UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

LA NUCLEACIÓN FORESTAL COMO HERRAMIENTA PARA LA RESTAURACIÓN DE ÁREAS DE BOSQUE DEGRADADOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PUYO, AMAZONIA ECUATORIANA.

AUTOR(ES):

Castro Barrera Cristian Roman

Jachero Mongon Gerson Alexander

DOCENTE – TUTOR:

Msc. García Quintana Yudel, PhD

Puyo – Pastaza – Ecuador

2022

LA NUCLEACIÓN FORESTAL COMO HERRAMIENTA PARA LA RESTAURACIÓN DE ÁREAS DE BOSQUES DEGRADADOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PUYO, AMAZONÍA ECUTORIANA

Castro Barrera Cristian Roman
For2017021@uea.edu.ec

Jachero Mongon Gerson Alexander
For2017046@uea.edu.ec

Msc. Garcia Quintana Yudel, PhD
ygracia@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Forestal (1)

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo fundamentar las bases para implementación de la técnica de nucleación forestal como herramienta para la restauración en áreas de bosques degradados de la zona alta de la microcuenca del río Puyo, Amazonía ecuatoriana. Para lo cual se tomó información de un inventario forestal en tres sitios (primario, secundario y silvopastura) de un bosque siempreverde piemontano de la zona alta de la microcuenca del río Puyo. Los resultados indicaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en cuanto al grado de perturbación, ocasionado por la existencia de cultivos o cambios de uso de suelo, especies invasoras, tala y pastoreo. El índice de calidad resultó entre 1,5 y 1,75, indicando media calidad para bosque primario y secundario y fue ≤ 1 en silvopastura, lo cual indicó baja calidad ecológica debido a la ruptura total o parcial de sus parámetros estructurales, por lo que requiere de actividades urgentes de restauración. Se diseño la técnica de nucleación a partir de especies pioneras y de mayor importancia ecológica, teniendo en cuenta el número de núcleos en cada sitio, tamaño del núcleo, distancia entre especies y distribución de especies en el núcleo.

Palabras Clave*:* bosque siempreverde, perturbación, calidad ecológica, nucleación.

Abstract

The objective of this work was to lay the foundations for the implementation of the forest nucleation technique as a tool for restoration in degraded forest areas in the upper zone of the Puyo river micro-basin, Ecuadorian Amazon. For which information was taken from a forest inventory in three sites (primary, secondary and silvopasture) of a piedmont evergreen forest in the upper area of the Puyo river micro-basin. The results indicated significant differences ($p \leq 0.05$) in terms of the degree of disturbance, caused by the existence of crops or changes in land use, invasive species, logging and grazing. The quality index was between 1.5 and 1.75, indicating medium quality for primary and secondary forest and was ≤ 1 in silvopasture, which indicated low ecological quality due to the total or partial breakdown of its structural parameters, so requires urgent restoration

activities. The nucleation technique was designed from pioneer species and those of greater ecological importance, taking into account the number of nuclei at each site, size of the nucleus, distance between species and distribution of species in the nucleus.

***Keywords**:* evergreen forest, disturbance, ecological quality, nucleation.

1. INTRODUCCIÓN

La región Amazónica se encuentra representada por su bosque tropical y posee una gran diversidad biológica que abarca más del 50% de la biodiversidad total del planeta, llegando hacer considerada como uno de los santuarios naturales más grandes del mundo. Los bosques de la cuenca amazónica cumplen un papel importante en la retención de carbono, por lo que cualquier tipo de disturbio que se realice sobre estos ecosistemas provocaría daños al medio ambiente (FAO, 2016).

En los últimos años la degradación y destrucción de los ecosistemas ha crecido debido al incremento de las prácticas agrícolas, ganaderas, industriales, explotaciones no sostenibles realizado por los seres humanos en busca de mejorar sus condiciones de vida, lo cual ha provocado grandes cambios en la estructura, composición y funcionalidad de los ecosistemas de bosques. Los factores que generan la degradación del suelo en su gran mayoría son la tala y extracción ilegal de productos forestales, la expansión de la frontera agropecuaria y el pastoreo (FAO, 2016).

Los bosques tropicales son recursos naturales globalmente relevantes para el desarrollo sustentable por los bienes y servicios ecosistémicos que generan para la sociedad, debido a que no solo tienen biodiversidad, sino además proporcionan una amplia serie de servicios medioambientales, son primordiales para el desempeño del planeta, ayudan a mantener el suelo y agua; previenen la degradación y la desertificación del suelo; disminuyen los riesgos de inundación, avalanchas y deslizamientos de tierra, pero sobre todo son de gran valor para la mitigación y adaptación al cambio climático. Otro papel importante es que son una fuente de recurso al producir alimentos naturales, madera y medicinas que benefician a las personas que moran en ellos o en sus alrededores (Aguirre, 2014). Sin embargo, estos ecosistemas son muy vulnerables y de ahí que se requiere el empleo de técnicas de restauración que faciliten la recuperación de las funciones de estos bosques con funciones relevantes de protección y conservación. Tres y Reis (2007), asumen a la nucleación como una técnica de restauración de paisajes degradados, demostrando la importancia de dicha técnica como estrategia para la restauración forestal, con la finalidad de fomentar los nichos de regeneración y la colonización de nuevas poblaciones. La idea es buscar diversos elementos (semillas, suelo, microorganismos, bacterias…) para poder incorporarlos dentro de las áreas degradadas y así establecer conexiones con las unidades naturales del suelo.

