

Programa Reforestación Inteligente ®

Primer Informe Técnico de Restauración Forestal en la Comarca Ngäbe-Buglé

Monitoreo en parcelas de restauración y transectos de enriquecimiento – Plantaciones 2022

29 de septiembre 2025

Autores:

Dr. Slendy Rodríguez Alarcón
Dr. Jefferson Hall
Lic. Mario Bailón
Lic. Miguel Núñez
Lic. Johana Balbuena
Lic. Carlos Díaz

Sabedores locales participantes en mediciones:

Omar Arena, Audilio García, Armando García, Alexis González, Bolívar García, Franklin González, Gerardo González, José González, Maximino González, Ricardo González, Euribiades Guerra, Edy Guerra, Lenin Guerra, Didier Hernández, Idelman Hernández, Abdiel Mendoza, Maira Rosa Peña, Ramon Peña, Octavio Pérez, Abdiel Pineda, Dalvis Pineda, Alejandro Rodríguez, Modesto Rodríguez, Tereso Rodríguez, Filemón Santos, Ismael Santos, León Santos, Rebeca Santos, Leovigildo Vásquez, Paulino Vásquez



**GLOBAL CENTRE ON
BIODIVERSITY
FOR CLIMATE**



Glosario

Análisis fisicoquímicos de suelo: es estudiar las propiedades del suelo, como su textura (si es arenoso o arcilloso), su color, su acidez, y los nutrientes que tiene.

Condiciones edáficas: son las características del suelo, como su tipo, color, humedad y fertilidad.

Condiciones topográficas: son las características del terreno, como si es plano o inclinado, la altura sobre el nivel del mar y hacia dónde está orientada la pendiente.

Diversidad microbiana de suelo: es la variedad de microorganismos (bacterias, hongos, etc.) que viven en el suelo y ayudan a las plantas a crecer. Algunos de estos microorganismos también incluyen patógenos, que son organismos capaces de causar enfermedades en plantas, animales o incluso en las personas.

Dosel arbóreo: es la capa superior de un bosque formada por las copas de los árboles, creando sombra debajo de ellos.

Ecosistema: es un lugar donde los seres vivos (plantas, animales, hongos, microorganismos) interactúan entre sí y con su entorno (suelo, agua, aire, clima). Por ejemplo, un bosque, un río o una playa son ecosistemas.

Especie de planta: es el tipo de planta, como por ejemplo mango, cacao o cedro. Una *planta nativa*, es una especie que vive naturalmente en un lugar porque nació y creció allí desde hace mucho tiempo, sin haber sido traído por personas de otro lugar.

Estructura de un bosque: es la forma en que los árboles, principalmente, se organizan en el espacio, tanto en un plano horizontal (distribución de los árboles en el suelo) como vertical (capas de vegetación). Esta organización incluye la distribución de especies, el número, la altura y el diámetro de los árboles, y la presencia de distintas capas como el dosel, el sotobosque y la capa base (vegetación del suelo, como hierbas, helechos y musgos), que definen las condiciones del ecosistema.

Georreferenciado: significa que tienen las coordenadas del lugar exacto donde están las parcelas y transectos, como ponerle “la dirección” en un mapa a cada parcela y transecto.

Hectárea: una hectárea (ha) es una medida de superficie equivalente a 10.000 metros cuadrados, aproximadamente del tamaño de una cancha y media de fútbol profesional. En



ecología, las parcelas de estudio suelen ser de 100 x 100 metros, lo que equivale exactamente a una hectárea.

Plantas leñosas: son plantas que tienen tallos o troncos duros, como árboles y arbustos.

Individuo: es cada planta por separado; si hay 10 mangos en un lugar, son 10 individuos de la misma especie.

Regeneración natural asistida: es cuando dejamos que la naturaleza se recupere sola, pero le damos una ayuda para que lo haga más rápido o mejor, por ejemplo, quitando maleza invasora, protegiendo las plantas jóvenes o cercando el área para evitar que el ganado entre.

Restauración sostenible: es decir, que el bosque restaurado pueda seguir creciendo y ofreciendo sus servicios ecológicos (como agua, biodiversidad y captura de carbono) mientras las personas que dependen de él también mejoran su calidad de vida, sin comprometer el bienestar de las futuras generaciones.

Servicios ecosistémicos: son los beneficios que las personas obtenemos de la naturaleza. Se suelen dividir en:

-Provisión: lo que obtenemos directamente, como alimentos, agua o madera.

-Regulación: procesos naturales que nos ayudan, como la polinización, la purificación del agua o la captura de carbono.

-Culturales: valores espirituales, recreativos o educativos, como el turismo o el conocimiento tradicional.

-De soporte: funciones básicas que sostienen la vida, como la formación del suelo o el ciclo de nutrientes.

Sotobosque: es la vegetación de un bosque que crece más cerca del suelo.

Sucesión ecológica: es un proceso natural de cambio gradual en la composición de especies y la estructura de un ecosistema a lo largo del tiempo. Tipos de sucesión:

- **Sucesión primaria:** ocurre en un área donde no hay organismos vivos, como rocas desnudas o lava, lo que lleva al establecimiento gradual de organismos vivos y al desarrollo del suelo con el tiempo.

- **Sucesión secundaria:** comienza en un área que ya albergaba vida, pero que fue alterada por una perturbación (fuego, inundación, deforestación) que eliminó la vegetación, pero no destruyó el suelo. Este proceso es más rápido que la sucesión primaria porque el suelo existente, que ya contiene nutrientes y semillas, sirve como punto de partida para el establecimiento de nuevas especies pioneras como pastos y arbustos.



Transecto: un transecto es un camino a lo largo del cual se cuentan y registran las plantas. En nuestro caso, cada transecto mide 50 x 20 metros (1.000 m²), equivalente a menos de un cuarto de cancha de fútbol. Esto corresponde aproximadamente a 1/10 de una hectárea.

Trayectoria sucesional: define los cambios bióticos (en las especies) y abióticos (en el entorno) que experimenta un ecosistema a lo largo del tiempo, desde una perturbación hasta alcanzar una comunidad más estable, como un bosque maduro.



