódico Anual	8
3.6.4	Incremento medio Anual	8
3.7	Biomasa	8
3.7.1	Biomasa aérea	8
3.8	Almacenamiento de carbono	8
IV.	MATERIALES Y METODOS	9
4.1	Diseño metodológico	9
4.2	Primera etapa: Reconocimiento del área de estudio	9
4.3	Ubicación del área de estudio	10
4.4	Segunda etapa: Levantamiento de datos de campo en las parcelas permanentes y ensayos de nucleación.	11
4.4.1	Recolección de datos	11
4.4.2	Variables evaluadas en los métodos de Restauración	13
4.5	Tercera etapa: Procesamiento y Análisis de datos de campo de los métodos de Restauración	14
4.5.1	Análisis de datos de Restauración Pasiva	14
4.5.2	Análisis de datos de Restauración Activa	19
4.6	Materiales y equipos	20
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5.1	Composición Florística	21
5.1.1	Riqueza de especies	21
5.2	Diversidad Florística	25
5.3	Análisis de Similitud de Jaccard en el fragmento de bosque	27
5.4	Dinámica poblacional en Restauración pasiva.	28
5.4.1	Parámetros demográficos (Mortalidad, Reclutamiento y Recuperación) del fragmento de bosque.	28

5.5	Incremento periódico anual (IPA) del Dap cm 6.9 ha el fragmento de bosque	31
5.5.1	Fustal	31
5.5.2	Latizal	32
5.6	Tasas de Ganancia, Pérdida y Crecimiento en Área basal por estado de desarrollo del fragmento de bosque.	33
5.7	Biomasa	34
5.7.1	Fustal	34
5.7.2	Latizal	34
5.8	Carbono	35
5.9	Resultados del Método de Restauración Activa	37
5.9.1	Incremento medio anual del Diámetro basal en mm.	37
5.9.2	Incremento medio anual de la altura en cm.	38
5.10	Porcentaje de sobrevivencia de las plantas en la restauración pasiva	38
VI.	CONCLUSIONES	41
VII.	RECOMENDACIONES	42
VIII.	LITERATURA CITADA	43
IX.	ANEXOS	46

ÍNDICE DE CUADRO

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Escala de significancia para el Índice de diversidad de Simpson.	15
Cuadro 2. Categorías para la evaluación de la sobrevivencia de las plantas.	20
Cuadro 3. Especies de la categoría fustal en la técnica de restauración pasiva.	22
Cuadro 4. Especies de la categoría latizal en la técnica de restauración pasiva.	23
Cuadro 5. Especies de la categoría brinzal en el método de restauración pasiva.	24
Cuadro 6. Índices de diversidad de las categorías fustal, latizal y brinzal en el método de restauración pasiva.	26
Cuadro 7. Índice de Jaccard del fragmento de bosque.	28
Cuadro 8. Parámetros demográficos del fragmento de bosque en el periodo 2019-2021.	30
Cuadro 9. Incremento periódico anual del fragmento de bosque en el estadio fustal periodo 2019-2021.	31
Cuadro 10. Incremento periódico anual del Dap en cm del fragmento de bosque en el estadio latizal periodo 2019-2021.	32
Cuadro 11. Tasa de ganancia perdida y crecimiento del fragmento de bosque en el periodo 2019-2021.	33
Cuadro 12. Incremento de biomasa de la categoría fustal.	34
Cuadro 13. Incremento de biomasa en la categoría Latizal.	35
Cuadro 14. Almacenamiento de carbono en categoría fustal.	36
Cuadro 15. Almacenamiento de carbono en categoría Latizal.	36
Cuadro 16. Incremento medio anual del diámetro basal en mm de los ensayos.	37
Cuadro 17. Incremento medio anual de la altura en cm.	38
Cuadro 18. Sobrevivencia de especies establecidas en ensayos de nucleación.	40

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA	PÁGINA
1. Proceso metodológico de la investigación	9
2. Mapa del área de estudio	10
3. Diseño de las parcelas permanentes de muestreo	11
4. Modelo de ensayos de nucleación	12

ÍNDICE DE ANEXO

ANEXO	PÁGINA
1. Formato de campo para recolección de datos en ensayos de nucleación y anillamiento	46
2. Formato de campo para recolección de datos en parcelas permanentes de muestreo Fustal.	46
3. Formato de campo para recolección de datos en parcelas permanentes de muestreo Latizal	47
4. Formato de campo para recolección de datos en parcelas permanentes de muestreo Brinzales	47
5. Lista de especies del fragmento de bosque	48

RESUMEN

El monitoreo de la restauración a corto y largo plazo en bosques secos permite identificar los patrones de composición, estructura, dinámica de las comunidades vegetales y conocer los procesos de sucesión ecológica; con la finalidad de monitorear el proceso de restauración de los ecosistemas forestales degradados, se establecieron dos métodos de restauración ecológica en un fragmento de bosque seco de 6.9 ha perteneciente a la Empresa Nicoz Resources S.A, localizado en la Mina San Albino, en el municipio de El Jícaro, departamento de Nueva Segovia, realizando un monitoreo en la estructura, composición, diversidad, dinámica poblacional, incrementos en diámetro y altura, mortalidad, reclutamiento, recuperación, almacenamiento de biomasa y carbono de los estratos del bosque, de igual manera se evaluó sobrevivencia y crecimiento de especies plantadas durante un periodo de dos años. Dentro de los resultados se encontraron que las familias Fabaceae y Mimosaceae obtuvieron la mejor distribución de individuos por especies dentro del bosque, en general las especies aumentaron su diámetro entre 2.35 cm y 3.06 cm, para este estudio la categoría brinzal resalta con mayor dinámica en mortalidad 0.82%, reclutamiento 1.10% y recuperación 0.28%, los latizales presentaron la mayor ganancia de área basal 37.8%, mientras los fustales mostraron mayor crecimiento en área basal 16.1% y pérdida en área basal 5.7%, de igual manera se obtuvo aumento de biomasa en 6.854ton/ha y carbono 3.427ton/ha durante el período evaluado. Para las especies plantadas se obtuvo que, las que presentan el mayor incremento en diámetro y altura fueron Quebracho 32.5mm/453.4cm y Cedro 12.8mm/55.95cm respectivamente, las especies que mostraron mayor porcentaje de sobrevivencia fueron Guanacaste negro 100%, Quebracho 96.7% y Ojoche 90% mostrando una importante adaptabilidad y desarrollo en comparación con las demás especies evaluadas. En general se encontró aumento y emergencia de diversos individuos de especies pioneras, especies heliófitas efímeras y heliófitas durables, las cuales por medio de su desarrollo crean los microhábitats necesarios para la emergencia de las especies esciófitas, propiciando diversos procesos ecológicos en los diferentes estratos del bosque.

Palabras clave: Sucesión ecológica, Gremios ecológicos, Restauración pasiva y activa, Composición florística

ABSTRACT

Monitoring short- and long-term restoration in dry forests allows us to identify patterns of composition, structure, and dynamics of plant communities and understand the processes of ecological succession; In order to monitor the restoration process of degraded forest ecosystems, two ecological restoration methods were established in a 6.9 ha dry forest fragment belonging to the Company Nicoz Resources S.A, located in the San Albino Mine, in the municipality of El Jícaro, department of Nueva Segovia, monitoring the structure, composition, diversity, population dynamics, increases in diameter and height, mortality, recruitment, recovery, biomass and carbon storage of the forest strata, in the same way it was evaluated survival and growth of planted species during a period of two years. Within the results, it was found that the Fabaceae and Mimosaceae families obtained the best distribution of individuals by species within the forest, in general the species increased their diameter between 2.35 cm and 3.06 cm, for this study the sapling category stands out with greater dynamics in mortality 0.82%, recruitment 1.10% and recovery 0.28%, the latizals presented the greatest gain in basal area 37.8%, while the forests showed greater growth in basal area 16.1% and loss in basal area 5.7%, in the same way an increase in biomass was obtained at 6.854ton/ha and carbon 3.427ton/ha during the evaluated period. For the planted species, it was obtained that those with the greatest increase in diameter and height were Quebracho 32.5mm/453.4cm and Cedro 12.8mm/55.95cm respectively, the species that showed the highest percentage of survival were Guanacaste negro 100%, Quebracho 96.7 % and Ojoche 90% showing significant adaptability and development compared to the other species evaluated. In general, an increase and emergence of various individuals of pioneer species, ephemeral heliophyte species and durable heliophytes were found, which through their development create the microhabitats necessary for the emergence of sciophyte species, promoting various ecological processes in the different strata of the forest.

Keywords: Ecological succession, ecological guilds, passive and active restoration., Floristic composition

I. INTRODUCCIÓN

La degradación de los ecosistemas en Nicaragua, se ha visto afectada por el cambio de uso de suelo en los recursos naturales, generando la aceleración de la degradación de los bosques; para contrarrestar estos eventos adversos es necesario invertir en la integración de investigaciones sobre la restauración y rehabilitación, mediante estrategias de restauración ecológica aplicando métodos que permitan recuperar los estados sucesionales del bosque.

La restauración ecológica es el campo de estudio que provee las bases científicas y metodológicas que fundamentan la práctica de la ecología de la restauración. Donde se analiza cada uno de los disturbios presentes y como se han reducido los bienes y servicios que presentaba el ecosistema. Es una disciplina multidimensional que abarca tanto las ciencias naturales como las ciencias sociales para buscar la sostenibilidad de los ecosistemas naturales, seminaturales y sistemas de producción Cano, et al. (2007, p.13).

La empresa Nicoz Resources S.A, puso a disposición un fragmento de bosque secundario de aproximadamente 6.9 hectáreas a fin de que la Universidad Nacional Agraria realizará algunas investigaciones en la Mina San Albino, iniciando en 2019. Entre las cuales se pueden mencionar la implementación de dos métodos de restauración ecológica por medio del establecimiento de parcelas experimentales; el primero es un método de restauración pasiva mediante el registro y crecimiento de las especies en parcelas permanentes de muestreo; en el segundo método de restauración activa, se utiliza el sistema de nucleación en hexágonos con especies nativas.

Se comparó el desarrollo en la composición florística, estructura y crecimiento de las especies que se encontraron en las parcelas permanentes de muestreo, para resaltar la importancia de la regeneración natural en los ecosistemas forestales, a través de la identificación de los gremios ecológicos existentes en el bosque seco, determinando la viabilidad del método de restauración pasiva; de igual forma se estudiaron los cambios en el incremento de biomasa y carbono que se obtuvieron durante el periodo de monitoreo en el fragmento de bosque.

El presente estudio tiene el propósito de monitorear la adaptabilidad de las especies, resaltando su potencial para procesos de restauración y/o rehabilitación ecológica, lo cual permitirá brindar información de utilidad a expertos del sector forestal, académicos, estudiantes, autoridades e instituciones enfocadas en la conservación del medio ambiente, empresarios del sector minero y

representantes de la sociedad civil, de manera que estos métodos puedan ser replicados en otros sitios degradados del país para promover la restauración de los mismos.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Comparar el desarrollo de la composición florística y estructura de la regeneración natural mediante parcelas permanentes de muestreo y el crecimiento de seis especies forestales plantadas bajo el sistema de nucleación en un bosque secundario en un periodo de dos años en la Mina San Albino.

2.2 Objetivos específicos

Determinar los cambios en la diversidad, el crecimiento en diámetro y área basal de la vegetación arbórea del fragmento de bosque.

Estimar la producción de biomasa área y fijación de carbono de las especies arbóreas en las parcelas permanentes de muestreo.

Evaluar la sobrevivencia y crecimiento en diámetro y altura de las especies forestales plantadas, bajo el sistema de nucleación en el fragmento de bosque.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 La sucesión vegetal como base para la restauración de los ecosistemas.

Según (Galdo, 2015) “Define en su escrito que un ecosistema es un conjunto de comunidades de organismos formados por un espacio determinado con rasgos biofísicos específicos donde los seres vivos que lo habitan dependen de su existencia”. Rodríguez et al. (2013), mencionan que el ecosistema es un complejo dinámico conformado por comunidades de vegetales, animales, microorganismos y su medio.