Los bosques siempreverde piemontano ubicados en la zona alta de la microcuenca del río

Puyo no están exento a los problemas ambientales. Estos se han visto alterados por la tala de árboles, extensión de la ganadería, implementación de sistemas silvopastoriles, erosión del suelo, deslizamientos de suelos y caída de árboles por el viento, lo cual ha afectado el funcionamiento de la microcuenca, generando un desequilibrio en el sistema hídrico, en la biodiversidad y en el estado de conservación de los bosques. Esto ha llevado a formular el siguiente problema científico: ¿Cómo influyen los factores antrópicos en el estado de conservación de áreas de bosques siempreverde piemontano de la zona alta de la microcuenca del río Puyo?. El objetivo de este trabajo fue fundamentar las bases para implementación de la técnica de nucleación forestal como herramienta para la restauración en áreas de bosques degradados de la zona alta de la microcuenca del río Puyo, Amazonía ecuatoriana. A través del cual se pretende analizar el grado de perturbación y efecto de claros en las áreas de bosques, determinar la calidad ecológica estructural de las áreas de bosques en estudio y diseñar los elementos que conforman la técnica de nucleación como criterio para la restauración forestal.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1 Localización

La presente investigación se realizó en tres áreas de bosques (primario, secundario y silvopastura**)** de la zona alta de la microcuenca del río Puyo, a partir de una base de datos obtenida del proyecto "Restauración forestal mediante técnicas de nucleación como contribución a los servicios ecosistémicos" que ejecutó la Universidad Estatal Amazónica de conjunto con la ONG "The Nature Consenvancy" (Figura 1).

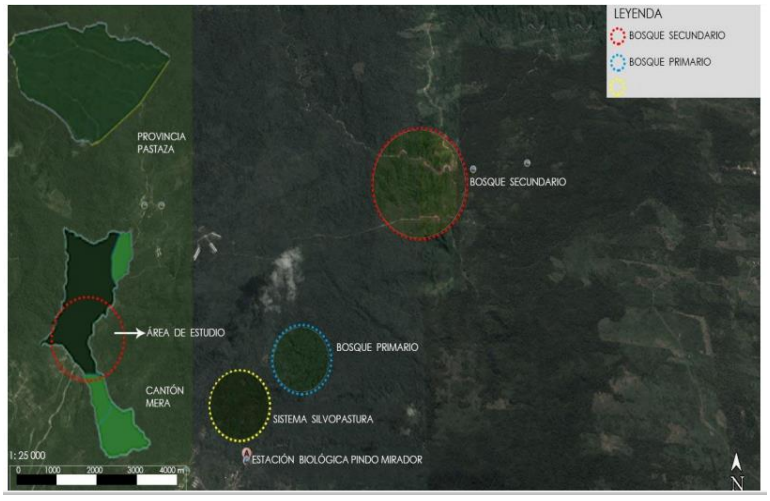


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

2.2 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo descriptiva, porque busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno, describe tendencias de un

grupo o población, su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables (Sampieri, 2010). Este proyecto de investigación es continuación de un estudio donde los datos de campo ya fueron tomados previamente, por lo que también se empleó el tipo de investigación analítica que permitió sobre la base de los datos del inventario florístico analizar e interpretar sistemáticamente las características del fenómeno estudiado con base a la realidad del escenario planteado (Sampieri, 2010), que incluyó el conjunto de matrices de las variables medidas del estado de conservación del bosque. La investigación fue analítica por considerar el análisis de los datos tomados de un inventario florístico realizado en el año 2018 como parte de las actividades del proyecto antes mencionado. Las variables que se analizaran fueron el grado de perturbación, claros en el bosque y variables de la calidad ecológica estructural del bosque (PSr: Posición sociológica relativa, IVI: Índice de valor de importancia ecológica, CM: Cociente de mezcla y AEP: Abundancia de especies en sitios perturbados).

2.3 Procedimiento para la información y obtención de datos

Para determinar el grado de perturbación del bosque se analizó en base a tres categorías (alto, medio y bajo), a partir de la información obtenida de las observaciones *in situ* realizadas en campo sobre los disturbios presentes en las áreas de bosques y la información primaria reportada por el GADPPz (MAE, 2003). Esto permitió la clasificación de las áreas de estudio en sitios poco perturbados ($0 \leq Pe \leq 3$), medianamente perturbados ($4 \leq Pe \leq 7$) y muy perturbados ($Pe > 7$), utilizando la metodología de Reyes y Acosta (2010) con adecuaciones por los autores de esta investigación, a partir de la Ecuación 1, donde:

$$Pe = Cu + C + Ds + Ei + Pa + T \quad (1)$$

Dónde:

Pe: Nivel de perturbación.

Cu: Existencia de cultivos u otros cambios de uso de suelo

- En últimos 5 años: 3
- En últimos 25 años: 2.
- Más de 25 años atrás: 1.
- No verificados en el sitio: 0

C: Caída de árboles por efecto del viento

- En últimos 5 años: 3
- En últimos 25 años: 2
- Más de 25 años atrás: 1.

- Sin ocurrencia verificada: 0

Ds: Deslizamiento de suelos

- Actual: 3
- En últimos 5 años: 2
- En últimos 25 años: 1
- No verificada en el sitio: 0

Ei: Presencia de especies invasoras

- Mayores a 60 %: 3
- 60 %: 2. 0
- 30 %: 1.
- No verificada en el sitio: 0

Pa: Pastoreo

- Actual: 3
- En últimos 5 años: 2.
- En últimos 25 años: 1.
- Sin verificar en el área: 0

T: Tala

- Actual selectiva: 3
- Rasa entre 20 y 30 años atrás o selectiva en los últimos cinco años: 2
- Rasa más de 30 años atrás o selectiva en los últimos veinticinco años: 1
- No verificada en el sitio: 0

El tratamiento de datos que se realizó para determinar el grado de perturbación fue una prueba chi-cuadrado, con el software SPSS versión 22.0.