Introducción

La restauración forestal es el proceso de ayudar al restablecimiento o recuperación de un bosque que se ha degradado, dañado o destruido, con el objetivo de recuperar la salud, estructura y función del ecosistema. La restauración forestal se promueve cada vez más como una solución global para mitigar el cambio climático, conservar la biodiversidad y mejorar los medios de vida locales. Los bosques ayudan a regular el ciclo global del carbono absorbiendo dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera mediante la fotosíntesis. Almacenan este carbono en los troncos, ramas y hojas de los árboles, y en el suelo a través de las raíces y la materia orgánica en descomposición. Cuando los bosques se degradan o destruyen, el carbono que almacenan se libera a la atmósfera en forma de CO₂. Dado que el CO₂ es un gas de efecto invernadero, retiene el calor y contribuye al calentamiento global y a los cambios en los patrones climáticos. Restaurar y proteger los bosques puede ayudar a absorber más CO₂, reduciendo así los efectos del cambio climático. Esta importante función reguladora del clima ha convertido a los bosques en una parte clave de los mercados de carbono. En estos sistemas, gobiernos, empresas o particulares pueden compensar sus emisiones de carbono invirtiendo en proyectos que eliminan o previenen las emisiones de CO₂, como la conservación forestal o la plantación de árboles. Sin embargo, el acceso a estos mercados no es equitativo ya que a menudo excluye a las comunidades indígenas y rurales y requiere experiencia técnica y un monitoreo costoso.

La mayoría de los proyectos de plantación de árboles a gran escala en los trópicos dependen de especies exóticas e incentivos basados en el rendimiento (por ejemplo, la cantidad de carbono capturado por hectárea en un año), con una participación mínima de las comunidades locales o una distribución mínima de beneficios para ellos. A pesar de las grandes inversiones, muchos esfuerzos de reforestación en los trópicos fracasan debido a la mala selección de especies y a un conocimiento limitado de los entornos locales. Para que la restauración forestal sea efectiva, debe tener fundamento científico, adaptarse a las condiciones locales y estar impulsada por la participación comunitaria. La investigación de más de 15 años del programa Reforestación Inteligente® del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) en Panamá, ha demostrado que es posible restaurar los bosques y generar ingresos en tierras



degradadas y pobres en nutrientes en Panamá mediante estrategias con base científica y el uso de especies arbóreas nativas.

Esta iniciativa lleva ese conocimiento a la Comarca Ngäbe-Buglé, un territorio indígena extenso de Panamá que enfrenta fuertes limitaciones sociales (acceso a servicios básicos, mercado, infraestructura vial y hospitalaria, entre otros), con el propósito de desarrollar una iniciativa innovadora y participativa de restauración forestal. La iniciativa promueve la recuperación ambiental a la vez que crea oportunidades de ingresos sostenibles mediante el uso de especies arbóreas nativas con diferentes usos locales, pagos de carbono a largo plazo e investigación de campo. El objetivo a largo plazo es evaluar si la restauración con especies nativas puede mejorar la biodiversidad, la captura de carbono, los servicios ecosistémicos como la infiltración de agua y la polinización, y generar beneficios tangibles para los hogares participantes.

Este informe presenta los resultados del primer censo de parcelas de restauración y transectos en áreas de enriquecimiento de la Comarca plantadas en el año 2022. Incluye información sobre las especies plantadas y los patrones de supervivencia temprana de las plántulas. Los resultados provienen del monitoreo de plántulas de árboles plantadas en 14 parcelas de restauración de una hectárea (1 ha) y 15 transectos (50 x 20 m) en los terrenos de 15 beneficiarios locales. El informe documenta la riqueza de especies y el porcentaje de plántulas vivas en cada parcela respecto al objetivo inicial de plantación -establecido en 330 plantas por hectárea-, y los compara con datos de un bosque secundario de edad similar en la provincia de Los Santos, área de bosque seco. En colaboración con los residentes locales, esta iniciativa busca implementar estrategias piloto de reforestación que generen beneficios ambientales e ingresos sostenibles, sentando las bases para una iniciativa de reforestación más amplia.

Métodos

Área de Estudio

La Comarca Ngäbe-Buglé con condiciones topográficas y edáficas poco favorables para la agricultura, con predominancia de terrenos escarpados y suelos aparentemente de baja fertilidad con alto contenido de roca. El clima varía entre vertientes: la región caribeña mantiene



humedad constante y bosque tropical, mientras que la vertiente pacífica exhibe una estacionalidad marcada, con una estación seca (diciembre–abril) y otra lluviosa, lo que favorece una cobertura mixta de pastizales y remanentes de bosque. El área de trabajo es en la zona de bosques húmedo de lado de Pacífico de istmo de Panamá. Ambas vertientes presentan ríos y arroyos permanentes que son esenciales para consumo y actividades domésticas. El acceso a la región es limitado, con escasa infraestructura vial y predominio del transporte a pie o a caballo¹. Durante 2022 y 2023, el país experimentó sequías prolongadas que probablemente impactaron también la región de la Comarca, afectando potencialmente el desarrollo de las plantas².

La iniciativa de reforestación, manejo y pago por servicios ambientales, liderado por el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), fue aprobado por las autoridades tradicionales de la Comarca Ngäbe-Buglé: el Congreso Local de Nürüm y el Congreso Regional Kädri, firmado el 8 de octubre 2022 en Corregimiento El Peñón, Distrito de Nürüm. Panamá. Cabe destacar que la consulta para el consentimiento libre e informado tomó un año exacto, desde septiembre de 2021 hasta septiembre de 2022. La iniciativa se desarrolla con la participación activa de 27 propietarios de terrenos —miembros de las comunidades Ngäbe, Buglé y campesinas— quienes voluntariamente ofrecieron sus tierras para la siembra de especies nativas. A estos participantes se les denomina en adelante como beneficiarios.

Plantación de enriquecimiento

La iniciativa cuenta con la participación de 27 propietarios de terrenos de rastrojos o matorrales distribuidos en seis localidades y tres corregimientos de la Comarca Ngäbe-Buglé, en un área de más o menos 450 km². Diecisiete beneficiarios iniciaron su participación en el 2022, año de inicio de la iniciativa, y otros diez se incorporaron en 2023. En las áreas de enriquecimiento de los beneficiarios que comenzaron en 2022 y cuyas superficies superan 1 hectárea, se establecieron parcelas y transectos para el monitoreo iniciado en el año 2024. Cada uno de

¹ <https://ngobebugle.org/comarca/relieve>

² <https://miambiente.gob.pa/consejo-de-gabinete-declara-estado-de-emergencia-ambiental-en-todo-el-pais-por-la-sequia-prolongada/>



estos terrenos fue identificado con una letra, utilizada para representar los resultados en las gráficas de este informe (**Tabla 1**).

Tabla 1. Rango de tamaños de áreas de enriquecimiento en hectáreas (ha). Se presenta el área mínima y máxima, el área promedio por localidad, la dispersión de los datos (desviación estándar), y el número de terrenos (identificados con una letra) en los que se establecieron parcelas y transectos. La desviación estándar nos dice si las áreas de enriquecimiento tienen tamaños similares o muy diferentes por localidad. Si es un número pequeño, significa que casi todos los terrenos tienen un tamaño parecido en la localidad. Si es un número grande, es porque hay terrenos muy distintos en tamaño: unos pequeños, otros muy grandes.