Dentro de un ecosistema una comunidad es un “conjunto de diversas especies que habitan en un sitio, abarcando sus complejas interacciones bióticas”; mientras que una población se encuentra dentro de una comunidad y es un “grupo de individuos de una especie que se entrecruzan produciendo poblaciones fértiles y evolutivas con el tiempo” (Rodríguez et al. 2013).

Siendo de gran importancia los ecosistemas es necesaria su conservación que hace referencia a la preservación, restauración, uso sostenible y conocimiento sobre la biodiversidad (Rodríguez et al. 2013), esta última es la variedad de seres vivos que existen sobre la Tierra en todos los niveles, empezando por la diversidad genética, continuando con la diversidad de especies hasta la de ecosistemas y todos los procesos ecológicos y evolutivos que la sostienen (Alvarez, 2021).

3.2 La degradación de ecosistemas y su mitigación.

La degradación del ecosistema es un problema ambiental que disminuye la capacidad de las especies para subsistir, esta degradación ocurre de diferentes formas y se manifiesta reduciendo la capacidad de resiliencia de las unidades ecológicas, así como en su diversidad biológica y en los bienes y servicios que pudieran ofrecer, afectando a especies autóctonas y migratorias. Para mitigar la degradación de los bosques se debe de tener conocimiento de los diferentes métodos de restauración ecológica que existen, estos se deben adecuar a las condiciones y niveles de degradación que presente el sitio, debido que existen diferencias en cada uno de los métodos, presentando distintos niveles de complejidad al desarrollarlos, demandando tiempo y dinero.

Por ejemplo, la Restauración ecológica es el proceso de ayudar a un ecosistema que ha sido perturbado o degradado por causa de diferentes disturbios ya sean naturales o antrópicos, a restablecer la productividad y presencia de un grupo de especies vegetales originalmente presentes previo al disturbio. Con el tiempo y la función de protección del bosque, los servicios ecológicos pueden ser restablecidos (Scholz y Morera Beita, 2016).

En cambio, la Rehabilitación es la manera mediante la cual la estructura y funcionalidad del ecosistema degradado puede mantenerse y autorregularse con ayuda del ser humano mediante la introducción de plantas dentro del ecosistema; en algunos casos por razones ecológicas o económicas, el nuevo ecosistema puede incluir especies que no estaban originalmente presentes, pero estas pueden aumentar la resiliencia del mismo ante cambios bruscos en su entorno.

En el proceso de recuperación de la productividad de un sitio que ha sido degradado comúnmente se utilizan especies diferentes a las presentes antes de un disturbio, en ocasiones son establecidos pequeños grupos de especies. Esto ocasiona que la diversidad biológica que se encontraba originalmente no se recupere, pero la protección y diversos servicios ecológicos pueden ser restituidos (Scholz y Morera Beita, 2016)

Cuando se pretende rehabilitar o restaurar un sitio degradado, es importante conocer el estado actual, pasado y futuro del lugar; con el fin de proponer métodos que estén acorde al: nivel de degradación presente, objetivos del proyecto de restauración (incrementar el valor natural del sitio degradado o mejorar las funciones y servicios del ecosistema), valor ecológico del ecosistema y recursos financieros con los que se cuenten para estos se pueden considerar los siguientes métodos.

3.3 Métodos de Restauración Pasiva.

Siendo un procedimiento que se ejecuta principalmente protegiendo el sitio de disturbios y/o perturbaciones permitiendo la sucesión natural, mediante la implementación de diversas técnicas como: cercado del perímetro para evitar el ingreso del ganado al sitio, protección de la regeneración natural, establecimiento de rondas corta fuego, entre otras. Los diferentes estudios la recomiendan para sitios con un bajo nivel de degradación, perturbaciones no severas, sitios pequeños y rodeados de vegetación nativa; para utilizar este método se requiere de poca intervención humana y tiene bajos costos.

Partiendo de esto, en la presente investigación se empleó la restauración pasiva como uno de los métodos para evaluar el estado sucesional del bosque, a través del establecimiento de parcelas permanentes de muestreo, las cuales son sitios permanentes y periódicamente medidos con el objetivo de monitorear los procesos dinámicos del bosque en un periodo de tiempo establecido el cual permita la evaluación de la sucesión (Louman, 2001).

3.4 Métodos de Restauración Activa.

La restauración activa es todo lo contrario a la pasiva ya que su enfoque resulta muy demandante en términos de recursos tiempo y dinero, aunque resulta ser más rápida que la pasiva y es la manera más frecuente de recuperar ecosistemas perturbados. Esta consiste en intervenir de manera directa dentro de un ecosistema; la intensidad de intervención puede diferir de acuerdo a muchos factores como: el grado de perturbación o nivel de degradación, el ecosistema de referencia, la topografía, el suelo, reintroducción de plantas o animales, fertilización e incluso prevenir o manipular regímenes de disturbios como por ejemplo los incendios (Holl & Aide 2011).

Dentro de los diversos métodos de rehabilitación y/o restauración activa, se encuentra el empleado en esta investigación que es el ensayo de nucleación con especies nativas que, según Yarranton & Morrison (1974) describen como la formación de microhábitats, siendo núcleos facilitadores para la llegada de especies de animales y plantas los cuales aumentan la posibilidad de ocurrencia de interacciones interespecíficas.

Se debe resaltar que la sucesión vegetal es un proceso de cambio en la estructura y composición de la flora de un sitio, donde a lo largo del tiempo se pueden llegar a encontrar una serie de diversas comunidades vegetales, logrando observarse esta sucesión en largos periodos de tiempo (Louman, 2001).

La evolución de la sucesión vegetal puede comprenderse de mejor manera mediante lo explicado por Guariguata y Kattan, (2002) donde proponen un modelo sobre los cambios en el tiempo de los bosques tropicales durante la sucesión, estos investigadores plantean que entre 1-5 años se presenta una colonización donde inicialmente dominan gramíneas, hierbas y helechos, de 5-20 años se encuentra un bosque joven dominado por especies pioneras de vida corta (heliófitas efímeras), a partir de los 20-100 años se logra encontrar un bosque maduro con especies pioneras de vida larga (heliófitas durables) y desde los 100 años en adelante se encuentra un bosque primario donde dominan especies tolerantes a la sombra (Esciófitas).

3.5 Importancia de la ecología en la restauración.

En la presente investigación la ecología como ciencia, juega un papel muy importante ya que, según López et al. (2017), es una disciplina científica que a partir de su teoría desarrolla

principios para guiar la práctica de la restauración de los ecosistemas, porque es la encargada de estudiar la interacción entre los organismos (plantas y animales) y el ambiente en que habitan.

Dentro de la ecología como ciencia y parte de esta investigación, se deben incluir los conocidos e importantes gremios ecológicos ya que mediante su estudio se logra una mejor comprensión de la dinámica que se produce en un bosque luego de una perturbación.

3.5.1 Plantas Heliófitas efímeras.

Comúnmente son especies intolerantes a la sombra, generalmente se reproducen de forma masiva, su crecimiento por lo general es rápido con óptimas condiciones de luz, generalmente pueden llegar a tener una vida corta y son especies de gran importancia durante el proceso de sucesión ecológica (Louman, 2001).

3.5.2 Plantas Heliófitas durables.

Las especies de plantas del gremio heliófitas durables generalmente son especies cuyas semillas mantienen su viabilidad durante más tiempo, además son intolerantes a la sombra con una vida relativamente larga en comparación a las heliófitas efímeras (Louman, 2001).

3.5.3 Plantas esciófitas.

Las plantas esciófitas son aquellas tolerantes a la sombra y generalmente su crecimiento se encuentra relacionado a la apertura del dosel, dicho crecimiento puede llegar a ser más lento que el de las heliófitas (Louman, 2001).

En la dinámica de un bosque no solo se estudian las diferentes especies a lo largo del tiempo; en esta también se incluyen el crecimiento, sus incrementos anuales en diámetro y altura, además de la mortalidad, reclutamiento y recuperación, de igual manera la producción de biomasa y carbono; los cuales se mencionan a continuación ya que, es necesario entenderlos para una mejor comprensión sobre la dinámica de un bosque.

3.6 Dinámica del bosque.

3.6.1 Crecimiento de las especies.

En las especies de plantas el crecimiento no es más que el aumento de tamaño durante el pasar del tiempo, el cual se expresa en términos de diámetro y altura (Louman, 2001).

3.6.2 Mortalidad y Reclutamiento.

La mortalidad estudia la frecuencia del número de pérdidas ocurridas en una comunidad de especies arbóreas situada en un área geográfica y período determinado. Por otra parte, el reclutamiento es un mecanismo que evidencia la capacidad de recuperación de un bosque a diferentes perturbaciones, manteniendo la estabilidad ecológica a través de la fecundidad y el crecimiento de nuevos individuos de las especies que componen el ecosistema.

3.6.3 Incremento periódico Anual.

“El incremento o crecimiento periódico anual (IPA) corresponde a lo que el árbol creció en promedio en un determinado periodo de años. El cálculo se realiza considerando los valores del inicio y al final del periodo y el número de años” (Imaña y Encinas 2008).

3.6.4 Incremento medio Anual.

El incremento medio anual según el CATIE (2002) es un valor que manifiesta el crecimiento anual promedio de un árbol durante su vida; para su cálculo se utiliza el crecimiento total y la edad del árbol.

3.7 Biomasa.

3.7.1 Biomasa aérea.

La biomasa se define como la cantidad total de material orgánica viva que existe por arriba del suelo (incluyendo hojas, ramas, fuste y corteza), es la que conforma las estructuras leñosas aéreas de especies frutales maderables y otros árboles y arbustos del sistema productivo (Sotelo et al. 2008).

3.8 Almacenamiento de carbono.

El carbono es intercambiado de manera natural entre estos sistemas y la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis, respiración, descomposición y combustión el cual queda retenido en la biomasa viva o cantidad de materia vegetal, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo (Sotelo et al. 2008).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Diseño metodológico.

Las actividades de la investigación se desarrollaron mediante tres etapas: la primera etapa consistió en el reconocimiento del área de estudio, la segunda radicó en el levantamiento de datos de campo y la tercera etapa se basó en realizar los cálculos y análisis de los resultados.

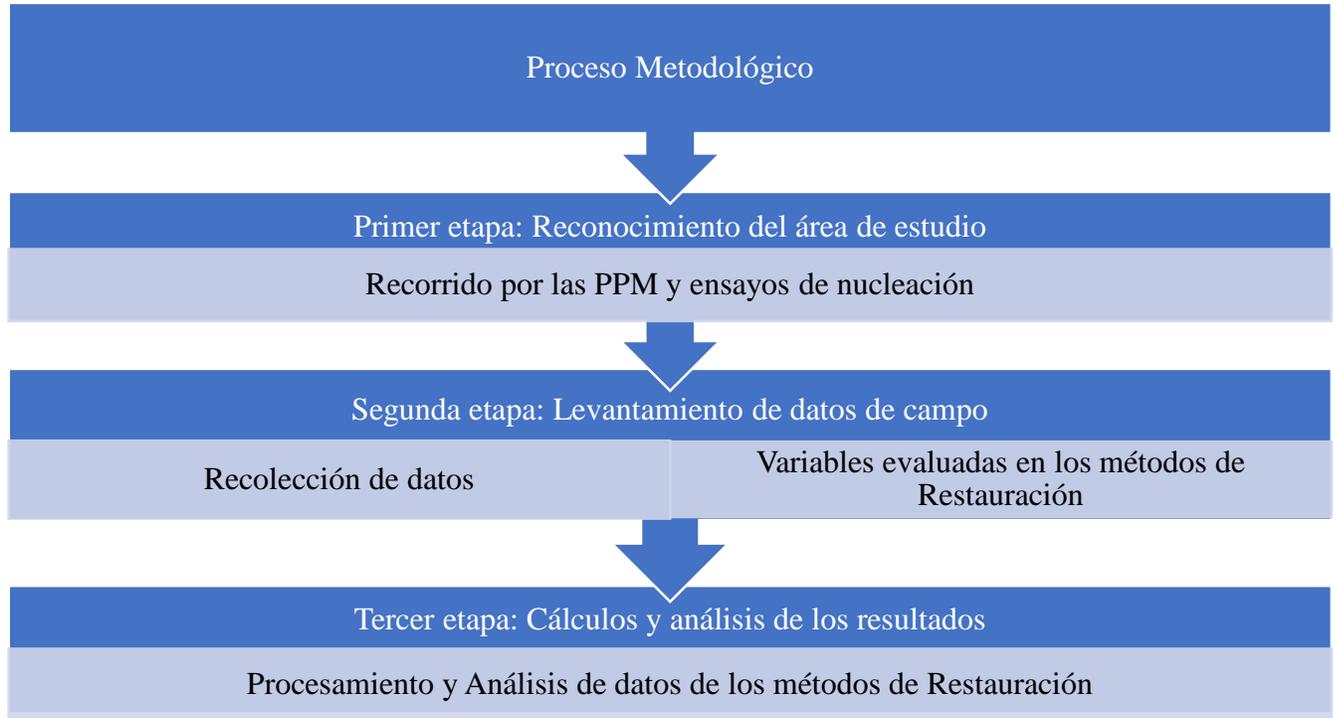


Figura 1. Proceso metodológico de la investigación.