El registro de las áreas de claros en cada sitio se realizó a través de un muestreo restringido por la presencia de una abertura del dosel, considerando lo descrito por Dhyani *et al.,* (2018). En cada claro se registró las coordenadas geográficas con la ayuda de un *Geoposicionador Satelital* (GPS) y se midió el largo y ancho a nivel de suelo y dosel con una cinta métrica. Esta información permitió obtener el área o superficie a nivel de suelo y dosel, a partir de lo establecido por Feldmann *et al.,* (2018) (Ecuación 2), donde el máximo ancho de la brecha y el ancho en ángulo recto a esta longitud constituía la longitud y el ancho de la elipse, respectivamente.

$$A = \pi \times L \times a/4 \quad (2)$$

dónde: A = área o superficie del claro
L = largo del claro
a = ancho del claro

Adicional a lo anterior, se registró en cada claro el número de árboles caídos, el diámetro (DAP) de los árboles caídos y el volumen de madera perdido.
Para conocer el índice de calidad ecológica se tomó la información obtenida del inventario florístico realizado en cinco transectos de 0,1 ha (10 x 100 m) en cada área de bosque (primario, secundario y silvopastura) con un total de 15 transectos, sustentado a partir de la metodología de Inventario Rápido propuesta por Keels et al., (1997); Gentry, (1988) y Lozano et al., (2013). Se calculó el índice de calidad ecológica estructural, a partir de la metodología propuesta por García *et al*., (2020), según ecuación 3.

ICEE=(PSr+IVI+CM+AEP)/4 (3)

ICEE: Índice de calidad ecológica estructural

PSr: Posición sociológica relativa

IVI: Índice de valor de importancia ecológica

CM: Cociente de mezcla

AEP: Abundancia de especies en sitios perturbados (Pioneras)

Según los criterios expuestos por García *et al*., (2020), si el valor del ICEE es 3 se interpretó como un bosque con alta calidad ecológica estructural, debido a que mantiene su estructura y está bien conservado, por lo que no requiere de actividades de restauración. Si el valor es 2 reflejó la existencia de un bosque con media calidad ecológica estructural, debido a la alteración progresiva de sus parámetros estructurales y, por consiguiente, requiere actividades de restauración. Si el valor del índice fue 1 indicó baja calidad ecológica estructural, debido a la ruptura total o parcial de sus parámetros estructurales, por lo que requiere de actividades urgentes de restauración.

El PSr osciló de 1 a 3. Se asignó 1 cuando +60% de las especies presentes están en un solo estrato. Se asignó 2 cuando entre 40 y 60% de las especies presentes están en un solo estrato. Se asignó 3 cuando existe una relación proporcional entre los estratos.

El IVI osciló de 1 a 3. Se asignó 1 cuando más de dos especies pioneras ocuparon posiciones altas. Se asignó 2 cuando una especie pionera ocupó posiciones altas. Se asignó 3 cuando no se encontró ninguna especie pionera en posiciones altas.

El CM osciló de 1 a 3. Se asignó 1 cuando menos del 40% de clases diamétricas presentaron un cociente entre 1:3 y 1:5. Se asignó 2 cuando entre 40 y 50% de clases diamétricas presentaron una proporción entre 1:3 y 1:5. Se asignó 3 cuando más del 50% de las clases diamétricas presentaron una proporción igual ó superior de 1:3-1:5

El AEP osciló de 1 a 3. Se asignó 1 cuando existen más de 3 especies indicadoras de perturbaciones. Se asignó 2 cuando existen de 1 a 3 especies indicadoras de perturbaciones. Se asignó 3 cuando no se reportan especies indicadoras de perturbaciones.

Para conformar el diseño de los núcleos se tomó como referencia la metodología diseñada por Díaz-Páez y Polanía (2017) en base a criterios como el tamaño, distancia y número de especies.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Grado de perturbación

El valor de las perturbaciones resultó variable en los tres sitios de estudio, reportándose áreas muy perturbadas, medianamente perturbadas y poco perturbadas. El bosque primario considerado el sitio de referencia para la conservación presentó alteraciones en los transectos T1 y T2 con valor de 8, reportándose en la categoría medianamente perturbado, en cambio los transectos T3, T4 y T5, obtuvieron valor de 3, considerados sitios poco perturbados. La alteración encontrada en T1 y T2 obedece a factores como las talas selectivas que se han reportado a partir de la extracción de árboles de mayor porte diamétrico. En el bosque secundario todos los transectos resultaron con valores entre 7 y 8, encontrándose en la categoría medianamente perturbado. En silvopastura los valores fueron elevados, en todos los casos con 15, reportados en la categoría muy perturbado (Figura 2).

En la zona de estudio el reporte de disturbios asociados a los fuertes vientos y deslizamientos de suelo causan mortalidad sobre el ecosistema, los cuales generan daños ambientales que inciden en el ciclo de carbono. Estos reportes coinciden con García, Valdés, y otros (2014), donde los fuertes vientos y el aprovechamiento inadecuado son las causas fundamentales del deterioro.

Los resultados obtenidos son similares a lo reportado por (Uvijindia, 2019) para un mismo tipo de bosque en la zona baja de la microcuenca del río Puyo, donde bosque primario y secundario presentaron categorías de poco y mediana perturbación, en cambio sistema silvopastoril fue alto, debido a que es un área donde predominan actividades de pastoreo, extracción de recursos vegetales, talas y presencia de vegetación secundaria e introducida.