Localidad	Área mín y máx (ha)	Área promedio (ha)	Desviación estándar del área	Terreno
Buenos Aires	1.1 – 4.53	2.33	1.32	A, B, C, D, E
El Bale	1.12 – 10	4.98	3.70	F, G, H, I, S*
Llano Bonito	2.1 – 4.79	3.07	1.49	J, K, L
Mojarra**	0.94 – 1	0.97	0.04	M, N
Virigua	2.53	--	--	O

* S: Transecto para evaluar sucesión natural en un área de 24 hectáreas incorporadas en 2023.

**Parcela y transecto compartido.

Buenos Aires y El Bale son corregimientos. Llano Bonito y Virigua son localidades del corregimiento de Güibale y Agua de Salud, respectivamente. Mojarra es una comunidad en el corregimiento de El Peñón.

Las plantaciones de enriquecimiento forestal iniciales realizadas en 2022 incluyeron 19 especies nativas seleccionadas por su valor ecológico y su utilidad para las comunidades locales. En 2023 se llevó a cabo una resiembra, sumando ocho especies adicionales para sustituir las plántulas muertas. En total, se utilizaron 27 especies nativas de árboles, entre ellas *Dalbergia retusa* (cocobolo), *Dipteryx panamensis* (almendro), *Pseudosamanea guachapele* (guachapali), *Terminalia amazonia* (amarillo) y *Platymiscium pinnatum* (qira) (**Tabla 2**). Del género *Calophyllum* obtuvimos dos especies del vivero: *Calophyllum brasiliense* y *Calophyllum longifolium*. Cabe resaltar que este esfuerzo forma parte de un ensayo de selección de especies, cuyo objetivo es evaluar el desempeño y la capacidad de establecimiento de diferentes especies nativas bajo condiciones locales y así identificar cuáles tienen mayor potencial para futuras iniciativas de restauración en la zona. La selección se basó en



investigaciones ecológicas previas y conocimiento local, priorizando especies arbóreas nativas con valor ecológico, cultural y económico.

Tabla 2. Lista de especies nativas usadas en la plantación de enriquecimiento con su respectivo nombre común.

Nombre común	Especie
Frijolillo	<i>Albizia adinocephala</i> *
Guachapalí	<i>Pseudosamanea guachapele</i>
Alcarreto	<i>Aspidosperma desmanthum</i>
Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i>
Maria	<i>Calophyllum</i> sp.
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>
Cocobolo	<i>Dalbergia retusa</i>
Macano	<i>Diphysa americana</i>
Almendra de montaña	<i>Dipteryx panamensis</i>
Corotú	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Guayacan	<i>Handroanthus guayacan</i>
Guayacan rosado	<i>Handroanthus impetiginosa</i> *
Guayacan	<i>Handroanthus ochraceus</i> *
Zapatero	<i>Hieronyma alchorneoides</i>
Tronador	<i>Hura crepitans</i> *
Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i> *
Guaba	<i>Inga spectabilis</i>
Nispero	<i>Manilkara zapota</i>
Cuajado negro	<i>Minqartia guianensis</i>
Quira	<i>Platymiscium pinnatum</i> *
Guachapalí rosado	<i>Samanea saman</i> *
Panamá	<i>Sterculia apetala</i> *
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>
Amarillo	<i>Terminalia amazonia</i>
Flor de mayo	<i>Vochysia ferruginea</i>
Guabito de río	<i>Inga laurina</i>

*Especies incluidas en resiembra y siembra año 2023.



La densidad de plantación objetivo fue de 330 individuos por hectárea. Sin embargo, esta densidad varió ligeramente entre áreas, oscilando entre 330 y 332 individuos por hectárea, con una excepción en el terreno del beneficiario A, donde se estableció una densidad de 343 plantas por hectárea. Las plántulas de cada especie se obtuvieron del vivero Futuro Forestal donde fueron mezcladas en bandejas para facilitar su distribución aleatoria durante la siembra y evitar secciones de monocultivo en el terreno, resultando en una composición de entre 11 y 23 especies distintas por área, dependiendo del sitio y del beneficiario. En cada área de enriquecimiento se establecieron líneas de siembra separadas por seis metros. Dentro de cada línea, los árboles se plantaron a una distancia de cinco metros entre sí. En total se plantaron 100 hectáreas, pero cinco beneficiarios ya no forman parte de la iniciativa. Por lo tanto, el área actual bajo el proyecto es de 89.74 hectáreas.

Durante esta iniciativa, los dueños de terreno deben garantizar que el área donde están sembrados los árboles se mantenga cercada para que con el tiempo la vegetación se recupere y crezca como bosque secundario. Para ello, como parte de las actividades de mantenimiento, los beneficiarios realizan rondas corta fuego alrededor de las cercas que delimitan cada área de enriquecimiento, además de efectuar limpiezas periódicas alrededor de los plantones (rodajeo) dos veces al año. Asimismo, durante la temporada lluviosa, aplican fertilizante (57 g de N-P-K, 12-24-12) una vez al año a cada uno de los plantones de enriquecimiento.

Establecimiento de parcelas y transectos

Se establecieron parcelas de 1ha (100 x 100m) que varían en forma y ubicación según la disponibilidad de terreno y condiciones de la vegetación dentro de cada área de enriquecimiento. En el interior de cada parcela se estableció un transecto de 0.1 ha (50 x 20 m) (**Figura 1**). Cada parcela y transecto fueron georreferenciados y marcados para su monitoreo a largo plazo.

En las parcelas se realiza exclusivamente el monitoreo de los plantones de enriquecimiento para evaluar el desempeño de los árboles plantados y conocer el éxito de restauración (**Figura 2**). En los transectos se registran todas las plantas leñosas (individuos con diámetro de altura al pecho mayor o igual a 10mm en L1 y L3, y 50mm en L2 y L4) (**Figura 3**), tanto plantados como naturales, para observar el avance de la sucesión natural en las áreas de enriquecimiento.