4.2 Primera etapa: Reconocimiento del área de estudio.

Es importante mencionar que las parcelas permanentes de muestreo fueron establecidas por docentes y estudiantes de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente en el 2019. Esta etapa consistió en realizar un recorrido para localizar las parcelas y las plantaciones de nucleación junto a docentes y estudiantes que las establecieron. Durante la primera gira de campo se realizó un reconocimiento del sitio recorriendo el área total del fragmento, ubicando las parcelas permanentes de muestreo y los ensayos que se establecieron bajo el diseño de hexágono en el fragmento de bosque de la Mina San Albino en el departamento de Nueva Segovia, municipio de El Jícaro.

4.3 Ubicación del área de estudio.

El estudio fue llevado a cabo en un fragmento de bosque seco de 6.9 ha perteneciente a la Empresa Nicoz Resources S.A, localizado en la Mina San Albino, en el municipio de El Júcaro, departamento de Nueva Segovia, ubicada en las coordenadas 13° 43' 12" latitud norte y 86° 08' 12" longitud oeste (Figura 2). La mina se encuentra ubicada a una altura de 525 msnm, con precipitaciones promedio anual de 1000-1300, con temperatura promedio de 29°C y una humedad relativa de 52%. Estos datos fueron recolectados en campo.

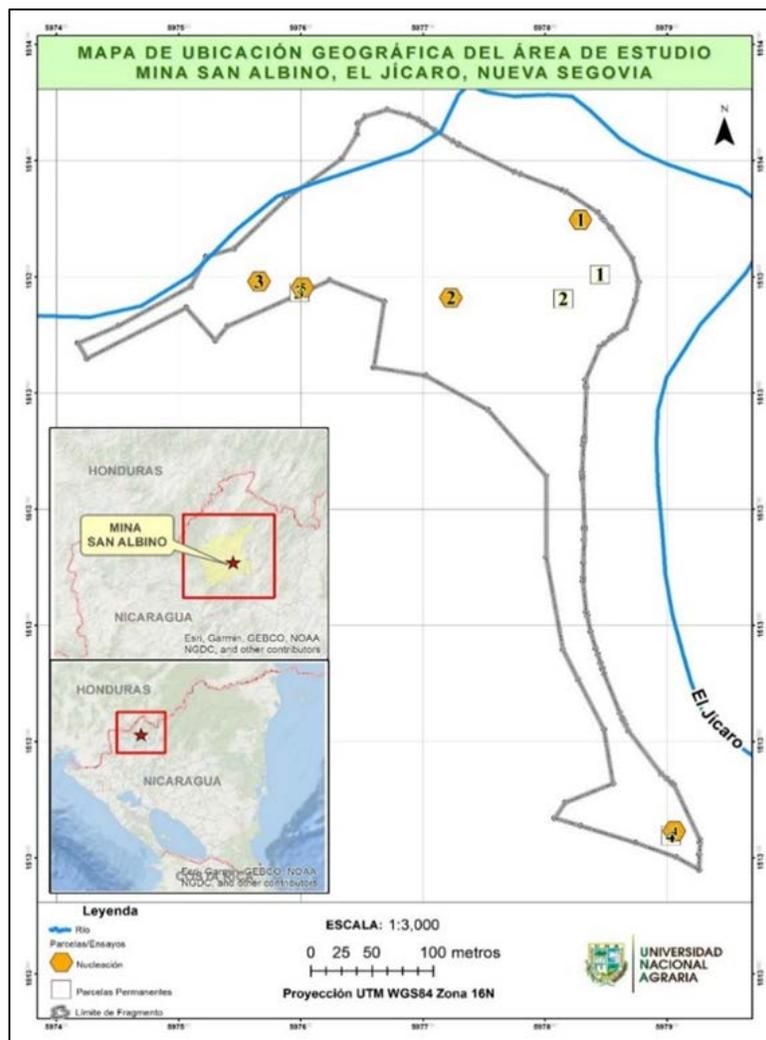


Figura 2. Mapa del área de estudio.

Nota; Mapa del área de estudio tomado de (López y Reyes 2022).

4.4 Segunda etapa: Levantamiento de datos de campo en las parcelas permanentes y ensayos de nucleación.

4.4.1 Recolección de datos.

La recolección de datos para esta investigación fue realizada durante la segunda gira de campo en el mes de marzo de año 2021 y tercera gira de campo en noviembre del mismo año, con el propósito de evaluar los avances durante dos años en los métodos de restauración, ya que las mediciones del primer estudio realizado fueron recolectadas en los meses de noviembre 2019 y marzo 2020.

Recolección de datos para Restauración pasiva (Parcelas permanentes de muestreo).

Se realizó mediante cuatro parcelas permanentes las que fueron establecidas en un fragmento de bosque de la Mina San Albino, en coordinación la Universidad Nacional Agraria y en colaboración de la empresa Nicoz Resources S.A, en el mes de noviembre del año 2019. En el método de restauración pasiva fue recopilada información de las cuatro parcelas permanentes que se encuentran distribuidas en el fragmento.

Las parcelas permanentes poseen una dimensión de 25x25m, dentro de las cuales fueron medidos los fustales, cada árbol medido fue enumerado y marcado con pintura en spray. Dentro de las parcelas de 25x25m se encontraban establecidas subparcelas de 10x10m en dos extremos opuestos de esta donde fueron medidos los latizales; dentro de estas se localizaban dos subparcelas de 5x5m donde se realizó un conteo de todos brinzales (Figura 3).

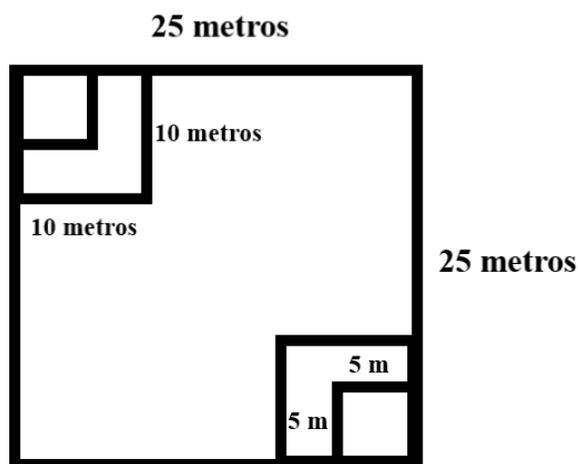


Figura 3. Diseño de las parcelas permanentes de muestreo.

Para registrar la información de cada parcela permanente de muestro, se utilizó un formato de campo previamente elaborado, donde se registró para Fustal: Numero de parcela, Numero de árbol, Nombre común, Diámetro, Altura, Calidad de fuste, Forma de copa, Iluminación, Lianas y Observaciones anexo 2. Para Latizal: Número de parcela, Número de la subparcela, Número de árbol, Nombre común, Diámetro, Altura y Observaciones anexo 3. Para Brinzales: Número de parcela, Numero de la subparcela, Numero de planta, Nombre común y la cantidad de veces encontrado anexo 4.

Recolección de datos para Restauración activa (Plantaciones de nucleación con arreglo hexagonal).

El ensayo fue establecido en el mes de marzo del año 2020 por estudiantes de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, en un fragmento de bosque de la Mina San Albino en el municipio de El Jícaro-Nueva Segovia, en coordinación con la empresa Nicoz Resources S.A. En el método de restauración activa se recolectó información de cinco ensayos de nucleación distribuidos en todo el fragmento de bosque.

Cada ensayo se encuentra establecido dentro de una parcela circular con un área de 201 m², la cual posee 6 radios de 8 metros cada uno, con una distancia de 2-4 metros entre plantas, contando con un total de 19 individuos de ocho especies diferentes, siendo Madroño (*Calycophyllum candidissimum*), Quebracho (*Lysiloma divaricatum*), Cedro (*Cedrela odorata*), Cortez (*Handroanthus ochraceus* ssp. *neochrysanthus*), Ojoche (*Brosimum alicastrum*), Roble (*Tabebuia rosea*), Guanacaste Negro (*Enterolobium cyclocarpum*) y Guapinol (*Hymenaea courbaril*); en total para los 5 ensayos se establecieron la cantidad de 95 plantas (Figura 4).

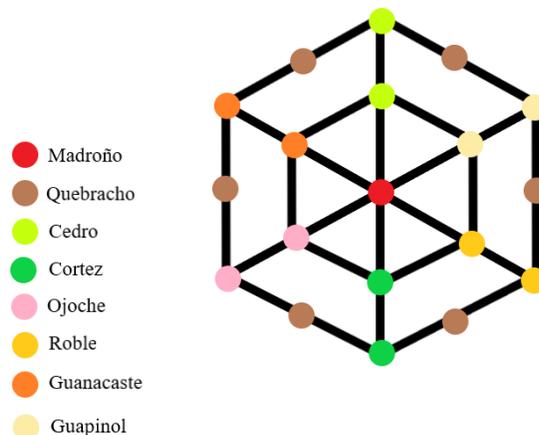


Figura 4. Modelo de ensayos de nucleación.

Para la recopilación de la información en los ensayos de nucleación, fue utilizado un formato de campo previamente elaborado para anotar el Número de ensayo, Nombre común, Diámetro, Altura y Observaciones anexo 1.

4.4.2 Variables evaluadas en los métodos de Restauración.

Variables medidas para Restauración Pasiva.

Las variables evaluadas en las parcelas permanentes fueron: Diámetro y Altura de fustales y latizales, para brinzales se realizó un conteo de los individuos presentes dentro de las parcelas, además del estado fitosanitario como: condición de fuste, forma de copa, iluminación de copa, presencia de lianas.

Diámetro a la Altura del Pecho: Según Duarte et al. (2004) “El diámetro de un árbol se mide a 1.3 mts de altura sobre el nivel del suelo, a este diámetro se le conoce como Diámetro a la Altura del Pecho (Dap). Para esta medida se utiliza forcípula o una cinta diamétrica” (pp.83-84).

Para fustales se incluyeron todos los árboles con Dap mayor a 10 cm y para latizales se tomaron todos aquellos individuos con Dap de 5 – 9.9 cm.

Altura total: Según Reyes et al. (2021) “es la distancia desde el nivel del suelo hasta el ápice del árbol” (p. 17). Para esta investigación la altura fue medida utilizando un clinómetro. Debido al relieve del área, se consideraron diferentes métodos de medición de altura respecto al terreno.

Variables medidas para Restauración Activa.

Para los ensayos de nucleación las variables medidas fueron el Diámetro y Altura, además se contabilizó la cantidad de plantas vivas. Las mediciones de Dap para los individuos en los ensayos, se realizó utilizando un vernier o también llamado pie de rey, colocándolo en la base de la planta; la medición de altura se realizó con una cinta métrica colocada desde la base de la planta hasta el ápice de la misma. Utilizando como base de referencia lo expresado por Noguera et al. (2014). “altura de planta o longitud del tallo en centímetros (con regla graduada, desde el nivel del suelo hasta el ápice de la rama apical), diámetro del tallo en centímetros (en la base de la plántula, con pie de rey)”.