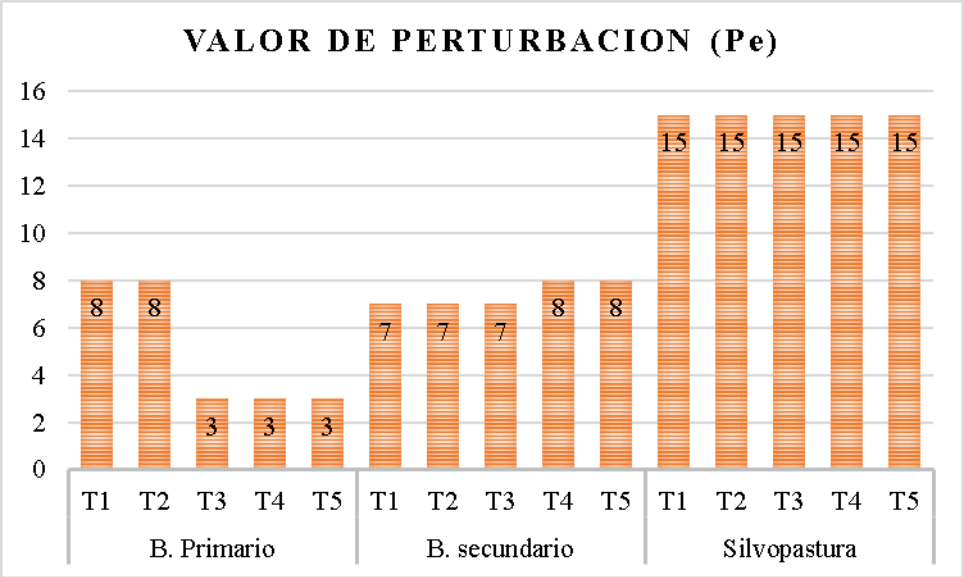


Figura 2. Valor de perturbación por cada sitio.

El grado de perturbación de acuerdo a la prueba de chi cuadrado mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los asocios de bosque (BP/BS/SS) para los disturbios relacionados con la existencia de cultivos o cambios de uso de suelos, presencia de especies invasoras, tala y pastoreo, a diferencia de los disturbios identificados como caída de árboles por el viento y los deslizamientos de suelos, los cuales fueron similares en todas las áreas de bosque. El valor de chi cuadrado resultó variable, desde 5 hasta 30, lo cual reveló una alta variación de los indicadores que miden el grado de perturbación con respecto a los asocios de bosque (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de la prueba de chi cuadrado de los distintos disturbios reportados en cada área de bosque.

Asocio	Tipo de disturbio	Chi cuadrado	P
BP/BS/SS	Caída de árboles por el viento	10,18	**0,006**
BP/BS/SS	Existencia de cultivos o cambio de uso de suelos	30,00	**0,000**
BP/BS/SS	Deslizamiento de suelos	5,00	**0,082**
BP/BS/SS	Presencia de especies invasoras	21,43	**0,000**
BP/BS/SS	Tala	18,75	**0,001**
BP/BS/SS	Pastoreo	15,00	**0,001**

3.2. Efecto de los claros en el bosque

El análisis de los claros en el bosque reportó un registro total de 71 claros en bosque primario, 161 en bosque secundario y cinco en silvopastura. El bosque secundario resultó con mayor área de claros del dosel y del suelo. El área del dosel varió desde 68 hasta 448 m^2, ocupando el 44,8 % del área total de los transectos y el área del dosel del suelo resultó de 283 hasta 778 m^2, ocupando el 44,8 % del área total de los transectos. Los claros en el sistema silvopastura fueron los que presentaron mayores áreas, debido al propio sistema establecido que permitió la eliminación de muchos árboles y el establecimiento de cultivos. Se reportó mayor cantidad de árboles caídos en el bosque secundario (49) y árboles con mayor porte diamétrico en bosque secundario, lo cual representa una perdida considerable de este recurso forestal (Tabla 2).

En estos claros ingresa mayor cantidad de radiación solar, hecho que induce al establecimiento de regeneración natural, sobre la que, generalmente existe información escasa sobre todo referido a la identidad de las especies que aprovechan esta oportunidad, de tal modo que, se ignora si pertenecen a poblaciones lejanas diferentes; la información de un inventario de la vegetación existente en claros producidos por la caída de árboles, sería útil, sobre todo, en los planes de manejo que consideran la recuperación del bosque por regeneración natural (Alegría, R, Panduro, B., & Rojas, 2016).

Tabla 2. Registro de datos de los claros del dosel, nivel del suelo y árboles caídos

Sitio	Transectos	N° Claros	Área de Claros		Árboles Caídos	
			Superficie a nivel de dosel (CAN) (m^2)	Superficie a nivel de suelo (EXT) (m^2)	N° Individuos	DAP (cm)
Bosque primario	T1	16	69,48	180	6	20,2
	T2	19	116	581.5	11	17,7
	T3	28	68	303	8	15,7
	T4	5	75	126	3	23,3
	T5	3	5	84	1	6,0
Bosque secundario	T1	15	185	417	7	18,6
	T2	48	110	283	13	11,3
	T3	23	448	778	9	16,8
	T4	41	226	663	12	12,6
	T5	34	68	315	8	11,1
Silvopastura	T1	1	1000	1000	1	15,0
	T2	1	1000	1000	1	16,0
	T3	1	1000	1000	1	14,0
	T4	1	1000	1000	1	11,0
	T5	1	1000	1000	1	10,0