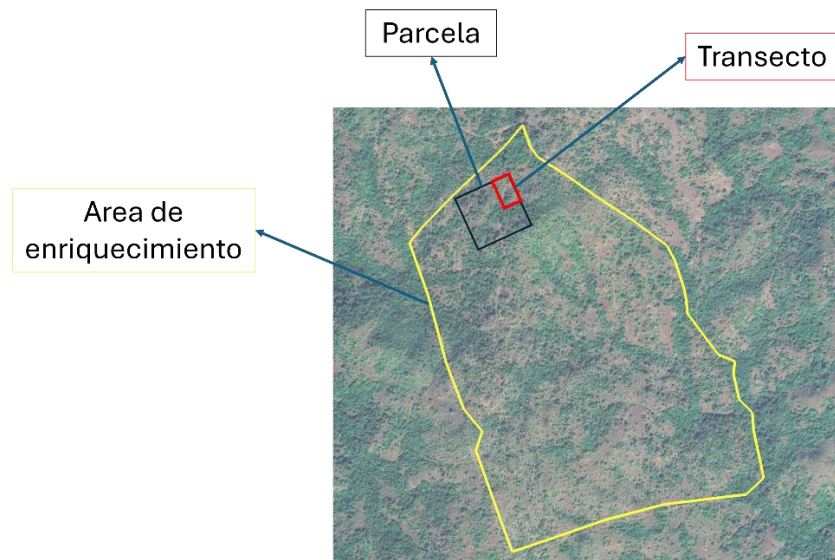


Figura 1. Esquema ejemplo de parcela y transecto en un área de enriquecimiento. El área de enriquecimiento está demarcada por los límites de la cerca.

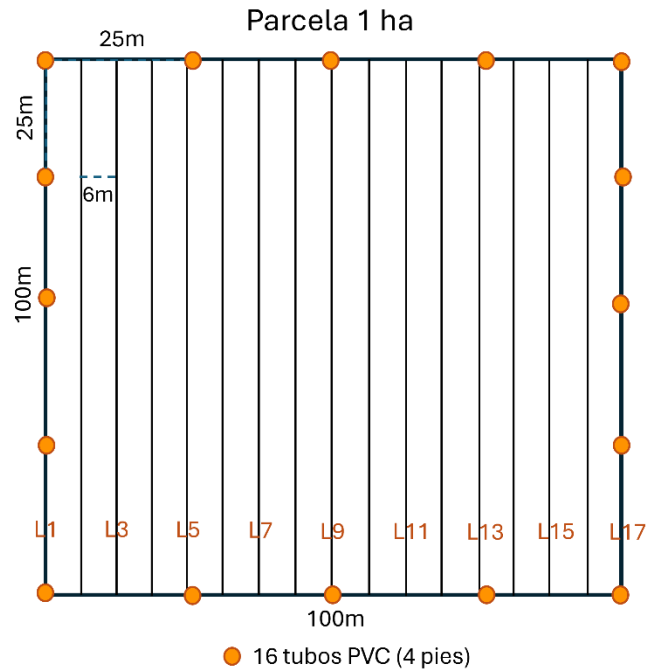


Figura 2. Representación esquemática de una parcela de monitoreo de 1 hectárea (100 x 100m). Cada tubo PVC de 4 pies de altura (1.2m) está a una distancia de 25m. Cada línea de siembra (L1-L17) está separada 6m.

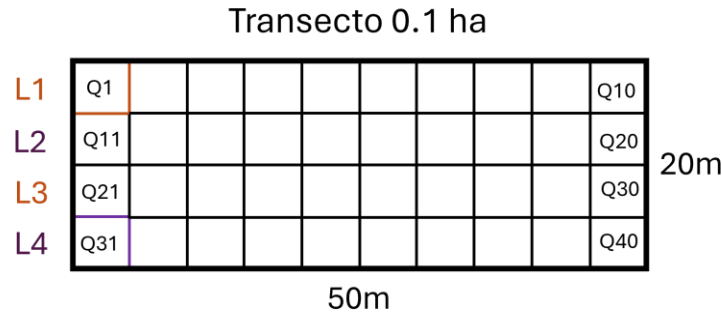


Figura 3. Representación esquemática de un transecto de monitoreo de 0.1 hectárea (50 x 20m). Cada transecto está dividido en 40 cuadrantes (Q1-Q40) de 5 x 5 m. Del Q1 al Q10 es la Línea uno (L1), Q11 al Q20 es la línea dos (L2), Q21 al Q30 es la línea tres (L3), Q31 al Q40 es la línea cuatro (L4). Las plantas leñosas con diámetro de altura al pecho (DAP) mayor o igual a 10mm se registran en las líneas L1 y L3. Las plantas leñosas con DAP mayor o igual a 50mm se registran en las líneas L2 y L4.

En total, entre 2023 y 2024, se establecieron 14 parcelas y 15 transectos en los terrenos de 15 beneficiarios, cada uno con un área mínima aproximada de una hectárea (**Tabla 1**). En 2025, se prevé completar la instalación de parcelas y transectos en los terrenos de los nueve beneficiarios restantes. Asimismo, se espera tomar muestras de suelos en cada parcela para análisis fisicoquímicos y de diversidad microbiana.

Es importante aclarar que en el caso de dos beneficiarios en Mojarra que poseen terrenos adyacentes, existe una parcela contigua de 1 hectárea ubicada entre sus propiedades, de modo que aproximadamente la mitad de dicha parcela corresponde al beneficiario M y la otra mitad al beneficiario N. Dado que la densidad de plantación fue uniforme, con un objetivo de 330 árboles por hectárea, los datos recopilados de esta parcela se colectaron para cada beneficiario y se escalaron para representar una hectárea completa por separado, lo cual se refleja con dos barras independientes en las gráficas correspondientes a parcelas.

Por otro lado, en el caso del transecto, donde se censaron todos los árboles y arbustos presentes naturalmente, se consideró la unidad conjunta para evitar duplicar la información. Esto se refleja con una única barra en las gráficas de transectos, que representa el transecto compartido por ambos beneficiarios (M-N). Esta decisión se basa en que la vegetación natural



no presenta una densidad constante ni conocida, a diferencia de la plantación de enriquecimiento por hectárea, por lo que duplicar los datos podría sobreestimar la cantidad de especies y de árboles y arbustos, generando resultados imprecisos.

Primer censo

Los resultados presentados en este informe se basan en los datos recolectados en los sitios plantados durante el año 2022. El primer censo se llevó a cabo entre julio y agosto de 2024, es decir, dos años después de la siembra. Inicialmente, se había previsto comenzar las mediciones al cabo de un año, sin embargo, las protestas contra Minera Panamá paralizaron el país, lo que impidió realizar las actividades en el tiempo planeado.

Durante el primer censo se registró el estado de supervivencia (vivo/muerto), la altura y el diámetro basal de cada plántula en las parcelas. Se registró la especie y número de tallos de cada árbol y arbusto en los transectos. Los datos fueron recopilados por miembros de la comunidad y técnicos capacitados de STRI mediante protocolos estandarizados.

Se calcularon métricas de supervivencia y número de árboles por sitio para evaluar el éxito inicial de la restauración en La Comarca y comparar con los datos de un bosque secundario de edad similar en la provincia de Los Santos (bosque seco) que en la actualidad se encuentra en fases posteriores de regeneración natural. Esta comparación nos permite determinar si la restauración activa (cercar el área y sembrar especies nativas) acelera la recuperación del bosque en términos de supervivencia, diversidad y estructura, en contraste con la recuperación natural que ocurre sin intervención. De esta forma, podemos tomar decisiones más informadas y adaptar nuestras estrategias para lograr una restauración más efectiva y sostenible acorde a las condiciones específicas de cada contexto.