4.5 Tercera etapa: Procesamiento y Análisis de datos de campo de los métodos de Restauración.

Para el análisis de los datos, se ordenaron y se procesaron en tablas de excel, para realizar los cálculos de área basal, tasas de mortalidad, reclutamiento y recuperación, incremento periódico anual (IPA), Incremento medio anual (IMA), tasa anual de pérdida, ganancia y Crecimiento del área basal, además del cálculo de biomasa aérea y carbono almacenado. Así mismo se utilizó el programa past para obtener el análisis de la composición y diversidad del fragmento de bosque.

4.5.1 Análisis de datos de Restauración Pasiva.

Índice de Simpson.

Según Baev y Penev (1995) es un método generalmente utilizado para determinar la diversidad de una comunidad, según los autores este índice manifiesta la probabilidad que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie, esto se encuentra fuertemente influido por la importancia de las especies dominantes.

$$\sigma = \sum (pi)^2$$

Donde:

σ = Índice de dominancia

P_i = Proporción de los individuos registrados en cada especie (n/N)

n = Número de individuos de la especie

N = Número total de especies

Entonces el índice de diversidad de Simpson es:

$$\lambda = 1 - \delta$$

Donde:

λ = Índice de diversidad de Simpson

δ = Índice de dominancia

Para lograr comprender los resultados es importante aclarar que entre más se acerque a 1 más diverso es el ecosistema.

Cuadro 1. Escala de significancia para el Índice de diversidad de Simpson.

Valores	Significado
0 – 0.33	Diversidad Baja
0.34 – 0.66	Diversidad Media
> 0.67	Diversidad Alta

(Baev y Penev 1995)

Índice de Shannon-Wiener.

Según Magurran (1988) el índice de Shannon-Wiener “mide el grado promedio de incertidumbre al predecir a que especies pertenece un individuo escogido al azar de una colección o grupo determinado de S especies y N individuos” (p.9).

“El índice de Shannon-Wiener, aumenta con el número de especies y esta toma mayores valores cuando las proporciones de las distintas especies son similares” (Magurran, 1988).

“El rango de evaluación del índice de Shannon-Wiener: Para valores normales es de 2 a 3, valores menores a 2 se considera bajo de diversidad y valores mayores a 3 se considera alto en diversidad” (Magurran, 1988).

La ecuación de Shannon-Wiener se expresa:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \ln p_i)$$

donde: p_i y S son parámetros poblacionales, en la práctica H' es estimada.

$$H' = - \sum_{i=1}^s [(n_i/n) \ln(n_i/n)]$$

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

n_i = Número de individuos que pertenece a la i - éstima especies en la muestra.

n = Número total de individuos en la muestra (Magurran, 1988).

Índice de Similitud de Jaccard.

Considera las especies que tienen en común dos muestras diferentes y el número de especies total que tiene cada una (Aguirre Mendoza, 2013, p. 41).

Este índice se calcula con la siguiente fórmula:

$$Ij = \frac{c}{a + b + c} * 100$$

Donde:

Ij = Índice de Similitud de Jaccard.

a = número de especies del año 2019

b = número de especies del año 2021

c = número de especies en común (Magurran, 1988).

Área Basal.

Según Machari (2019) menciona que “el área basal es un indicador de la condición de desarrollo de un árbol y es utilizado frecuentemente, conocido como el área de la sección transversal de árbol medido a 1,30 metros al ras del suelo” (p.21).

Según Ugalde, CATIE (1981, como se citó en Reyes et al. 2021, p.16) se puede determinar de la siguiente manera:

$$AB \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} * DN^2$$

Dónde:

AB: Área basal (m²)

$\pi /4$: constante 0.7854

DN: Diámetro normal medido a los 1.30 m sobre la superficie del suelo

Dinámica del bosque.

Los parámetros demográficos Tasa de mortalidad, reclutamiento y recuperación se aplicaron para los datos de los ensayos de restauración pasiva y activa.

Ecuaciones para la determinación de parámetros demográficos

Tasa de Mortalidad (m) (Baev y Penev 1995).

$$m = \frac{\ln N_{19} - \ln N_s}{t}$$

Tasa de Reclutamiento (r) (Baev y Penev, 1995).

$$r = \frac{\ln N_{21} - \ln N_s}{t}$$

Tasa de Recuperación (λ) (Baev y Penev, 1995).

$$\lambda = r - m$$

Donde:

m = Tasa de mortalidad anual (%/año)

r = Tasa de reclutamiento anual (%/año)

λ = Tasa de recuperación anual (%/año)

\ln = Logaritmo natural

N_{19} = Número de individuos vivos en 2019

N_s = Número de individuos sobrevivientes en 2021 (N_{19} – el número de individuos muertos)

N_{21} = N_s + número de individuos reclutados

t = Intervalo de tiempo entre el primer y último muestreo, expresado en años

Incremento Periódico Anual (IPA).

“El incremento o crecimiento periódico anual (IPA) corresponde a lo que el árbol creció en promedio en un determinado periodo de años. El cálculo se realiza considerando los valores del inicio y al final del periodo y el número de años” (Imaña y Encinas, 2008, p. 60).

$$IPA = (Y_{(t+n)} - Y_t)/n$$

Donde:

Y = dimensión de la variable considerada

t = edad

n = período de tiempo

$$IPA = \frac{\text{Dap 2021} - \text{Dap 2019}}{T (2 \text{ años})}$$

Tasa anual de pérdida, ganancia y de crecimiento del área basal.

Tasa anual de pérdida en área basal (%/año)

$$PAB = \frac{\ln AB19 - \ln ABs19}{t}$$

Tasa anual de ganancia en área basal (%/año)

$$GAB = \frac{\ln AB21 - \ln ABs19}{t}$$

Tasa anual de crecimiento en área basal (%/año)

$$CAB = \frac{\ln ABs21 - \ln ABs19}{t}$$

Donde:

PAB: Tasa anual de pérdida en área basal (%/año)

GAB: Tasa anual de ganancia en área basal (%/año)

CAB: Tasa anual de crecimiento en área basal (%/año)

ln: Logaritmo natural

AB19: Área basal de los individuos vivos en 2019

ABs19: El área basal en el 2019 de los individuos sobrevivientes del 2019 al 2021

ABs21: Área basal en el 2021 de los individuos sobrevivientes del 2019 al 2021

AB21: ABs21 + Área basal de los individuos reclutados en el 2021

t: Intervalo de tiempo entre el primer y último muestreo, expresado en años (Magurran, 1988).

Biomasa Aérea.

$$AGB = \exp[-2 + 2.42 \ln (dbh)] \quad (\text{Heymel et al., 2011, p. 22})$$

Donde: **AGB** = Biomasa aérea en kg

Exp = Exponencial

ln = Logaritmo natural

dbh = Diámetro a la altura del pecho, Dap en cm

Carbono almacenado.

“Para determinar el carbono almacenado se debe considerar la conversión del volumen del árbol en biomasa y el factor de carbono (Fc) que según IPCC es de 0.5” (Salmerón, 2020, p. 10).

$$C = Bf * Fc$$

Donde:

C= Carbono almacenado en toneladas

Bf= Biomasa forestal en toneladas

Fc= Factor de carbono (0.5) (Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC], 2001, como se citó en Salmerón, 2020, p. 10).

4.5.2 Análisis de datos de Restauración Activa.

Incremento Medio Anual (IMA).

El incremento medio anual se refiere al crecimiento del árbol en diámetro o altura durante su vida, es necesario la actualización de información del incremento medio anual en las especies potenciales para la restauración ecológica; para realizar el cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$IMA = \frac{C_{21}}{T(\text{edad})}$$

Donde:

C 21= Crecimiento 2021

T= Edad del árbol

Sobrevivencia.

La Sobrevivencia se refiere a la cantidad de plantas vivas en una determinada plantación después de cierto período de tiempo. En la presente investigación se determinó mediante el número de plantas sembradas y el número de plantas encontradas durante la medición, como se muestra a continuación:

$$\% \text{ Sobrevivencia} = \frac{Pv}{(Pv + Pm)} * 100$$

Donde:

Pv: plantas vivas

Pm: plantas muertas

Las categorías para la evaluación de la sobrevivencia de las especies: Madroño, Quebracho, Cedro, Cortez, Ojoche, Roble, Guanacaste y Guapinol, fueron las propuestas por (Centeno, 1993, como se citó en López, 2015).

Cuadro 2. Categorías para la evaluación de la sobrevivencia de las plantas.

Categorías	Porcentaje de Sobrevivencia
Muy Bueno	80 - 100%
Bueno	60 – 79%
Regular	40 – 59 %
Malo	< 40%

4.6 Materiales y equipos.

Entre los materiales y equipos que se utilizaron para la investigación están:

- Tabla y Formularios de campo
- Cinta métrica
- Cinta diamétrica
- Clinómetro
- Vernier
- Cinta biodegradable
- Placas metálicas
- Alambre de amarre
- GPS

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Composición Florística.

5.1.1 Riqueza de especies.

Para el año 2019 en la categoría fustal se encontraron catorce individuos en 0.25 ha distribuidos en cuatro familias sobresaliendo la Fabaceae, donde se encuentran las especies Carbón y Gavilán, los individuos restantes se distribuyen en las familias Malvaceae con individuos de Guácimo de ternero, Bixaceae con Poro poro y Urticaceae con Guarumo, estos resultados son de la primera medición.

Por otra parte, en el año 2021 se encontraron veintitrés individuos distribuidos siempre en cuatro familias encontrándose la mayoría individuos de la familia Fabaceae, siendo la especie Carbón y Gavilán las que sobre salen en el estrato; siendo datos bajos, en comparación a los encontrados por (Villalobos, 2021) en el estudio de caracterización florística de un paisaje antrópico con árboles remanentes en el Valle Central Occidental de Costa Rica, identificando una riqueza de 18 especies, correspondientes a 16 familias, donde la Fabacea Mimosoidea y la Burseracea tiene la mayor cantidad de individuos.

Es importante mencionar que en la familia Urticaceae hay un aumento significativo de individuos de la misma especie de Guarumo, mostrando de la misma manera los resultados en las Bixaceae en los individuos de Poro poro y Malvaceae con Guácimo de ternero encontrándose un descenso en esta especie por daños de plagas. Lo que demuestra la sucesión ecológica que se está efectuando en este estadio al mostrar resultados en aumento en diámetro y número de individuos, encontrando familias pioneras en colonizar áreas degradadas, las cuales forman parte del proceso de restauración ecológica a través del método pasivo o regeneración natural a como se aprecia en el cuadro 3.

Cuadro 3. Especies de la categoría fustal en la técnica de restauración pasiva.

Especies	Nombre Científico	Familia	Año	
			2019	2021
Carbón	<i>Vachellia pennatula</i>	Fabaceae	6	11
Guácimo de ternero	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	3	2
Guarumo	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Urticaceae	2	7
Poro poro	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bixaceae	2	2
Gavilán	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	Fabaceae	1	1

En el estado de latizal se encontraron nueve familias en 0.08 ha contenidas en 30 individuos para el año 2019, resaltando la familia Mimosaceae con representantes de la especie Cornizuelo y Guanacaste negro, por consiguiente, la familia Fabaceae muestra individuos de Carbón, así mismo se encuentran de la familia Boraginaceae representada por Laurel.

Mientras que en Bixaceae encontramos Poro poro, del mismo modo en la familia Malvaceae se obtuvo individuos de Guácimo de ternero y de la familia Sapindacea Pacón, mientras que de la familia Apocynaceae se registran individuos que corresponden a Cachito observando que para la familia Caesalpinaceae solo está representada por el ejemplar de Carao al igual que la familia Urticaceae representada por Guarumo estos son los resultados obtenidos del primer monitoreo en el fragmento de bosque, a como se logra observar en el cuadro 4.

