

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
DIVISIÓN DE MEDIO AMBIENTE, DESARROLLO RURAL Y DESASTRES NATURALES
(CSD/RND)

REPÚBLICA DOMINICANA
“PROGRAMA DE DESARROLLO AGROFORESTAL”
DR-L1120

TERCER INFORME
(PROPUESTA DE MEJORAS)

PROPUESTA DEL INSTITUTO SMITHSONIAN DE INVESTIGACIONES
TROPICALES PARA LA DEFINICIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE
REFORESTACIÓN Y RESTAURACIÓN FORESTAL

GRUPO CONSULTOR:

Dr. Jefferson S. Hall

Dr. Francisco Román

20 de Julio de 2017

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	3
I. INTRODUCCIÓN.....	4
II. METODOLOGÍA.....	5
2.1 Recomendación de Intervenciones y Alternativas Potenciales.....	5
2.2 Especificaciones Técnicas	5
III. RESULTADOS	6
3.1 Identificación de Alternativas de Mejora.....	6
3.2 Especificaciones Técnicas de las Alternativas.....	9
3.2.1 Planificación	9
3.2.2 Ejecución de los Modelos de Restauración	15
3.2.3 Monitoreo del Proceso de Restauración	19
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
V. LITERATURA CITADA	33

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene la información correspondiente al tercer producto de la consultoría “Definición de una estrategia de reforestación y restauración forestal”. Los temas principales que se cubren en el presente informe incluyen: a) la recomendación de acciones y alternativas (tecnológicas y silvícolas) para mejorar las probabilidades de éxito de una reforestación y restauración a escala de paisaje; y b) las especificaciones técnicas de dichas alternativas de mejora identificadas para el Programa.

Después de la elaboración del segundo informe, en donde se contextualiza la problemática de la deforestación en las cuencas de intervención y se analiza la actual estrategia de reforestación propuesta por la Unidad Ejecutora del Programa, se identifican en este tercer informe las acciones necesarias para mejorar la planificación, la ejecución y el monitoreo del componente de reforestación del Programa.

Para el componente de Reforestación del Programa se identifican 3 modelos a implementar: 1) Reforestación con fines de rehabilitación de la cobertura forestal y suelos degradados, con plantaciones mixtas (mezcla de especies de bajo valor comercial) en zonas de cuenca alta incluyendo programa de manejo con deshierbes, prevención de incendios y raleos; 2) Reforestación con fines productivos, en monocultivos o en asociación con sistemas agroforestales con especies de alto valor comercial en zonas de cuenca media incluyendo programa de manejo con fertilización y deshierbes; 3) Restauración ecológica con plantaciones mixtas de especies de valor ecológico en zonas de amortiguamiento de Parques Nacionales y regeneración natural asistida en relictos de bosque ribereño para la conservación hidrológica.

Para el desarrollo de los 3 modelos se propone implementar una estrategia de planificación y monitoreo que involucre: a) muestreo de suelos para la caracterización del nivel de degradación y el ecosistema de referencia en las 6 áreas de intervención del proyecto; b) mapeo y zonificación de las áreas de intervención para la implementación de los modelos de acuerdo al potencial ecológico y social; c) producción y plantación de las especies idóneas para cada uno de los modelos a implementar en función de las características ecológicas de las cuencas; d) equipamiento y capacitación de las brigadas y los técnicos de reforestación para la instalación y mantenimiento de las áreas (incluyendo cronograma de deshierbes, fertilización y prevención de incendios); e) implementación de una estrategia de monitoreo para la evaluación del progreso de las metas del Programa en las áreas intervenidas.

El siguiente producto de la consultoría comprenderá la estimación de costos de las alternativas de mejora identificadas, así como los potenciales beneficios ambientales, sociales y económicos generados por su implementación.

I. INTRODUCCIÓN

Dondequiera que se adopten medidas para promover la restauración y regeneración, los nuevos bosques emergentes en los paisajes afectados por las actividades humanas no concuerdan necesariamente con la composición de especies de los bosques originales. Sin embargo, la restauración forestal puede recuperar muchas funciones del ecosistema y varios de los componentes de la biodiversidad original. Enfoques para restaurar la funcionalidad de los ecosistemas forestales dependen fuertemente del estado inicial de la degradación de los bosques o del resultado deseado, así como del marco temporal y las restricciones ambientales y económicas. Así, los abordajes de restauración deben tener en cuenta la distribución espacial, la abundancia y calidad de la vegetación residual como indicadores del potencial de regeneración natural (Chazdon, 2008).

En áreas con suelos degradados, la rehabilitación a través de la plantación de especies exóticas o nativas cuidadosamente seleccionadas puede mejorar la fertilidad del suelo y restaurar la productividad del área, aunque probablemente ofrezca poca mejoría respecto a la recuperación de la biodiversidad. En cambio, en áreas donde la agricultura y el uso de la tierra ha sido menos intensivo y los parches forestales y los agentes de dispersión faunística pueden mantener una lluvia de semillas diversa, la forma más rápida y menos costosa hacia la restauración de bosques es la regeneración natural asistida en donde la siembra directa de semillas y/o plántulas puede acelerar significativamente la recuperación de la composición de especies (Lamb et al. 2015). En los sitios con niveles de degradación intermedios, donde los suelos están intactos pero la fuente de semillas y propágulos es escasa, la reforestación con especies nativas, la agrosilvicultura y la regeneración natural asistida pueden aumentar la biodiversidad y los servicios ambientales y ecosistémicos, proporcionando ingresos para los medios de subsistencia rurales. Tales plantaciones pueden ser incorporadas junto con la regeneración en las zonas de amortiguamiento de las áreas naturales protegidas y corredores biológicos para mejorar la conectividad y la biodiversidad a escala de paisaje (Rey-Benayas et al. 2009).