3.3. Índice de calidad ecológica estructural

El índice de calidad estructural en términos relativos resultó con valores entre 1-2 para los tres sitios de estudio. En bosque primario y secundario se presentaron índices de 1,75 y 1, lo cual reflejó la existencia de un bosque con media calidad ecológica estructural, debido a la alteración progresiva de sus parámetros estructurales y, por consiguiente, requiere actividades de restauración. El valor del índice fue ≤ 1 en silvopastura, lo cual indicó baja calidad ecológica estructural, debido a la ruptura total o parcial de sus parámetros estructurales, por lo que requiere de actividades urgentes de restauración (Tabla 3). Los resultados obtenidos reflejaron que el bosque primario desde el punto de vista de la estructura ecológica ha sufrido cambios generados por los disturbios ocasionados, lo que permitió que la PSr obtenga un valor de 1 por resultar +60% de las especies presentes en un solo estrato, como criterio de una distribución vertical discontinua. El IVI resultó con valor de 1, debido a que más de dos especies pioneras ocuparon posiciones altas, tales como: *Piptocoma discolor*, *Cecropia sciadophylla* y *Compsoneura capitellata*. El CM resultó con valor de 2, debido a que entre 40 y 50% de clases diamétricas presentaron una proporción entre 1:3 y 1:5, ósea bastante heterogénea que por cada tres o cinco individuos se puede encontrar una especie nueva. El AEP resultó con valor 2 porque se registraron dos especies indicadoras de perturbaciones. La estructura de este bosque resultó similar al bosque secundario, lo cual reflejó que los disturbios naturales y antrópicos han alterado las características ecológicas de este sitio. Para Uvijindia (2019), esto evidencia un marcado patrón del comportamiento diferenciado de la vegetación entre bosque primario, secundario y sistema silvopastoril en función de los factores ecológicos, lo cual pudiera estar atribuido, fundamentalmente al estado de conservación de las áreas condicionado por los cambios de uso del suelo.

Tabla 3. Índice de Calidad ecológica estructural

Área de bosque	AB		IVI		PSr		CM		ICEE	
	N	Valor	N	Valor	N	Valor	N	Valor	Valor relativo	Categoría
B. Primario	2	2	5	1	70,59%	1	2	2	1.5	Media
B. Secundario	3	2	8	1	58,02%	2	2	2	1.75	Media
Silvopastura	5	1	8	1	76,92%	1	1	1	1	Baja

3.4 Diseño de núcleos de restauración

3.4.1 Identificación de sitios prioritarios

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de las perturbaciones y la calidad ecológica estructural se identificaron como sitios prioritarios para orientar acciones de restauración mediante la técnica de nucleación en los transectos T1 y T2 de bosque Primario y en T1, T2, T3, T4 y T5 de Bosque Secundario y T1, T2, T3, T4 y T5 de silvopastura (Tabla 4).

Tabla 4. Sitios prioritarios para el proceso de restauración

CÓDIGO	TIPO DE BOSQUE	PARCELA
T1	Primario	1
T2	Primario	2
T1	Secundario	1
T2	Secundario	2
T3	Secundario	3
T4	Secundario	4
T5	Secundario	5
T1	Silvopastura	1
T2	Silvopastura	2
T3	Silvopastura	3
T4	Silvopastura	4
T5	Silvopastura	5

3.4.2 Selección de especies para el proceso de restauración.

La selección de especies para conformar los núcleos de restauración determinado en función del análisis del peso ecológico, a partir de la abundancia, frecuencia y dominancia, así como la identificación de especies pioneras que colonizaron los parches de vegetación encontrados en los sitios perturbados con facilidad para ocupar los espacios abiertos permitió identificar grupos de especies para cada sitio considerado como prioritario para la restauración. En la tabla 5 se presenta el listado de las especies que serán utilizadas en el proceso de restauración forestal.

Tabla 5. Listado de las especies para el proceso de restauración

Sitio	Nombre científico	Familia
Bosque Primario	*Wettinia maynensis*	*Arecaceae*
	Ocotea cernua	*Lauraceae*

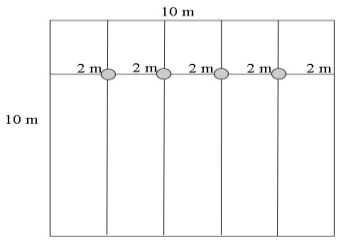
	Alchornea glandulosa	*Euphorbiaceae*
	Cecropia membranacea	*Urticaceae*
	Inga nobilis	*Fabacea*
Bosque Secundario	*Miconia splendens*	*Melastornaceae*
	Bactris setulosa	*Arecaceae*
	Wettinia maynensis	*Arecaceae*
	Piptocoma discolor	*Asterácea*
	Pouroma tomentosa	*Urticaceae*
Silvicultura	*Chimarrhis glabriflora*	*Rubiaceae*
	Cecropia membranacea	*Urticaceae*
	Cecropia ficifolia	*Urticaceae*
	Tovomitosis membranacea	*Clusiaceae*
	Ficus paraensis	*Moraceae*

3.4.3. Diseño de la técnica de nucleación

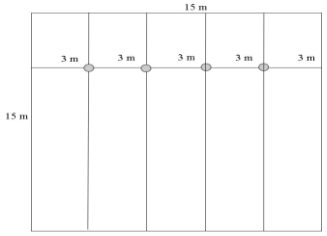
La técnica de nucleación para la restauración de los sitios prioritarios consideró los siguientes criterios técnicos y silvícolas:

-**Número de núcleos en cada sitio prioritario:** Se propone establecer 17 núcleos, que serán establecidos de la siguiente manera: dos núcleos en el bosque primario, diez en el bosque secundario y cinco en silvopastura. En bosque primario un núcleo en T1 y uno en T2, en bosque secundario dos núcleos en cada transecto y en silvopastura un núcleo en cada transecto. Cada núcleo formado en el área degradada se convierte en un elemento de iniciación, con nueva diversidad y funcionalidad en el paisaje.