En el estado de latizal se encontraron nueve familias contenidas en 39 individuos para el año 2021, resaltando la familia Mimosaceae con representantes de la especie Cornizuelo y de Guanacaste Negro, seguido de la familia Fabaceae con individuos de Carbón y Quebracho por otra parte en la Boraginaceae se encuentran representantes de Laurel y de Mulule.

Las familias anteriores fueron encontradas indistintamente por Sánchez Merlo et al. (2005) en un estudio de diversidad, composición y estructura de la vegetación en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas-Nicaragua, encontrando familias representativas del bosque seco secundario, donde sobresalen Fabaceae y Mimosaceae, seguidas por Bignoniaceae y Caesalpinaceae, datos similares a los encontrados en el fragmento de bosque estudiado.

Así mismo, la familia Bixaceae está representada por Poro poro, por consiguiente se muestra la Malvaceae con miembros de Guácimo de ternero, en la Myrtaceae se encuentra Guayaba en

cambio en la familia Sapindaceae se registró un individuo de Pacón, al igual que en la Caesalpinaceae mostrando su único representante Carao; esto refleja el aumento en la emergencia de especies en el desarrollo en la sucesión ecológica, evidenciado los cambios positivos encaminados a recuperar especies propias de la zona y de importancia ecológica para el ecosistema.

Cuadro 4. Especies de la categoría latizal en la técnica de restauración pasiva.

Especies	Nombre Científico	Familia	Año	
			2019	2021
Poro poro	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bixaceae	7	6
Cornizuelo	<i>Vachellia callinsii</i>	Mimosaceae	6	6
Carbón	<i>Vachellia pennatula</i>	Fabaceae	5	5
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	3	5
Cachito	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	Apocynaceae	2	4
Guácimo de ternero	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	2	3
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	2	2
Carao	<i>Cassia grandis</i>	Caesalpinaceae	1	1
Guanacaste negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Mimosaceae	1	2
Guarumo	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Urticaceae	1	0
Pacón	<i>Sapindus saponaria</i>	Sapindaceae	0	1
Majagua	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Meliaceae	0	1
Mulule	<i>Varronia.</i>	Mimosaceae	0	1
Quebracho	<i>Lysiloma divaricatum</i>	Fabaceae	0	2

Para el año 2019 en el estadio de brinzal se encontraron un total de doce familias distribuidas en veintiún especies contenidas en ciento cuatro individuos en 0.02 ha en las cuales resaltan las familias Malvaceae la cual se encuentra representada por individuos de la especie guácimo de ternero, seguido de la familia Mimosaceae la cual está representada por Barba de chivo, Guanacaste negro, Cornizuelo. Por otra parte, podemos encontrar a la familia Lythraceae con individuos de la especie Achotillo a si mismo la familia Boraginaceae se encuentra representada por individuos de Laurel, en lo que respecta al resto de especies se distribuyen en las familias con representaciones bajas en individuos por especie cuadro 5.

Mientras que para el 2021 se encontraron once familias distribuidas en dieciocho especies contenidas en ciento ochenta dos individuos donde las familias más representativas en este estadio son Mimosaceae la cual cuenta con individuos de la especie Barba de chivo, Cornizuelo

y Guanacaste negro donde se observa un cambio para la familia Malvaceae la cual la representa la especie de Guácimo de ternero.

Además, se notó un aumento para la familia Boraginaceae donde se encontraron individuos de la especie Laurel, siendo estas las especies sobresalientes en la distribución dinámica del bosque lo que demuestra que durante el monitoreo de la investigación en el fragmento de bosque estas son las familias más representativas, esto debido al tipo de bosque y su estado de desarrollo connotando que hay una diferencia significativa debido al aumento en los individuos y aparición de nuevas especies como parte de la ecología poblacional del fragmento de bosque.

Cuadro 5. Especies de la categoría brinjal en el método de restauración pasiva.

Especies	Nombre Científico	Familia	Año	
			2019	2021
Guácimo de ternero	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	35	57
Barba de chivo	<i>Calliandra houstoniana</i>	Mimosaceae	16	67
Achotillo	<i>Pehria compacta</i>	Lythraceae	11	0
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	7	22
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	7	2
Guanacaste negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Mimosaceae	4	2
Cornizuelo	<i>Acacia callinsii</i>	Mimosaceae	3	5
Cortez	<i>Handroanthus ochraceus ssp. neochrysanthus</i>	Bignoniaceae	3	2
Cafesillo	<i>Casearea sp.</i>	Salicaceae	2	0
Carbón	<i>Vachellia pennatula</i>	Fabaceae	2	0
Carne de perro	Desconocido	Desconocido	2	0
Cimarro	<i>Plocosperma buxifolium</i>	Plocospermataceae	2	0
Quebracho	<i>Lysiloma divaricatum</i>	Fabaceae	2	0
Frijolillo	<i>Senna hayesiana</i>	Fabaceae	1	3
Gavilán	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	Fabaceae	1	1
Guayabillo	<i>Myrcianthes fragans</i>	Myrtaceae	1	4
Jiñocuabo	<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	1	5
Mulule	<i>Varronia sp.</i>	Mimosaceae	1	2
Nancite	<i>Ziziphus guatemalensis</i>	Ramnaceae	1	0
Ron ron	<i>Senna skinneri</i>	Caesalpiniaceae	1	0
Zarza	<i>Mimosa albida</i>	Fabaceae	1	0
Caoba	<i>Swietenia humilis</i>	Meliaceae	0	1
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	0	1
Guacamaya	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae	0	1

Guácimo de molenillo	<i>Luehea candida</i>	Malvaceae	0	2
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	0	1
Poro poro	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bixaceae	0	4

5.2 Diversidad Florística.

Durante el periodo evaluado de dos años 2019- 2021 en la categoría fustal se mantuvo el número de especies registradas en el año inicial. Sin embargo, el número de individuos de las cinco especies se incrementó significativamente en 9 ($p = 0.000$), lo que indica que el reclutamiento de individuos fue superior a la mortalidad. Por otra parte, de acuerdo a los índices de diversidad y dominancia no hubo cambios significativos en el periodo evaluado cuadro 6.

En general, los resultados indican que, para un periodo de dos años, los cambios en composición y diversidad florística son bajos, lo que posiblemente se deba a la edad del estado sucesional del fragmento de bosque y a la categoría de tamaño evaluada. Es importante señalar que, con la finalidad de restauración ecológica pasiva, el mantenimiento de las especies, diversidad y número de individuos es importante, ya que, está contribuyendo y propiciando la llegada de nuevas especies en categorías de tamaños inferiores latizal y brinzal. Lo que se discutirá más adelante en el documento.

A través del análisis que se realizó en past se logró concretar la diversidad en el estadio fustal, asemejando un incremento en la abundancia de algunas especies las cuales muestran el aumento en los índices de diversidad, pero no hay una diferencia significativa según la permutación del índice y es aquí donde se distribuyen especies que comparten gremios ecológicos que forman y crean la diversidad funcional coexistente en el ecosistema de estudio, donde se sintetiza el proceso de impulsar la recuperación de vegetación que ha sido degradada o destruida, para restaurar la integridad del ecosistema que ha sido alterado.

En la categoría latizal en el periodo evaluado de dos años 2019- 2021 hubo un aumento de tres especies registradas en el último monitoreo. Por otra parte, el número de individuos de las diez especies se incrementó en 9 ($p = 0.000$), lo que indica que el reclutamiento de individuos fue superior a la mortalidad. A través del análisis que se realizó en past se logró sintetizar la diversidad en el estadio latizal, identificando un incremento y abundancia de algunas especies las cuales muestran el aumento en los índices de diversidad, pero no hay una diferencia

significativa según la permutación del índice. Por otra parte, de acuerdo a los índices de diversidad y dominancia no hubo cambios significativos en el periodo evaluado cuadro 6.

Por otra parte, podemos observar que en el estadio brinzal para el periodo de monitoreo 2019-2021, comprende la sucesión forestal, habiendo un incremento de 78 individuos ($p = 0.000$), bajo condiciones de resguardo en la restauración pasiva, resultados que se están obteniendo en este corto periodo de monitoreo a través de las parcelas permanentes de muestreo, sabiendo que en la restauración pasiva se comprenden largos periodos para poder rehabilitar dichos ecosistemas; lo que indica que el reclutamiento de individuos fue superior a la mortalidad, habiendo solo dos especies en deceso, permitiendo la existencia de nuevas especies y el aumento de individuos. Es de importancia destacar que el área de estudio ha servido como hábitat de especies de fauna, las cuales permiten la dispersión de semillas mejorando las condiciones del sitio que componen la comunidad vegetal. cuadro 6.

Cuadro 6. Índices de diversidad de las categorías fustal, latizal y brinzal en el método de restauración pasiva.

Categoría de Tamaño	Característica	Año		Probabilidad
		2019	2021	
Fustal	Número de especies	5	5	1
	Número de individuos	14	23	0.000
	Dominancia	0.39	0.34	0.69
	Índice de Shannon	1.22	1.25	0.91
Latizal	Número de especies	10	13	0.29
	Individuos	30	39	0
	Dominancia	0.15	0.11	0.16
	Índice de Shannon	2.07	2.37	0.16
Brinzal	Número de especies	21	19	0.88
	Individuos	104	182	0
	Dominancia	0.16	0.25	0.01
	Índice de Shannon	2.32	1.88	0.02

5.3 Análisis de Similitud de Jaccard en el fragmento de bosque.

Durante el monitoreo en el fragmento de bosque de 6.9 ha se evaluó la Similitud de Jaccard de las categorías de vegetación entre dos años de evaluación, con el propósito de identificar el comportamiento de las especies en el tiempo cuadro 7. En la comparación de la categoría Fustal durante dos años 2019-2021 la similitud que se obtuvo fue de 100% que representan las cinco especies encontradas en esta categoría mostrando que es la similitud más alta ya que todas las especies sobrevivieron en el período de dos años, esto debido a la conservación del bosque y el comportamiento de los individuos que se albergan en las especies del ecosistema.

El índice de Jaccard encontrado en la categoría Latizal es de una semejanza equivalente al 64.28% encontrando 09 especies en común entre el periodo 2019-2021 siendo estas Guácimo de ternero, Poro poro, Cornizuelo, Carbón, Laurel, Cachito, Guayaba, Carao y Guanacaste negro, lo que nos indica la sobrevivencia y adaptabilidad de las especies del bosque en sus procesos de restauración de los ecosistemas.

Así mismo, se encontró que la categoría Brinzal durante los años 2019-2021 tiene en común 12 especies representando el 42.85 % de similitud según el índice de Jaccard, las especies en común son Guácimo de ternero, Guarumo, Poro poro, Barba de Chivo, Gavilán, Guanacaste negro, Laurel, Guayabillo, Jiñocuabo, Mulule, Cornizuelo, Cortez.

En general se observa que, con el pasar del tiempo han habido ciertos cambios de especies en las categorías Latizal y Brinzal, lo cual podemos atribuirlo a la propia ecología de las especies y sus gremios ecológicos, ya que algunas son pioneras de vida corta heliófitas efímeras y otras pioneras de vida larga heliófitas durables pero siempre especies propias de bosque seco; lo antes mencionado nos brinda la base para registrar y confirmar la evolución de la sucesión vegetal del fragmento de bosque en el tiempo, demostrando la importancia del monitoreo del fragmento de bosque, basándonos en lo propuesto por Guariguata y Kattan (2002).

La especie Guácimo de ternero se encuentra en las tres categorías de vegetación del fragmento de bosque, lo que puede atribuirse a sus características ecológicas que nos indican que es una especie pionera que coloniza rápidamente espacios abiertos y frecuentemente encontrada en bosque o vegetación secundaria (Quezada et al. 2010).

Esta especie fue igualmente encontrada por Sánchez et al. (2005) en el estudio de diversidad, composición y estructura de la vegetación en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas-Nicaragua, donde de las 109 especies encontradas solamente cinco estuvieron presentes en todos los hábitats, siendo de relevancia el Guácimo de ternero al encontrarlo en los diferentes estratos del fragmento de bosque estudiado.

Cuadro 7. Índice de Jaccard del fragmento de bosque.