Así mismo, se calculó el número de árboles y arbustos encontrados en cada transecto. Aún no es posible realizar análisis a nivel de especie para estimar con certeza la mortalidad, ya que varios individuos eran muy pequeños y sin hojas, lo que impidió su identificación. Esperamos que esta incertidumbre disminuya con la colecta de datos durante el segundo censo.



Resultados preliminares

Proporción de árboles sobrevivientes

Con base en los resultados de las parcelas, los sitios con mayor número de árboles plantados vivos registraron más de 200 plántulas vivas (**Figura 4**). Este buen desempeño se observó principalmente en los sectores de Llano Bonito (J, K), Buenos Aires (A-E) y El Bale (F-I). En contraste, en la comunidad de Mojarra (M) y la localidad de Virigua (O) se contabilizaron entre 184 y 190 plántulas de enriquecimiento vivos (**Figura 4**). Estos resultados reflejan el porcentaje de plántulas que han sobrevivido en cada parcela respecto al objetivo inicial de plantación, establecido en 330 plantas por hectárea. Dos sitios sobrepasaron el 80% de la meta deseada y la mayoría de los sitios lograron más del 60% de supervivencia (200 plantas) (Error! Reference source not found.).

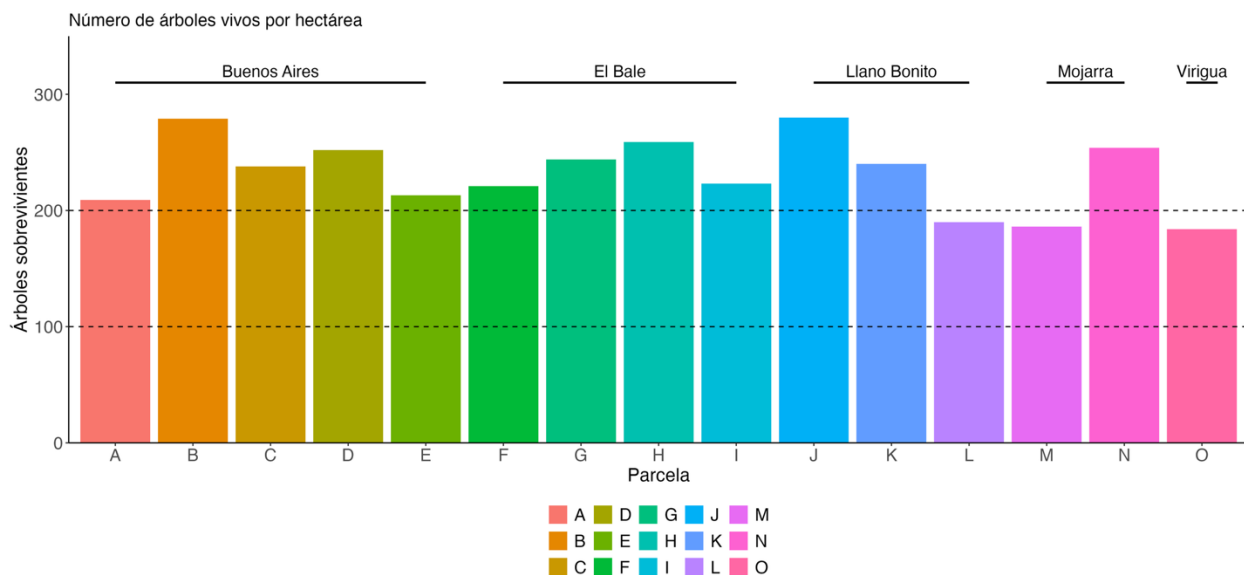


Figura 4. Número de árboles plantados vivos por sitio. Líneas punteadas en 100 y 200 plántulas de enriquecimiento vivos.

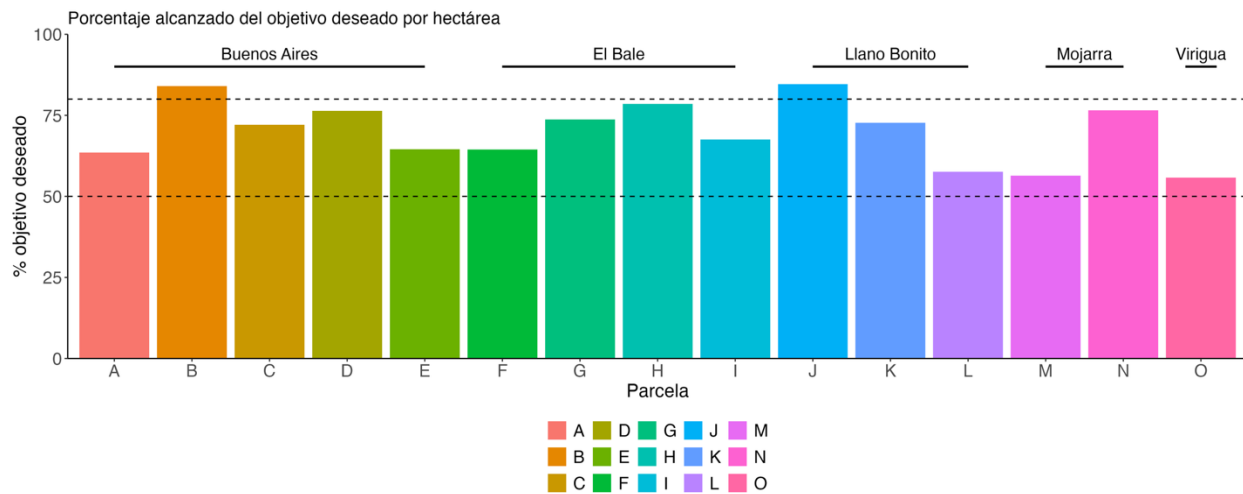


Figura 5. Porcentaje de plántulas sobrevivientes en cada parcela con respecto al total de árboles plantados inicialmente (330 plantas por hectárea). Líneas punteadas en 50% y 80% del objetivo alcanzado (330 plantas por hectárea). Las líneas punteadas marcan los niveles de referencia del 50% (supervivencia media) y 80% (supervivencia alta) de logro respecto a la meta de plantación.

Es importante señalar que, debido al tamaño y al estado fenológico de algunas plántulas, no fue posible identificar ciertas especies durante el monitoreo, especialmente en el caso de especies deciduas o semideciduas que pierden sus hojas durante la estación seca. Asimismo, durante los dos primeros años del estudio (2022 y 2023), correspondientes a la siembra y resiembra, se presentaron temporadas secas prolongadas que dificultaron el establecimiento de las especies plantadas. Sin embargo, la disponibilidad de datos meteorológicos en la zona es limitada o inexistente a una escala que permita respaldar formalmente esta observación en el contexto del estudio. Por lo tanto, se requiere la realización de nuevos censos y la recopilación de datos adicionales para evaluar con mayor precisión la supervivencia de las especies.