-**Tamaño del núcleo:** En el bosque primario y secundario se propone que cada núcleo tenga un área de 100 m^2 (10x10 m), debido a que el área de los claros registrados resulta más pequeña, mientras que para el silvopastura se propone un área mayor para el diseño del núcleo de 300 m^2 (15x15 m) con la finalidad de cubrir mayores aperturas de dosel (Figura 2).



(a)



(b)

Figura 2. Diseño del núcleo (a) bosque primario y secundario y (b) silvopastura.

-Distancia entre especies: La distancia que se utilizará para el esquema de plantación será de 3 x 3 m, considerando lo recomendado por Wightman (2006) donde refiere que se debe plantar árboles a una distancia de 3x3 m para especies maderables tropicales. En cuanto a los hoyos de plantación se recomienda realizarlo con un tiempo de antelación de dos meses antes de plantar para que las propiedades del suelo puedan mejorar en ese tiempo. Los hoyos se realizarán con unas dimensiones de 40x40x40 cm, a partir de los criterios de Bannister (2015).

(a)

-Distribución de especies en el núcleo: La distribución de especies en el núcleo se ha considerado en función del peso ecológico, ubicando en el centro las de mayor importancia, por resultar esta zona la parte medular del núcleo, y se distribuirá progresivamente en forma de grupos de especies hacia los extremos (Figura 3).

(a) (b)

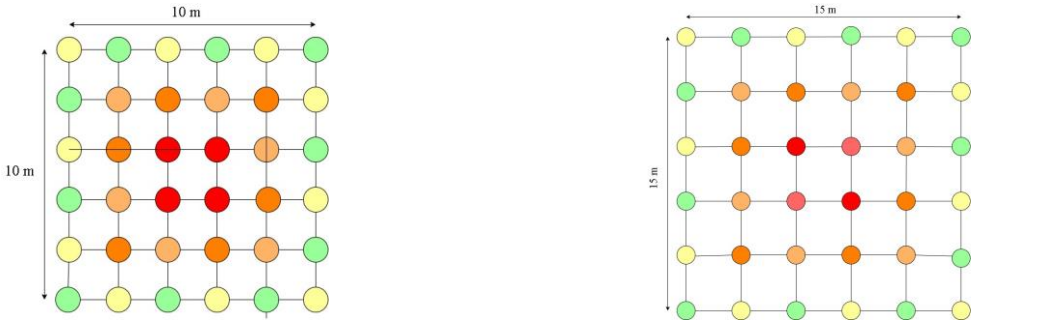


Figura 1. Modelo de distribución de especies dentro del núcleo diseñado para (a) bosque primario y secundario y (b) silvopastura.

Las especies consideradas para cada núcleo diseñado fueron las de mayor importancia ecológica y especies heliófilas ó pioneras que por su naturalezan tienen la caracteristica de colonizar en los sitios de claros con una proliferación abundante de especies, resultando idóneas para el proceso de restauración. En la Tabla 6 se presenta el número de individuos que se va a emplear por cada especie de acuerdo al sistema de bosque, lo cual se obtuvo al considerar la cantidad de núcleos a establecer por cada sitio de bosque y el tamaño del mismo.

Tabla 6. Número de especies e individuos a emplear en cada núcleo

Sitio	Codificación por color	Especie	Individuos
Bosque		*Wettinia maynensis*	5

Primario	*Ocotea cernua*	5
	Alchornea glandulosa	5
	Cecropia membranacea	5
	Inga nobilis	2
Bosque Secundario	*Miconia splendens*	20
	Bactris setulosa	20
	Wettinia maynensis	20
	Piptocoma discolor	20
	Pouroma tomentosa	20
Silvopastura	*Chimarrhis glabriflora*	10
	Cecropia membranacea	10
	Cecropia ficifolia	10
	Tovomitosis membranacea	10
	Ficus paraensis	10

-Remoción de materiales al interior de los núcleos: Se recomienda buscar varios elementos (suelo, semillas, microorganismos, hongos, bacterias, etc.) dentro de estos fragmentos y moverlos a los sitios identificados para el proceso de restauración que comprende los núcleos diseñados para cada sitio de estudio.

-Restauración de sitios prioritarios: Para el desarrollo de esta etapa se proponen las siguientes actividades:

Recolección de semillas: Esta actividad silvícola que forma parte de la silvicultura especial se recomienda se realice a través de métodos de recolección directo del suelo para aquellos árboles de frutos de mayor tamaño y cuyas semillas no se abran al caer al suelo. Para la recolección es preciso tener en cuenta la época de reproducción de las especies o la revisión de un calendario fenológico.

Vivero forestal: Se empleará la tecnología de viveros en contenedores que cuenta la UEA como vivero didáctico para la producción de plantas y serán sometidas a pruebas de calidad una ve que se encuentren listas para la plantación.

Preparación de la tierra: Se deberá realizar una preparación manual de la tierra, cuidando la regeneración natural.

Plantación de especies: Las plántulas una vez producidas en vivero y realizado el diagnóstico de los atributos morfológicos y fisiológicos de calidad de la planta serán traslada al sitio de plantación considerando las medidas de protección hasta el sitio de plantación.

Mantenimiento de las plantas al interior del núcleo: El mantenimiento silvícola como conjunto de labores culturales debidamente planificadas y correctamente ejecutadas, tiene como fin asegurar la supervivencia de las pequeñas plantas, se recomienda semanalmente realizar mantenimiento.