Comparación de categorías entre años	Jaccard	n° de especies en común
Fustal 2019-2021	100	5
Latizal 2019-2021	64.28	9
Brinzal 2019-2021	42.85	12

5.4 Dinámica poblacional en Restauración pasiva.

5.4.1 Parámetros demográficos (Mortalidad, Reclutamiento y Recuperación) del fragmento de bosque.

En la categoría fustal la tasa de mortalidad es menor al reclutamiento y recuperación, mostrando que el individuo muerto de Guácimo de ternero por presencia de comején corresponde al 0.04% de mortalidad dato que no mostró un impacto negativo sobre la recuperación en esta categoría de vegetación, expresando este un porcentaje positivo para el estadio sucesional en comparación al 1.5% anual de mortalidad encontrado por Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado (2013) para un estadio sucesional tardío del Parque Natural Santa Rosa en Costa Rica, siendo esta un área con edad aproximada de más de 100 años cuadro 8.

De igual manera en esta categoría se reclutaron nuevos individuos de las especies de Carbón, Poro poro y Guarumo las cuales representan el 0.28% del reclutamiento dentro del bosque cuadro 8, siendo este menor que el 1.5% de reclutamiento anual encontrado por Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado (2013) en el estadio tardío de su estudio en Costa Rica, esto puede deberse a la propia edad del bosque, ya que el fragmento estudiado en la Mina San Albino es más joven que el mencionado anteriormente.

Es importante resaltar que estas especies contienen individuos remanentes los cuales están cumpliendo la función de ser árboles semilleros y albergue de fauna silvestre encargada de dispersar semillas, lo que ha tenido una gran influencia sobre la regeneración natural, como es

el ejemplo que 3 de los individuos reclutados provienen de la categoría Latizal, puesto que han incrementado en Dap para ser considerados Fustales, 7 son árboles nuevos encontrados en la parcela en el segundo año de monitoreo, mediante estos datos podemos reflejar el 0.25% que es la recuperación o sobrevivencia en la categoría fustal del fragmento de bosque manteniendo especies e integrando nuevas.

Para la categoría latizal encontramos que la tasa de reclutamiento es mayor que la mortalidad con el ingreso de nuevas especies a esta categoría entre ellas Guayaba, Majagua, Mulule. y Quebracho las cuales representan el 0.24% del reclutamiento, siendo menor al encontrado en el Parque Nacional Santa Rosa de Costa Rica con 4.8% anual para un estadio intermedio de aproximadamente 50 años de edad cuadro 8.

Para la tasa de mortalidad es necesario mencionar que 3 individuos de la especie Guarumo pasaron a la categoría fustal, habiendo encontrado solo 3 individuos muertos que corresponden a las especies Pacón y Poro poro para el período de la investigación que representan el 0.11% de pérdida; mientras en la investigación realizada en el Parque Nacional Santa Rosa en Costa Rica se encontró 2.6% anual de mortalidad; durante el periodo de monitoreo el bosque presento 0.13% de recuperación siendo un poco mayor que la mortalidad cuadro 8, estas variaciones en los datos pueden atribuirse a perturbaciones ocurridas años atrás y a la edad propia del bosque, observando reacciones positivas de la sucesión ecológica hacia el método de restauración pasiva utilizado durante este periodo de monitoreo.

La categoría vegetativa brinzal es la que presenta mayores valores, ya que cuenta con las tasas de mortalidad, reclutamiento y recuperación más altas en comparación a las tasas de las otras categorías vegetativas; mientras que, en el análisis dentro de la categoría brinzal en el período de estudio se logró observar que hubo una gran mortalidad de individuos en veinte de las especies encontradas, equivalente a 0.82% de mortandad, aunque relativamente bajo en comparación al 1.3% encontrado por Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado (2013) para un estadio sucesional temprano del Parque Natural Santa Rosa en Costa Rica.

Sin embargo, el valor de la Tasa de reclutamiento fue más alto con 1.10% en comparación a la mortalidad, habiendo reclutado más individuos de las especies encontradas en el año 2019, individuos de siete nuevas especies en su mayoría pioneras siendo Caoba *Swietenia humilis*, Cedro *Cedrela odorata*, Guacamaya *Astronium graveolens*, Guácimo de Molenillo *Luehea*

candida, Mango *Mangifera indica*, Poro poro *Cochlospermum vitifolium* y Guácimo de ternero *Guazuma ulmifolia*, aun así este valor es menor al 8.8% encontrado para un estadio sucesional temprano (con edad promedio de 20 años) del Parque Natural Santa Rosa en Costa Rica; esto implica la repoblación de áreas sin árboles y aumento de en el porcentaje de reclutamiento.

La tasa de recuperación de 0.28 %, nos indica que los individuos en esta categoría tienden a aparecer, variando el número de individuos por especie, siendo Barba de chivo, Guácimo de ternero y Laurel las que poseen mayor cantidad de individuos perteneciendo al bosque seco; esto muestra que teniendo una alta tasa de recuperación, el reclutamiento del estadio brinzal llega a ser mayor, mostrando una mayor dinámica en comparación a los estadios anteriores, aunque estos se encuentren bajo el mismo método de restauración pasiva de cuidado y protección del área de la parcela permanente.

Todos estos resultados se pueden atribuir a que el fragmento de estudio de la Mina San Albino es propenso a diversos cambios naturales por lo que es de edad joven en comparación al encontrado por Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado (2013) en el Parque Natural Santa Rosa, Costa Rica, con esto resaltamos que es de importancia el seguimiento continuo a estos tipos de estudios de restauración.

Las tasas de mortalidad calculadas para las categorías de este fragmento de bosque se encuentran por debajo del valor esperado para Bosques secos tropicales en Nicaragua que es 2.1%, según lo mencionado por Sabogal y Valerio (1998, como se citó en Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado, 2013). Esto debido a que el fragmento de bosque estudiado se encuentra en estado joven, así mismo por la poca intervención humana, el cuidado y protección ante perturbaciones que brinda la mina para evitar que estas afecten la sucesión natural.

Cuadro 8. Parámetros demográficos del fragmento de bosque en el periodo 2019-2021.

Categoría	Mortalidad	Reclutamiento	Recuperación
Fustal	0.04%	0.28%	0.25%
Latizal	0.11%	0.24%	0.13%
Brinzal	0.82%	1.10%	0.28%

5.5 Incremento periódico anual (IPA) del Dap cm 6.9 ha el fragmento de bosque.

5.5.1 Fustal.

El incremento periódico anual hace referencia al aumento en centímetros del Dap de los árboles en el período de 2 años cuadro 9, donde se muestra un incremento periódico total promedio de 15.3 cm, aumentando 3.06 cm de Dap cada especie en promedio en los 2 años de monitoreo lo cual demuestra que existen diferencias entre el incremento máximo y mínimo de las especies encontradas en el estudio de Narváez-Espinoza et al. (2015) sobre la composición, estructura, diversidad e incremento de la vegetación arbórea secundaria en trópico seco en Nandarola, Nicaragua, en el cual presentan un incremento periódico anual total de 22.7 cm año-1, con un IPA promedio de 0.58 cm año-1 en un fragmento de bosque.

En las parcelas se registra el Guarumo como la especie que presenta el mayor incremento en esta categoría siendo una especie pionera es de las primeras en aparecer en un bosque secundario donde ha habido perturbaciones, además de tomar en cuenta que esta es una especie indicadora de bosques degradados. Es de importancia mencionar que los individuos encontrados en esta categoría de vegetación son en su mayoría arboles remanentes del fragmento de bosque anterior antes de las perturbaciones al realizar el cambio de uso de suelo.

Es importante realizar estos análisis de incrementos con el propósito de evidenciar el comportamiento de las especies que se encuentran en el bosque, además de hacer proyecciones del crecimiento de estas y realizar cálculos para definir en cuanto tiempo se puede considerar que el área basal corresponde al de un bosque restaurado.

Cuadro 9. Incremento periódico anual del fragmento de bosque en el estadio fustal periodo 2019-2021.

N. Común	FUSTAL/IPA
Guarumo	4.8
Poroporo	3.6
Carbón	2.65
Guácimo de ternero	2.3
Gavilán	1.95
Promedio general	3.06

5.5.2 Latizal.

El incremento periódico anual para esta categoría está dominado por los individuos de la especie Majagua, además de las especies de Mulule, Quebracho y Guayaba todas estas especies propias de bosque seco cuadro 10.

Según los datos recolectados y analizados los individuos de esta categoría aumentaron en promedio 1.6 cm en el periodo de estudio, asemejándose a los resultados obtenidos por Narváez-Espinoza et al. (2015) , donde se encontró que las especies de mayor incremento diamétrico son *Pachira quinata* Pochote 3.6 cm año-1, *Bursera simarouba* Jiñocuabo 1.4 cm año-1, *Cordia alliodora* Laurel, 1.25 cm año-1, *Anona purpurea* Sincoya, 1,2 cm año-1 y *Karwinskia calderón* Güiligüiste, 1.15 cm año-1.

Por otra parte, se encontró que la mediana en esta categoría es de 2.35 cm. Además, observamos en el cuadro 10 que el promedio total general del Incremento periódico anual es 30.76 cm, se debe a la cantidad de especies encontradas y al crecimiento de los individuos dentro de estas; la categoría se encuentra en constante cambio y dinámica por las especies que desaparecen y las nuevas que se encuentran esto se debe a que pertenecen a diferentes gremios ecológicos, el tiempo de vida de algunas es más corto y en esta etapa se encuentran más susceptibles a plagas y enfermedades.

Cuadro 10. Incremento periódico anual del Dap en cm del fragmento de bosque en el estadio latizal periodo 2019-2021.

N. Común	LATIZAL/IPA
Majagua	4.8
Quebracho	3.42
Mulule	3
Guayaba	2.92
Pacón	2.6
Guanacaste negro	2.55
Guácimo de ternero	2.2
Carbón	1.9
Laurel	1.63
Cachito	1.62
Carao	1.6
Cornizuelo	1.6
Poro poro	0.92
Promedio general	2.35

5.6 Tasas de Ganancia, Pérdida y Crecimiento en Área basal por estado de desarrollo del fragmento de bosque.

El área basal dentro de un bosque nos indica la condición del desarrollo de los árboles; tomando en cuenta su crecimiento en el período de estudio, se encontró que la categoría fustal es la que muestra mayor tasa de pérdida en área basal (5.7%), esto debido al área basal que contenían individuos que murieron cuadro 11.

La mayor tasa de ganancia en área basal la tiene la categoría latizal (34.8%), esto se debe a la cantidad de individuos encontrados por especie dentro de esta categoría, además del incremento en diámetro de los mismos, es aquí donde debemos enfocar la importancia sobre el monitoreo de los procesos que ocurren durante la restauración pasiva, atribuidos a los procesos sucesionales que está experimenta el bosque durante esta etapa de desarrollo.

Para la tasa de crecimiento en área basal la categoría fustal presenta el mayor valor (16.1%) para este período de monitoreo de 2 años; cabe destacar que las especies contenidas en esta categoría se desarrollan de forma eficiente en condiciones con buena iluminación, siendo esenciales en la sucesión ecológica dentro del método de restauración pasiva. El fragmento de bosque presenta resultados diferentes en comparación a los encontrados por Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado (2013), donde se encontró la mayor Pérdida de área basal en el estadio intermedio (Latizal) con 1.5%; el estadio temprano brinzal presentó la mayor ganancia y crecimiento en área basal con 5.5% y 4.1% respectivamente.

El comportamiento de las categorías de vegetación de este fragmento de bosque puede tener diversas causas, una de ellas el uso anterior de este fragmento y otra la edad que posee este, ratificando lo mencionado por (Lieberman y Lieberman, 1987; Valerio y Salas, 1998; Louman, 2001, como se citó en Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado, 2013) las especies pioneras y heliófitas se encuentran asociadas a las categorías Brinzal y Latizal.

Cuadro 11. Tasa de ganancia perdida y crecimiento del fragmento de bosque en el periodo 2019-2021.