Las diferencias observadas en la supervivencia de plántulas entre parcelas reflejan no solo el manejo local, sino también las variaciones en las condiciones ecológicas de cada sitio. Factores como la calidad del suelo (algunos terrenos aparentemente muy pedregosos, muy compactos y de baja fertilidad), la disponibilidad de agua (con sitios más secos y otros



cercanos a quebradas), y el microclima local influyen significativamente en el éxito del establecimiento de las especies plantadas. En particular, los suelos muy compactos y las áreas rocosas suelen retener menos agua disponible para las raíces, lo que limita el crecimiento de las plántulas y aumenta el riesgo de mortalidad durante periodos secos. Estas condiciones heterogéneas podrían explicar, en parte, por qué algunas parcelas superaron el 80 % de supervivencia, mientras que otras no alcanzaron el 60 %. El análisis detallado de estos factores será clave para entender las estrategias de las plantas a lo largo de las etapas del estudio y para ajustar la selección de especies en futuros proyectos de restauración en áreas similares.

Riqueza de especies

Al comparar el promedio general de especies entre los sitios de la Comarca Ngãbe-Buglé y Los Santos (**Figura 6 y 7**), se observa que tanto la riqueza de especies como el número de árboles, arbustos y lianas en los transectos, es aproximadamente tres veces mayor en la Comarca. En promedio, la riqueza específica fue de 35 especies en la Comarca para 0.1 ha (transecto 50 x 20 m), en comparación con 10 especies en Los Santos (**Figura 6**). De igual forma, se registraron en promedio 225 individuos por transecto en la Comarca, frente a 58 individuos en Los Santos a tres años (**Figura 7**).

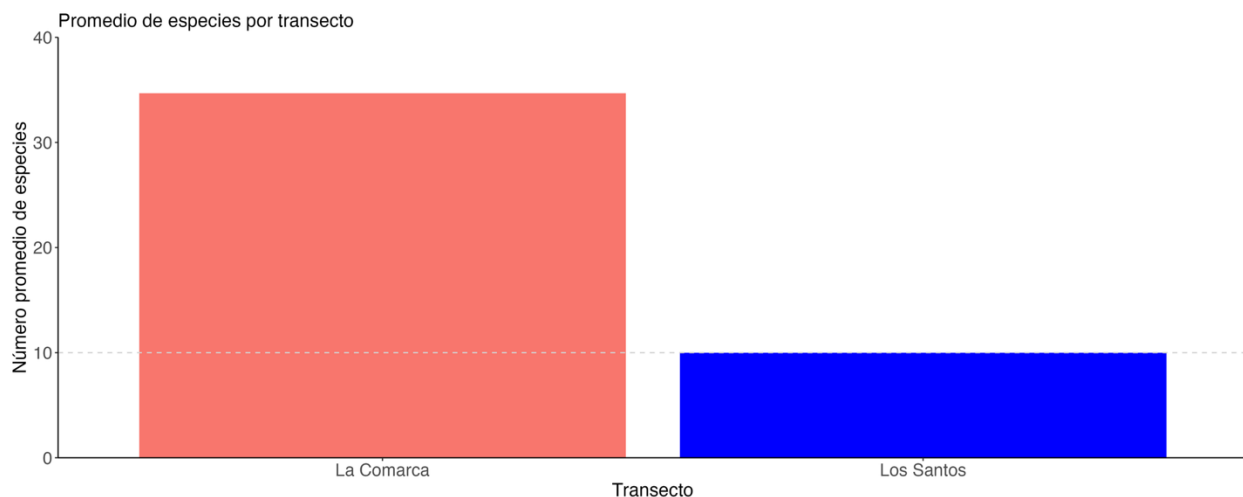


Figura 6. Número promedio de especies por transecto en las áreas de enriquecimiento en La Comarca y en el bosque secundario de Los Santos.

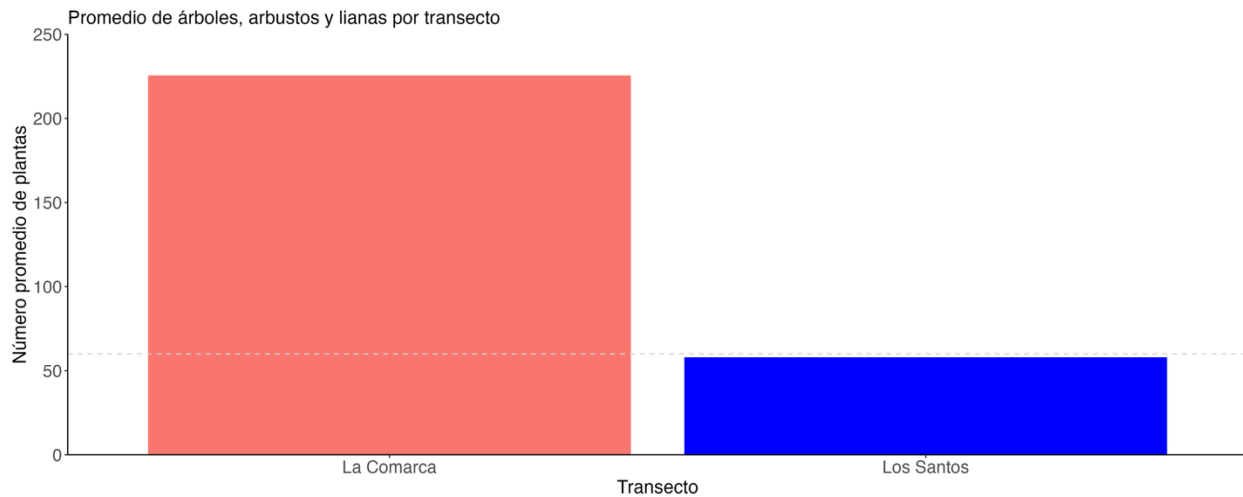


Figura 7. Número promedio de árboles, arbustos y lianas por transecto en las áreas de enriquecimiento en La Comarca y en el bosque secundario de Los Santos. Líneas punteadas en 60 número de plantas.

Con base en los resultados de los transectos, el mayor número de especies registradas fue de más de 60 especies de diferentes de árboles, arbustos y lianas por transecto en dos sitios del corregimiento de Buenos Aires (B, D). La mayoría de los sitios presentaron entre 30 y 50 especies por transecto, mientras que el transecto J mostró una diversidad significativamente menor, con menos de 10 especies. En el transecto de regeneración natural en El Bale (S) se registraron 16 especies (**Figura 8**). En cuanto al promedio de diversidad de especies por transecto para cada área, para el área de Buenos Aires fue de 44 especies, mientras que en El Bale fue de 30, en Llano Bonito de 33, en Mojarra de 25 y en Virigua de 34 especies por transecto.