Monitoreo y control de supervivencia: Se realizará un monitoreo de las plantas

establecidas al interior de cada núcleo y se realizará un registro de datos del proceso de crecimiento y desarrollo de las especies tales como: altura, diámetro en la base, estado de salud, número de hojas.

4. CONCLUSIONES

- El grado de perturbación en los sitios del bosque siempreverde piemontano de la zona alta de la microcuenca del río Puyo, reportó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) ocasionado principalmente por la existencia de cultivos o cambios de uso de suelo, especies invasoras, tala y pastoreo.
- El índice de calidad ecológica estructural resultó entre 1,5 y 1,75 para bosque primario y secundario, indicando media calidad y fue ≤ 1 en silvopastura, lo cual indicó baja calidad ecológica debido a la ruptura total o parcial de sus parámetros estructurales. Estos resultados sugieren la necesidad de acciones de restauración para restablecer las funciones ecológicas del bosque.
- Se fundamentó la técnica de nucleación forestal a partir del análisis de las perturbaciones y la calidad ecológica estructural relacionada con los parámetros fitosociológicos de este importante reservorio de bosque. El diseño de los núcleos consideró la inclusión de especies pioneras y de mayor importancia ecológica, además se tuvo en cuenta el número de núcleos en cada sitio, tamaño del núcleo, distancia entre especies y la distribución de especies en el núcleo.

RECOMENDACIONES

- Gestionar fondos financieros con entidades no gubernamentales que permitan la puesta en práctica de actividades de restauración en la microcuenca del río Puyo.
- Se recomienda continuar con el monitoreo de la vegetación y el suelo en estas áreas de bosques para obtener mayor información sobre el estado de deterioro de estos ecosistemas y encausar acciones de protección para la microcuenca.

REFERENCIAS

Aguirre, Z. (2014). Regeneración natural del bosque seco de la provincia de Loja. *Revista CEDAMAZ*, 3(1), 65.

Árevalo, B., & Ortuño, G. (2010). Mediciones Sistemáticas . *SciELO*, v.16 n.2.

Campos, G., & Martínez, E. (2012). La Observacion, un Metodo para el Estudio de la Realidad. *Universidad la Salle Pachuca*.

Celentano, D., & Rakan, A. (2011). Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: efecto de varios modelos en la producción, acumulación y descomposición de hojarasca. *SciELO*, vol.59 n.3 .

Delgado, &. F. (1999). Biodiversidad vegetal en bosques manejados. *Revista Forestal Centroamericana (CATIE)*, 14-20.

Duque, V. (2020). Propuesta de restauración forestal mediante nucleación en áreas degradadas de la microcuenca del río Puyo.

FAO. (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales. Informe principal.

FAO. (2016). State of the world's forests 2016 (spanish). Place of publication not identified:. *Food & Agriculture Org.* .

García, Q. Y. (2021). Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *SciELO*, vol.24 no.1.

Garcia, Y. A. (2021). Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colombia Forestal*.

Garcia, Y. A. (2021). Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colombia Forestal*.

Garcia, Y., Arteaga, Y., Torres, B., Bravo, C., & Robles, M. (2021). Biomasa aérea de

familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colombia Forestal*.

Gutiérrez, B. (1999). La sucesión en los bosques de "Pinus uncinata" del Pirineo. *Dialnet*, 133-172.

Hartshorn, G. (2003). La importancia de manejar los bosques tropicales en América Latina. . *UNISEFOR*, 2.

Los bosques tropicales, un ecosistema que salva al planeta. (2020). *Ministerio de agua y ambiente*.

MAE. (2014). Plan Nacional de Restauración Forestal. *Ministerio del Ambiente* .

Meli, P. (2003). Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *SciELO*, v.28 n.10.

Paula, M. (2003). RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE BOSQUES TROPICALES. VEINTE AÑOS DE INVESTIGACIÓN ACADÉMICA. *SciELO*, INCI v.28 n.10.

Peña, G. (2016). Tercer Congreso de Restauración Ecológica-Libro de resúmenes. .

Regina, T. (2007). Recuperación de áreas degradadas: La función de la nucleación.

Reyes, L., & Linares. (2006). La Modelación Teórica como método de la investigación científica. *Redalyc*, 8-15.

Rivas, R. J. (2015). Análisis preliminar de los servicios ecosistémicos de la cuenca media del río Pastaza, Ecuador. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8661/MONOGRAFIA%20-JRIVAS-20150320.pdf?sequence=1

Sampieri, H. (2010). Metodología de la investigación. *Mexico: Interamericana Editores S.A.*

Sanchún, R. B. (2006). Restauración funcional del paisaje rural:manual de técnicas. *Serie técnica: Gobernanza Forestal y Economía. Número 3*.

Tres, D. R., & Reis, A. (2007). La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje. *II Seminário Internacional de Restauración Ecológica. Santa Clara: Grupo Cubano de Restauración Ecológica*, 32-42.

ANEXOS

Fundamentación teórica

Bosques Tropicales

Los bosques tropicales son los más antiguos, varios y ecológicamente complicados. Sostienen probablemente más de la mitad de todas las formas de vida del planeta y brindan servicios ambientales como la captación de agua, el mantenimiento del suelo, la fijación de CO_2. El incremento en la atención que han recibido se ha debido primordialmente a las repercusiones de la deforestación. Esta produce agrado regional la pérdida del uso forestal, deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico y desestabilización de cuencas; a nivel global altera el albedo y el balance de agua atmosférica, pudiendo afectar los patrones climáticos y contribuir al calentamiento global (Paula, 2003).