	PAB %	GAB %	CAB %
Fustal	5.7	29.7	16.1
Latizal	5.4	34.8	15.6
Brinzal		28.0	

Donde:

PAB: Tasa anual de perdida en área basal (%/año)

GAB: Tasa anual de ganancia en área basal (%/año)

CAB: Tasa anual de crecimiento en área basal (%/año)

5.7 Biomasa.

5.7.1 Fustal.

Mediante el cálculo de biomasa aérea en las especies del estadio de fustal se logró observar que para el año 2019 mostraba una biomasa de 1.58 ton/ha, en 05 especies, mientras que para el año 2021 hubo un aumento a 2.48 ton/ha siempre en las 05 especies, demostrando un incremento de biomasa 0.90 ton/ha resultados obtenidos durante el monitoreo cuadro 12, estos datos se obtienen al encontrar el surgimiento de nuevos individuos en las cuatro parcelas permanentes de muestreo del fragmento de bosque.

Cuadro 12. Incremento de biomasa de la categoría fustal.

Nombre Común	Biomasa Ton 2019	Biomasa Ton 2021
Carbón	0.41	0.89
Gavilán	0.04	0.08
Guácimo de ternero	1.04	1.02
Guarumo	0.05	0.37
Poroporo	0.04	0.12
Total general	1.58	2.48

5.7.2 Latizal.

Según los resultados obtenidos en la recolección de información de los dos años de estudio del fragmento de bosque, se logra observar que en este estadio se muestra el aumento en la biomasa del bosque esto debido al número de individuos que se recolectaron partir de las primeras mediciones en las parcelas, mostrando un aumento de 5.95 to/ha cuadro 13, lo que indica que el bosque se está regenerando dando paso a la diversidad y la dinámica poblacional, donde sobresalen especies como Poroporo y Carbón con índices altos en el aumento de individuos generando incremento en biomasa.

Cuadro 13. Incremento de biomasa en la categoría Latizal.

Latizal		
Nombre Común	Biomasa Ton 2019	Biomasa Ton 2021
Cachito	<i>0.02</i>	<i>0.46</i>
Carao	<i>0.01</i>	<i>0.30</i>
Carbón	<i>0.06</i>	<i>0.80</i>
Corninzuelo	<i>0.06</i>	<i>0.75</i>
Guácimo de ternero	<i>0.02</i>	<i>0.66</i>
Guanacaste negro	<i>0.01</i>	<i>0.39</i>
Guayaba	<i>0.00</i>	<i>0.20</i>
Laurel	<i>0.03</i>	<i>0.73</i>
Majagua	<i>0.00</i>	<i>0.32</i>
Mulule	<i>0.00</i>	<i>0.10</i>
Pacón	<i>0.02</i>	<i>0.07</i>
Poroporo	<i>0.07</i>	<i>1.19</i>
Quebracho	<i>0.00</i>	<i>0.29</i>
Total general	0.31	6.26

5.8 Carbono.

Para tener un mejor control de la cantidad de carbono almacenado se clasificaron los árboles por estado de desarrollo del bosque, esto con el fin de obtener información cuantitativa según el estado del bosque, que resumen los resultados obtenidos donde se observa las cantidades de carbono almacenado en las diferentes categorías que se encuentran en desarrollo; siendo el estadio de Latizal el que presenta el mayor aumento en almacenamiento de carbono seguida del estadio fustal, el resultado obtenido en el estadio fustal se debe a la cantidad de árboles dentro de este estadio. Cabe mencionar que estos son los resultados del aumento en el almacenamiento de carbono en el monitoreo de dos años que comprende la investigación.

Los presentes resultados muestran que durante el monitoreo de la investigación en los resultados del inventario forestal logramos obtener un cálculo del carbono almacenado en el primer periodo de recolección de datos 2019 encontrando 0.79 t/ha, posterior al último monitoreo 2021 se encontró 1.24 t/ha en las cuatro parcelas permanentes de muestreo lo que indica un incremento

0.45t/ha en las cinco especies en los dos años que se realizó monitoreo al fragmento de bosque en el estadio fustal, siendo el Guácimo de ternero la especie que sobresale, seguido de la especie Carbón en almacenamiento de carbono esto debido a que son parte de las especies pioneras y remanentes del ecosistema cuadro 14.

Cuadro 14. Almacenamiento de carbono en categoría fustal.

Fustal		
Nombre Común	Carbono Ton 2019	Carbono Ton 2021
Carbón	0.21	0.45
Gavilán	0.02	0.04
Guácimo de ternero	0.52	0.51
Guarumo	0.03	0.19
Poroporo	0.02	0.06
Total general	0.79	1.24

Durante el primer muestreo de la investigación según el inventario del fragmento la categoría Latizal mostró un carbono almacenado de 0.15to/ha para el año 2019, siendo las especies más representativas Poroporo y Carbón con mejores características sumideros de carbono.

Para el año 2021 se logra observar un incremento al obtener 3.13 to/ha lo que indica que el bosque se está desarrollando al encontrar un incremento de 2.98 to/ha, esto en un periodo de monitoreo de 2 años, manteniéndose las dos especies antes mencionadas como las mejores captadoras de carbono durante el monitoreo del método de restauración pasiva mediante parcelas permanentes de muestreo.

Cuadro 15. Almacenamiento de carbono en categoría Latizal.

Latizal		
Nombre Común	Carbono Ton 2019	Carbono Ton 2021
Cachito	0.01	0.23
Carao	0.01	0.15
Carbón	0.03	0.40
Corninzuelo	0.03	0.38
Guácimo de ternero	0.01	0.33

Guanacaste negro	0.00	0.20
Guayaba	0.00	0.10
Laurel	0.02	0.37
Majagua	0.00	0.16
Mulule	0.00	0.05
Pacón	0.01	0.04
Poro poro	0.04	0.59
Quebracho	0.00	0.15
Total general	0.15	3.13

5.9 Resultados del Método de Restauración Activa.

5.9.1 Incremento medio anual del Diámetro basal en mm.

El incremento medio anual para el diámetro basal de los ensayos esta dado en milímetros donde encontramos que las especies de Quebracho y Cedro, fueron las que presentaron mayor crecimiento, el mejor desarrollo y la mejor adaptabilidad dentro del área establecida, recordando que estas especies son propias de bosque seco, incrementando en altura y área basal por ser especies del gremio ecológico heliófitas durables las cuales demandan iluminación lo que explica por qué estas presentan el mayor incremento medio anual cuadro 16.

Cuadro 16. Incremento medio anual del diámetro basal en mm de los ensayos.

Nombre Común	IMA 12 meses	IMA 20 meses
Cedro	17.2	12.8
Cortez	5.9	5.45
Guanacaste negro	8.0	6.4
Guapinol	4.3	2.4
Madroño	3.8	3.5
Ojoche	3.9	3.25
Quebracho	32.7	32.5
Roble	2.1	1.84
Promedio	9.7	8.5

5.9.2 Incremento medio anual de la altura en cm.

Para el incremento medio anual la especie de Quebracho y Cedro, presentaron los valores más altos en crecimiento cuadro 17, ratificando que son las que presentan la mejor adaptabilidad al sitio, por ser propias de Bosque seco y ser especies que se desarrollan sobre suelos que han sufrido perturbaciones naturales y antropogénicas, demostrando que son especies de valor, durante la ejecución de rehabilitación de los ecosistemas donde se permite visualizar el desarrollo y la capacidad de adaptabilidad al medio donde se está ejecutando el método de restauración activa a través de los ensayos de nucleación.

Por otra parte, se reafirma que estos ensayos con las especies pueden replicarse en otras áreas degradadas, como resultado del monitoreo realizado durante el periodo de estudio, lo que dará paso a generar nuevas alternativas para la ejecución y establecimiento de métodos de restauración asistida, generando microhábitats que permitan la dispersión de especies, aumento de la cobertura boscosa, heterogeneidad de especies e individuos dentro del bosque.

Cuadro 17. Incremento medio anual de la altura en cm.

Especies	IMA 12 meses	IMA 20 meses
Cedro	74.67	55.95
Cortez	39.75	33.7
Guanacaste negro	72.33	51.45
Guapinol	27.25	12.5
Madroño	30.33	23.05
Ojoche	35.33	26.55
Quebracho	428.83	453.4
Roble	11.25	8.6
Promedio	89.97	83.15

5.10 Porcentaje de sobrevivencia de las plantas en la restauración pasiva.

Después de evaluar los ensayos de nucleación iniciando a los doce meses y posteriormente a veinte meses de su establecimiento, la sobrevivencia para las ocho especies presento un promedio general de 85.8% en un periodo de doce meses y 78.3% en veinte meses evaluados cuadro. 18, estos resultados nos indican que el método de restauración activa tiene una

categorización de sobrevivencia Buena a Muy buena según la clasificación propuesta por Centeno (1993, como se citó en López, 2015).

Las especies que presentaron mayor porcentaje de sobrevivencia en los dos periodos fueron Guanacaste Negro con 100% y Quebracho. con 96.7% Cuadro. 18 ambas con categorización Muy buenas según la clasificación de Centeno (1993, como se citó en López, 2015) es de importancia resaltar que estas dos especies pertenecen a una misma familia la cual es Mimosaceae.

En general las especies Cedro, Cortés, Madroño. y Ojoche presentaron sobrevivencias de categoría muy buenas para los dos períodos de evaluación según la clasificación de Centeno (1993, como se citó en López, 2015) afirmando la gran utilidad de estas al utilizarse en técnicas de restauración activa en áreas degradadas.

Las especies de Guapinol y Roble, presentaron en general categorías de sobrevivencia de Regular a Bueno en el período de evaluación, siendo el Roble la especie que presentó menor capacidad de adaptación al sitio, esto puede deberse a que necesita mayor asistencia y seguimiento en campo después de la siembra en comparación con las otras especies.

Es importante resaltar que los sitios donde se establecieron los ensayos, fueron cercados para su protección, además la empresa Nicoz Resources S.A designó personal responsable para brindar seguimiento y realizar actividades de limpieza de malezas dentro de las áreas de los ensayos, siendo esto de gran importancia dentro de la restauración activa, evitando la competencia por iluminación y nutrientes, lo que permitirá garantizar el éxito de la implementación de este método en áreas degradadas.

De igual manera es clave mencionar que durante el período de evaluación de esta investigación, se encontró un hallazgo el cual fue la aparición de 14 individuos de la especie de Quebracho, sobreviviendo el 100% de estos durante el periodo de investigación; encontrando la emergencia de bifurcaciones en la base de los individuos de Quebracho sembrados como parte de los ensayos, mientras que, a otros, su aparición en las áreas se le atribuye al banco de germoplasma que posee el suelo del sitio.

Cuadro 18. Supervivencia de especies establecidas en ensayos de nucleación.

Especies	Familia	Nombres científicos	Ind. Plantados	% Supervivencia (12 meses)	% Supervivencia (20 meses)
Guanacaste negro	Mimosaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	10	100	100
Quebracho	Mimosaceae	<i>Lysiloma divaricatum</i>	30	96.7	96.7
Ojoche	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum Swartz</i>	10	100	90
Cedro	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	10	90	80
Cortez	Bignoniaceae	<i>Handroanthus ochraceus ssp. neochrysanthus</i>	10	90	80
Madroño	Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	5	100	80
Guapinol	Caesalpinaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	10	70	50
Roble	Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	10	40	50
Promedio				85.8%	78.3%

VI. CONCLUSIONES

En la composición florística del fragmento de bosque se encontraron Fabaceae y Mimosaceae, familias que obtuvieron la mejor distribución de individuos por especies dentro del bosque seco, además de nuevas especies las cuales están sujetas a los cambios ecológicos que realiza la propia sucesión vegetal ante las perturbaciones que generan degradación.

El cambio de especies y aumento de individuos, es debido a la sucesión vegetal que se presenta durante el proceso de restauración ecológica, mostrando variaciones en las diferentes categorías del bosque, enmarcando la presencia y evolución de gremios ecológicos que forman parte del proceso de restauración según las condiciones del sitio, evidenciando los incrementos en la abundancia y distribución de especies en el sitio estudiado, mostrando la efectividad de utilizar estos métodos. Para el monitoreo en su estructura, comportamiento y en el crecimiento en área basal y altura de las especies encontradas con los mayores valores son especies heliófitas efímeras las cuales poseen una mayor habilidad de dispersión, establecimiento, adaptabilidad y desarrollo en este tipo de áreas degradadas.