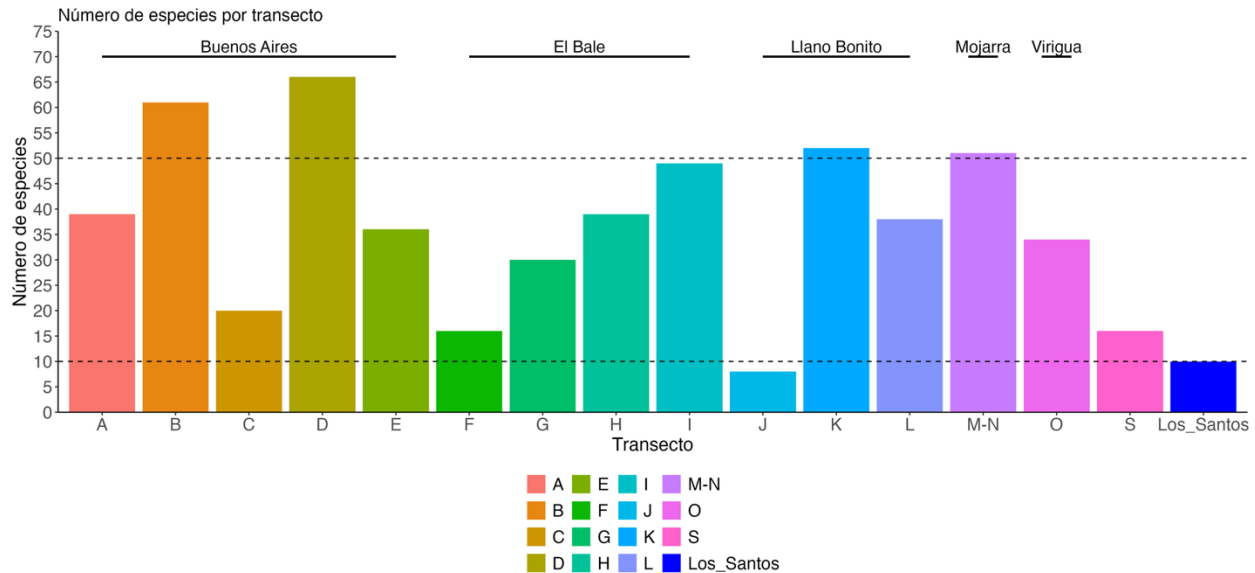


Figura 8. Riqueza de especies por transecto en La Comarca y en el bosque secundario de Los Santos. Líneas punteadas en 10 y 50 especies.

Al comparar estos resultados con los datos obtenidos en dos sitios de Los Santos, donde se registró una riqueza promedio de 10 especies por transecto tras tres años de sucesión natural (**Figura 8**), se observa que las áreas monitoreadas en la Comarca Ngäbe-Buglé presentan un avance positivo en los procesos de regeneración natural. Dado que los sitios de Los Santos se consideran un referente de regeneración secundaria exitosa, la similitud en los niveles de riqueza de especies sugiere que los sitios intervenidos en la Comarca podrían tener un buen potencial de recuperación ecológica a largo plazo. Sin embargo, es necesario contar con más datos y análisis para confirmar este posible potencial. La regeneración natural es especialmente relevante considerando que los sitios de la Comarca han sido cercados y protegidos con cortafuegos, lo que ha reducido las perturbaciones antrópicas, y que además han sido enriquecidos con especies nativas como parte del proceso de restauración. En conjunto, estos factores parecen estar promoviendo una trayectoria sucesional favorable, y la diversidad observada constituye un indicador alentador del potencial de restauración estructural y funcional en estos ecosistemas.

En nuestro análisis, separamos árboles y arbustos porque desempeñan funciones diferentes en el desarrollo forestal. Si bien los arbustos son importantes para proporcionar cobertura vegetal,



sustentar la biodiversidad y contribuir a los servicios ecosistémicos, en ocasiones pueden limitar la regeneración natural al mantener el paisaje en un matorral persistente o en una etapa temprana de desarrollo (estado sucesional temprano). Este fenómeno, conocido como sucesión detenida, puede retrasar o impedir el establecimiento de bosques maduros. No obstante, los arbustos desempeñan un papel importante en la estructura forestal al ocupar el sotobosque y añadir complejidad vertical bajo el dosel arbóreo (es decir, al formar capas bajo el dosel). Por tanto, también evaluamos los árboles de forma independiente, ya que son las especies que impulsan la recuperación forestal a largo plazo y son clave para la formación del futuro dosel forestal.

Tres sitios superaron los 200 árboles por transecto (B, H, I) y solo dos sitios en Buenos Aires (C) y Llano Bonito (J) mostraron menos de 60 árboles por transecto (**Figura 9**). En cuanto a los arbustos, un sitio en el sector Virigua (O) y dos en Buenos Aires (A, B) mostraron más de 100 arbustos por transecto. Un sitio en Buenos Aires (C) presentó 20 arbustos por transecto y un sitio en Llano Bonito (J) presentó sólo 2 arbustos por transecto (**Figura 10**). En general, los sitios en La Comarca presentaron más de 100 árboles y 60 arbustos por transecto.