Factores de la degradación de los ecosistemas tropicales

Los bosques tropicales son los ecosistemas más antiguos, diversos y ecológicamente complejos, más de la mitad de todas las formas de vida del planeta habitan en ellos, brindan múltiples servicios ambientales. Su degradación se ha debido principalmente a las implicaciones de la deforestación y diversas acciones antrópicas que se han venido ejecutando en los últimos años. Estas actividades generan a nivel regional la pérdida del uso forestal, deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico y desestabilización de las cuencas hídricas. La degradación suele comenzar con la sobreexplotación, insertando en ellos sistemas como agroforestales o silvopastoriles, que deterioran y degradan progresivamente el estado del uso del suelo, esto se sobreentiende como la pérdida permanente de la capacidad que tienen los suelos (Meli, 2003).

Perturbaciones de los bosques tropicales

En los bosques tropicales, la gran mayoría de las perturbaciones naturales conlleva a un proceso de sucesión secundaria compuesto por flora inicial. Las perturbaciones antropogénicas pueden llegar a interferir con los procesos naturales de la regeneración y sucesión. Las perturbaciones y la regeneración natural son parte integral de la dinámica de los bosques. El tipo de perturbación, en especial la severidad, tiene influencia sobre: El potencial de regeneración de las especies en el sitio perturbado, en relación a sus estrategias de reproducción y de crecimiento. La tasa y las etapas involucradas en la sucesión forestal, específicamente cuando los sitios perturbados requieren etapas más largas para la fase de iniciación del rodal. Después de las perturbaciones antropológicas, los bosques tropicales se pueden recuperar mediante trayectorias similares. También es posible que requieran acciones de restauración para acelerar o iniciar el proceso de sucesión (Rivas, 2015).

Restauración forestal

La restauración forestal es el conjunto de actividades relacionadas con la recuperación de la funcionalidad de los ecosistemas, el restablecimiento de condiciones que favorezcan la evolución de los procesos naturales en áreas degradadas y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. La Amazonía apoya a la Autoridad Ambiental con la utilización de 15.000 hectáreas bajo restauración forestal en las áreas prioritarias del Programa Nacional de Reforestación y fortalece las habilidades de los técnicos y comunidades para la sostenibilidad de las actividades de restauración (MAE, 2014).

Técnica de nucleación

La técnica de nucleación se apoya en la formación de microhábitats como núcleos facilitadores para la llegada de especies animales y vegetales que, en un proceso sucesional, aumentan la probabilidad de la ocurrencia de interacciones interespecíficas. Es una técnica de restauración que se enfoca en modelos de manejo de la biofuncionalidad de los ecosistemas que buscan su integración con el paisaje natural que los rodea. El objetivo fundamental de esta técnica es la formación de microhábitats, que permitan una serie de eventos estocásticos para la regeneración natural, tales como el arribo de las especies y la formación de una red interactiva entre los organismos (Sanchún, 2006).

El proceso de nucleación es reconocido como un mecanismo de retroalimentación en el que se desarrollan dos dinámicas con la identificación de un receptor y un donante. En el proceso de nucleación o diseño de núcleos se debe entender que, en el paisaje degradado, tanto las áreas naturales como los fragmentos se consideran los últimos núcleos de diversidad Reis y Tres (2010). La idea es buscar varios elementos (suelo, semillas, microorganismos, hongos, bacterias, etc.) dentro de estos fragmentos y moverlos a las áreas degradadas. La combinación de estos elementos permite la creación de una nueva condición en el área degradada, comenzando con la formación de un pequeño núcleo de diversidad (Franks, 2003).

Con el tiempo, estos núcleos tienden a extenderse y unirse, ganando fuerza al establecer conexiones con las unidades naturales del paisaje (remanentes naturales, corredores ecológicos). Esta es la primera ruta de conectividad: la conectividad del receptor que se produce entre los fragmentos naturales y el área degradada. En una etapa posterior, este núcleo formado en el área degradada se convierte en un elemento de iniciación, con nueva diversidad y funcionalidad en el paisaje (Reis y Tres, 2010). El núcleo comienza a regresar al paisaje a medida que se extiende y gana fuerza, la retroalimentación que se produce es la conectividad entre el área a restaurar y los fragmentos que lo rodean, convirtiéndose en la segunda ruta de conectividad: la conectividad del donante entre el área restaurada y los fragmentos del paisaje. En este punto, se restaura una red de conexiones, que es esencial para promover la conectividad entre las unidades del paisaje como un todo dentro del ecosistema (Corbin y Holl, 2012). De esta manera la nucleación acelera la sucesión natural, permitiendo que se expresen los mecanismos de restablecimiento utilizados por la naturaleza.

Importancia de la nucleación

El proceso de nucleación es importante ya que representa una nueva alternativa de restauración ambiental que contrasta con los métodos usualmente utilizados, porque da más importancia a los procesos naturales de sucesión. Aparentemente son bastante lentos para llegar a una vegetación arbórea que corresponda al clima tropical predominante en el Brasil, pero representan una base para la formación de comunidades forestales que puedan futuramente actuar como nuevos núcleos funcionales dentro del actual paisaje fragmentado. La sucesión que envuelve la formación de poblaciones, no solamente de especies vegetales arbóreas (productores), pero de otras formas de vida y de otros grupos funcionales (consumidores y descompositores), garante la formación de comunidades que representan las actuales condiciones del paisaje. Estos núcleos van a actuar, dependiendo de su forma, tamaño y estructura, como corredores o trampolines ecológicos dentro de una nueva perspectiva de manejo ambiental de los paisajes. Llevando en cuenta este panorama, la restauración de las áreas degradadas no se limita a una acción puntual en áreas impactadas, pero si a una estrategia que futuramente será un importante complemento en el manejo ambiental del paisaje (Regina, 2007).