En el procesamiento de datos realizados la categoría brinzal resalta con mayor dinámica en mortalidad, reclutamiento y recuperación, por otra parte, los latizales presentaron la mayor ganancia de área basal, mientras los fustales mostraron mayor crecimiento y pérdida en área basal. El fragmento de bosque presenta datos que nos indican una recuperación positiva en la fijación de biomasa y carbono, siendo servicios ecosistémicos importantes dentro del bosque.

Dentro del sistema de nucleación el mayor incremento en diámetro y altura lo obtuvieron las especies Quebracho y Cedro respectivamente, el mayor porcentaje de sobrevivencia lo obtuvieron las especies Guanacaste negro, Quebracho y Ojoche mostrando una importante adaptabilidad y desarrollo en comparación con las demás especies evaluadas. En general se encontró aumento y emergencia de diversos individuos de especies pioneras, especies heliófitas efímeras y heliófitas durables, las cuales por medio de su desarrollo crean los microhábitats necesarios para la rehabilitación y restauración del sitio degradado.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar vigilancia constante del fragmento de bosque por parte de la empresa Nicoz Resources S.A. y continuar monitoreando los métodos de restauración para realizar futuras comparaciones en años posteriores y así disminuir la incidencia de disturbios.
- Identificar nuevas áreas de conservación por parte de la empresa Nicoz Resources S.A, de al menos una hectárea para implementar nuevos ensayos estas pueden ser un parche de bosque o bien áreas totalmente degradadas para promover su recuperación, como parte de la compensación ambiental.
- Implementar cuatro ensayos de nucleación más en todo el fragmento de bosque, para contribuir a los procesos de restauración con las siguientes estableciendo las siguientes especies maderables Laurel, Ceiba, Roble Macuelizo, Guayabo Blanco, Palo de hule y Granadillo, frutales como Nancite, Naranja y Guayaba.
- Producir en vivero especies nativas de la zona, a fin de establecerlas en ensayos y promover la restauración activa.
- Desarrollar capacitaciones con el personal de la mina para impartir los siguientes temas: Importancia de los ensayos, Cuido, monitoreo y levantamiento de información, Tratamientos pregerminativos a semillas de especies forestales.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aguirre Mendoza, Z. (2013). *GUIA DE METODOS PARA MEDIR LA BIODIVERSIDAD*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia-para-medicic3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf>
- Alvarez, J. (2021). *produce.gob*. Obtenido de *produce.gob*: <https://www.produce.gob.pe/documentos/pesca/dgsp/exposiciones/principios-de-ecologia-y-conservacion.pdf>
- Baev, P. V. y L. D. Penev. (1995). BIODIV: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis. Pensoft, Sofia, Moscow, 57 pp.
- Cano, I. Cardona, A. Corredor, S. Díaz, A. Díaz, J. Figueroa, Y. León, O. Mora, J. Orozco, N. Trujillo, L. Pinzón, L. Rodríguez, N. Sánchez, A. Vargas, O. Velasco. Wolffhugel, G. Zabaleta, A. Zamudio, N. (2007). Guía metodológica para la RESTAURACIÓN ECOLÓGICA del bosque altoandino: Grupo de Restauración ecológica, Universidad Nacional de Colombia. [archivo PDF]. Guía metodológica para la RESTAURACIÓN ECOLÓGICA del bosque altoandino. – Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias (epacartagena.gov.co)
- Carvajal-Vanegas, D., & Calvo-Alvarado, J. (2013). *Tasas de crecimiento, mortalidad y reclutamiento de vegetación en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica*. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 10 (25), Pág. 1 – 12. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v10i25.1371>
- Castro Marín, G., Nygard, R., González Rivas, B., & Oden, PC. (2005). *Stand dynamics and basal area change in a tropical dry forest reserve in Nicaragua*. Forest Ecology and Management no.208:63-75
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, (2002). *Inventario Forestal para Bosques Latifoliados en América Central*. Autor.
- Duarte, E., Morales, A., Calero, F., Rosales, M. E., Martínez, A., Sánchez, S., Brooks, J., Sequeira, R., & Mejía, K. (2004). *NTON 18 001-04 Norma Técnica para el manejo sostenible de los bosques tropicales latifoliados y de coníferas*. La Gaceta N° 250, 81–98. <http://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC066077/>
- Galdo, B. (2015). *gobiernodecanarias*. Obtenido de *gobiernodecanarias*: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/asanramf/files/2015/10/ECOSISTEMAS-Y-EL-CUIDADO-DEL-MEDIO-AMBIENTE-largo-comprimido.pdf>
- Guariguata, M., y Kattan, G. (Eds.) (2002). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Ediciones LUR, Costa Rica.
- Heymel, V., MacDicken, K., Altrell, D., Branthomme, A., Tavani, R., Thompson, I., Nasi, R., Okabe, K., Kapos, V., Gordon, J., Guariguata, M. R., Sabogal, C., Chandrasekharan, D., McGarry, D., & (FAO). (2011). Assessing forest degradation Towards the development of globally applicable guidelines. *Forest Resources Assessment Working, 117*, 109. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/3956bd58-cd27-5a69-b4c2-77cf8302dc2a/>

- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems?. *Forest ecology and management*, 261(10), 1558-1563.
- Imaña E, J., & Encinas B, O. (2008). *Epidometría Forestal* (1ra edición). UNIVERSIDAD DE BRASÍLIA. https://www.academia.edu/39203782/EPIDOMETRIA_FORESTAL
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton, NJ. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- Machari, R. (2019). “*CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES DASOMÉTRICAS Y ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE Cedrelinga cateniformis (DUCKE) DUCKE, EN EL BOSQUE RESERVADO UNAS–TINGO MARÍA, HUÁNUCO*” [Universidad Nacional Agraria De La Selva]. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1625/TS_HRP_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Narváez-Espinoza, O., González-Rivas, B., & Castro-Marín, G. (2015). *Composición, estructura, Nicaragua*. La Calera, 15(25), 111-116.
- Noguera-Talavera, Á., Reyes-Sánchez, N., Membreño, J. J., Duarte-Aguilar, C., & Mendieta-Araica, B. (2014). Calidad de plántulas de tres especies forrajeras (*Moringa oleifera* Lam., *Leucaena leucocephala* y *Cajanus cajan*) en condiciones de vivero. *LA CALERA*, 14, 21–27. <https://www.lamjol.info/index.php/CALERA/article/view/2652>
- López, C. (2015). *Evaluación de supervivencia e incremento de seis especies forestales maderables en plantaciones de la finca Ecoforestal, San Juan del Sur, Rivas*. 2010. Ingeniería thesis, Universidad Nacional Agraria, UNA.
- López, F., Barrera, A., Martínez, C., Garza, B. y Ceccon, E. (2017). *Revista Mexicana de Biodiversidad. Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532017000500097
- López, M. y Reyes, E. (2022) *Regeneración natural y plantaciones de especies forestales, como dos métodos restauración pasiva y activa en un fragmento de bosque en la Mina San Albino, Nueva Segovia*. Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria, Managua (Nicaragua). <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4543>
- Louman, B. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central* (Vol. 46). CATIE.
- Pérez-Castellón, E., Bonilla-Zúñiga, G., & Díaz-Rivera, E. S. (2014). Composición florística del bosque ripario en la microcuenca La Laguneta, municipio de Pueblo Nuevo, Estelí. *LA CALERA*, 14, 84–88.
- Quezada B., Garmendia M. & Meyrat A. (2010). *ESPECIES ARBÓREAS DEL ARBORETUM ALAIN MEYRAT*. Universidad Nacional Agraria, Managua. 1ª ed. Volumen I.
- Quezada B., Garmendia M. & Meyrat A. (2012). *ESPECIES ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS DEL ARBORETUM ALAIN MEYRAT*. Universidad Nacional Agraria, Managua. 1ª ed. Volumen II.

- Restrepo Velásquez, JO., Maniguaje, LN., y Duque, ÁJ. (2012). Diversidad y dinámica de un bosque subandino de altitud en la región norte de los Andes colombianos. *Revista Biología Tropical* 60(2):943-952.
- Reyes, F., Alonzo, E., & Castro, G. (2021). *Manual de Fórmulas Forestales*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/4324/1/NK10R457.pdf>
- Rodriguez, A. Castrillon, F y Torres, S. (2013). *cortolima.gov*. Obtenido de *cortolima.gov*: https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/gestion_riesgos/Gestion_d_el_Riesgo/Modulos/Modulo_V_260913_CAM_Alta.pdf
- Sánchez Merlo, D., Harvey, C. A., Grijalva, A., Medina, A., Vílchez, S., & Hernández, B. (2005). *Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas, Nicaragua*. CATIE, Turrialba (Costa Rica) Recursos Naturales y Ambiente (no. 45) p. 91-104. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6081469634>
- Salazar, E. (2003). *Comportamiento de Cordia alliodora ante aplicación del tratamiento Poda y Eliminación de lianas en el Bosque Seco Secundario, Finca “Santa Ana”, Nandaime, Nicaragua, (Febrero-Noviembre, 2002)*. Universidad Nacional Agraria.
- Salmerón, M. J. (2020). Cuantificación de la biomasa aérea, carbono fijado y almacenado del componente arbóreo del bosque latifoliado húmedo y arbolado disperso en potreros en siete fincas del municipio de Paiwas, RACCS [Universidad Nacional Agraria]. In *Universidad Nacional Agraria*. <https://repositorio.una.edu.ni/4215/1/tnk10s171.pdf>
- Scholz, C. y Morera Beita, A. (2016). Restauración funcional del paisaje: Manual de técnicas: Restauración de paisajes forestales. Archivo digital. ST-GFE-no.03.pdf (iucn.org)
- Sotelo, R. D., Morato, M. I. R., & Pinillos-Cueto, E. M. (2008). Almacenamiento de carbono. *Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*, 223-233.
- Villalobos, V. B. (2021) Caracterización florística de un paisaje antrópico con árboles remanentes en el Valle Central Occidental de Costa Rica.
- Yarranton, G. A., & Morrison, R. G. (1974). Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *The Journal of Ecology*, 417-428.

Anexo 5. Lista de especies del fragmento de bosque.

Especies	Nombre Científico	Familia
Achotillo	<i>Pehria compacta</i>	Lythraceae
Barba de chivo	<i>Calliandra houstoniana</i>	Mimosaceae
Cachito	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	Apocynaceae
Cafesillo	<i>Casearia sp.</i>	Salicaceae
Caoba	<i>Swietenia humilis</i>	Meliaceae
Carao	<i>Cassia grandis</i>	Caesalpinaceae
Carbón	<i>Vachellia pennatula</i>	Fabaceae
Carne de perro	Desconocido	Desconocido
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae
Cimarro	<i>Plocosperma buxifolium</i>	Loganiaceae
Corninzuelo	<i>Vachellia collinsii</i>	Mimosaceae
Cortez	<i>Handroanthus ochraceus ssp. neochrysanthus</i>	Bignoniaceae
Frijolillo	<i>Senna hayesiana</i>	Fabaceae
Gavilán	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	Fabaceae
Guacamaya	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae
Guácimo de molenillo	<i>Luehea candida</i>	Malvaceae
Guácimo de ternero	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae
Guanacaste negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Mimosaceae
Guarumo	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Urticaceae
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae
Guayabillo	<i>Myrcianthes fragans</i>	Myrtaceae
Jiñocuabo	<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae
Majagua	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Meliaceae
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae
Mulule	<i>Varronia sp.</i>	Mimosaceae
Nancite	<i>Ziziphus guatemalensis</i>	Ramnaceae
Pacón	<i>Sapindus saponaria</i>	Sapindaceae
Poroporo	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bixaceae
Quebracho	<i>Lysiloma divaricatum</i>	Fabaceae
Ronron	<i>Senna skinneri</i>	Caesalpinaceae
Zarza	<i>Mimosa albida</i>	Fabaceae