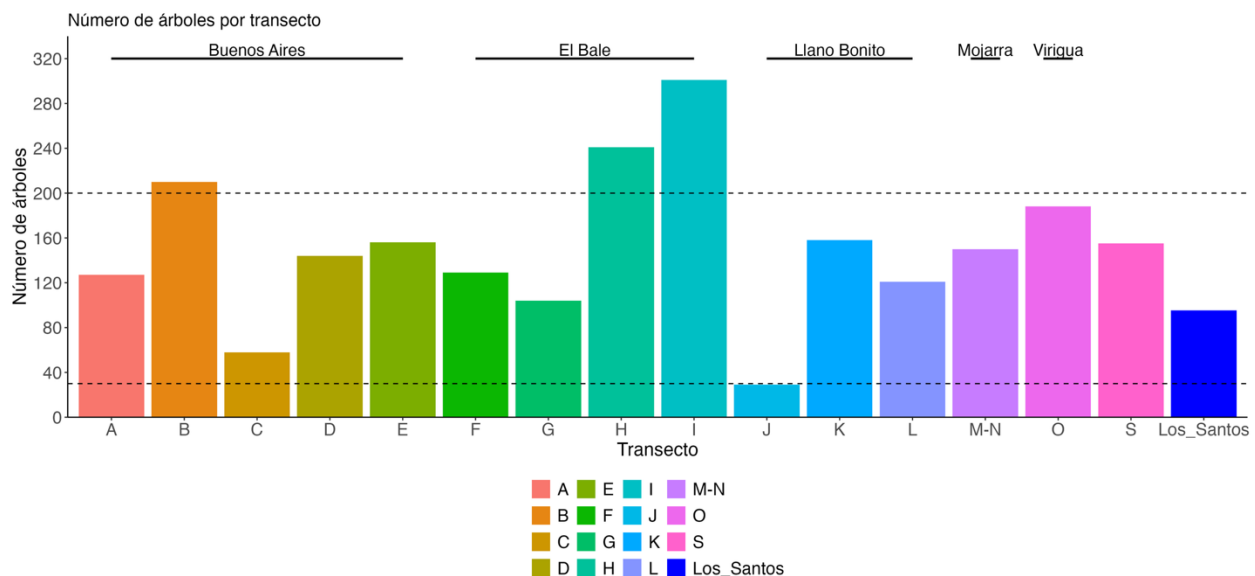


Figura 9. Número de árboles por transecto en La Comarca y en el bosque secundario de Los Santos. Líneas punteadas en 30 y 200 árboles.

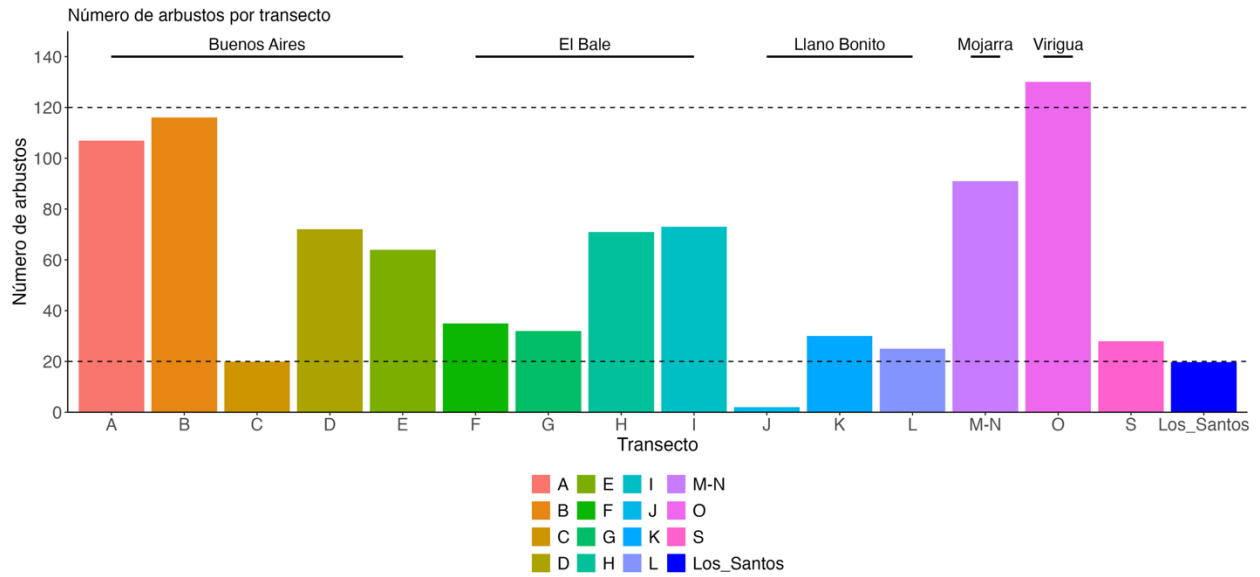


Figura 10. Número de arbustos por transecto en La Comarca y en el bosque secundario de Los Santos. Líneas punteadas en 20 y 120 arbustos.



Conclusiones

- En general, los resultados sugieren que los sitios intervenidos en la Comarca Ngäbe-Buglé muestran una trayectoria positiva de regeneración natural asistida. La combinación de exclusión de perturbaciones (mediante cercado y cortafuegos) y la plantación de especies nativas parece estar favoreciendo significativamente a la recuperación estructural y funcional del ecosistema.
- La mayoría de las parcelas evaluadas en la Comarca Ngäbe-Buglé presentaron tasas de supervivencia superiores al 60 %, con dos sitios que alcanzaron más del 80 % respecto a la meta inicial de plantación (330 plántulas por hectárea). Los sectores de Llano Bonito, Buenos Aires y El Bale destacaron por su buen desempeño.
- Las diferencias en supervivencia entre parcelas en la Comarca se cree que están asociadas tanto al manejo como a la heterogeneidad ambiental. Factores como la textura y fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua, el microclima y la cercanía a fuentes hídricas pueden influir en el establecimiento de las especies. Sin embargo, estos aspectos aún requieren mayor investigación y están siendo objeto de estudios en curso. Esta variabilidad destaca la importancia de adaptar la selección de especies y estrategias de manejo a las condiciones locales. Sin embargo, aún no es posible confirmar si estos factores explican completamente las variaciones observadas en esta región. Por esta razón, se coleccionarán muestras de suelo y datos de precipitación en las distintas localidades, y se continuará con monitoreos anuales. Estos insumos permitirán realizar análisis más rigurosos sobre el rendimiento de las especies en las áreas de enriquecimiento.
- La mayoría de los transectos registraron entre 30 y 50 especies de árboles, arbustos y lianas por transecto, con algunos sitios superando las 60 especies. Estos niveles de diversidad son comparables e incluso superiores a los observados en sitios de referencia en Los Santos, donde se registró una riqueza promedio de 10 especies por transecto tras tres años de sucesión natural. Asimismo, en general, los sitios en la Comarca presentaron mayores densidades de árboles y arbustos por transecto que Los Santos, con más de 100 árboles y 60 arbustos por transecto en la mayoría de los casos.



Agradecimientos

La iniciativa de reforestación de Rohr (RRI) es una colaboración entre el Congreso Tradicional del distrito de Ñurum y region de Kadri de la Comarca Ngäbe-Buglé, el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), y el Centro de Estudios y Acción Social Panameño (CEASPA) con participación de diversas instituciones (Universidad de Cornell, Universidad de Panama a Penonomé, Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá (INDICASAT), y the Stroud Water Research Center). La iniciativa es posible gracias al Proyecto Agua Salud de STRI y cuneta con financiamiento de Global Centre on Biodiversity for Climate (GCBC). Agradecemos toda la gente colaborando de avanzar este initiative, gente tan numerosa que no podemos mencionar todos y todas. Srs. Pedro Nola Flores, Melitón Miranda, Urbano Guerra, Basilio Rodríguez, y Víctor Guerra fueron de gran apoyo en la realización de esta iniciativa.