La restauración forestal a escala de paisaje presenta implicaciones complejas y poco conocidas para la estructura y composición de los futuros bosques, los paisajes y la fauna. La proliferación de plantaciones forestales con un pequeño número de especies nativas o exóticas –una forma cada vez más popular de restauración forestal en regiones tropicales– aumenta la homogeneización biótica y disminuye la diversidad genética de las especies plantadas. Los monocultivos de plantaciones de árboles también puede facilitar el establecimiento de especies invasivas que limitan el desarrollo sucesional del ecosistema (Menz et al. 2009). En cambio, los ecosistemas que son estructural y funcionalmente diversos tienen más probabilidad de ser duraderos y capaces de adaptarse a los retos futuros del cambio climático, a las especies exóticas introducidas y al cambio de uso del suelo, pudiendo sostenerse con un bajo nivel de dependencia a las inversiones humanas y de capital financiero a lo largo del tiempo. Asimismo, la restauración puede involucrar a las personas a través de múltiples vías, desde la participación en las actividades de reforestación hasta el consumo de servicios ecosistémicos necesarios para la reproducción cultural, así como lograr el compromiso de la administración pública para la conservación y restauración de los ecosistemas locales (Sudding et al. 2015).

El presente constituye el tercer informe de la consultoría “DEFINICIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE REFORESTACIÓN Y RESTAURACIÓN FORESTAL”, la cual es parte del Programa de Desarrollo Agroforestal (DR-L1120) a ser potencialmente

financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo. En este informe se presenta un análisis de las diferentes alternativas de mejora del Programa de reforestación, considerando las limitaciones y las potencialidades ambientales y sociales presentes en las cuencas de intervención del Programa, las cuales fueron motivo de elaboración del segundo informe. Asimismo, se establecen las especificaciones técnicas necesarias para la potencial implementación de las alternativas de mejora identificadas.

II. METODOLOGÍA

2.1 Recomendación de Intervenciones y Alternativas Potenciales

A partir del análisis del marco teórico-metodológico de la restauración, así como de los mapas y cifras de deforestación, tipos de vegetación y presencia de áreas naturales protegidas en las 6 cuencas de intervención establecidos (segundo informe, secciones 4.1, 4.2 y 4.3), se definen las alternativas o modelos de reforestación para mejorar la probabilidad de éxito del componente de reforestación Programa a escala paisajística.

Las intervenciones y alternativas potenciales de mejora que se presentan en este informe fueron preliminarmente consultadas con la literatura especializada en restauración ecológica (segundo informe, sección 3.1) y parcialmente consensuadas con el equipo técnico del Ministerio de Medio Ambiente y representantes de la Unidad Ejecutora durante la segunda visita de trabajo en el país, realizada por uno de los consultores (F. Román entre el 12 y 16 de Junio del 2017 en el marco de la Misión de Orientación del BID.

2.2 Especificaciones Técnicas

Las especificaciones técnicas de las alternativas de mejora han sido desarrolladas a partir de la adaptación de las diferentes metodologías disponibles en la literatura científica sobre restauración y evaluación ambiental (ej. suelos, agua) a las condiciones existentes y características de intervención del Programa. Asimismo, se han consultado documentos oficiales de las diferentes instancias del Gobierno y se realizaron búsquedas de información en el sector privado, con la finalidad de que las especificaciones técnicas a implementar sean compatibles y/o complementarias con la capacidad instalada actual del Programa.

III. RESULTADOS

3.1 Identificación de Alternativas de Mejora

De acuerdo al marco teórico-metodológico establecido en el segundo informe, (sección 3.1) y la información de deforestación en las cuencas obtenidas tanto en campo como en gabinete, se considera que el nivel de degradación en las cuencas de intervención requiere de la aplicación de estrategias enmarcadas en el ámbito de la rehabilitación y la restauración ecológica, más no de la remediación, dado que no se han observado niveles de degradación tan severos que requieran adoptar este tipo de medidas.

En ese sentido, se considera que las tecnologías de Reforestación y Conservación inicialmente identificadas por el Programa son en principio adecuadas (segundo informe, sección 5.1). No obstante, éstas podrían mejorarse teniendo en cuenta las diferentes condiciones ecológicas entre las cuencas y el traslape de ciertas cuencas con áreas naturales protegidas (segundo informe, sección IV). Es por ello, que las áreas deforestadas en las cuencas de intervención del Programa requieren de una estrategia de restauración diferenciada de acuerdo al potencial ecológico y los ecosistemas de referencia presentes en las cuencas, el nivel de degradación y la ubicación de los sitios de reforestación con respecto a las áreas naturales protegidas (Fig. 1).

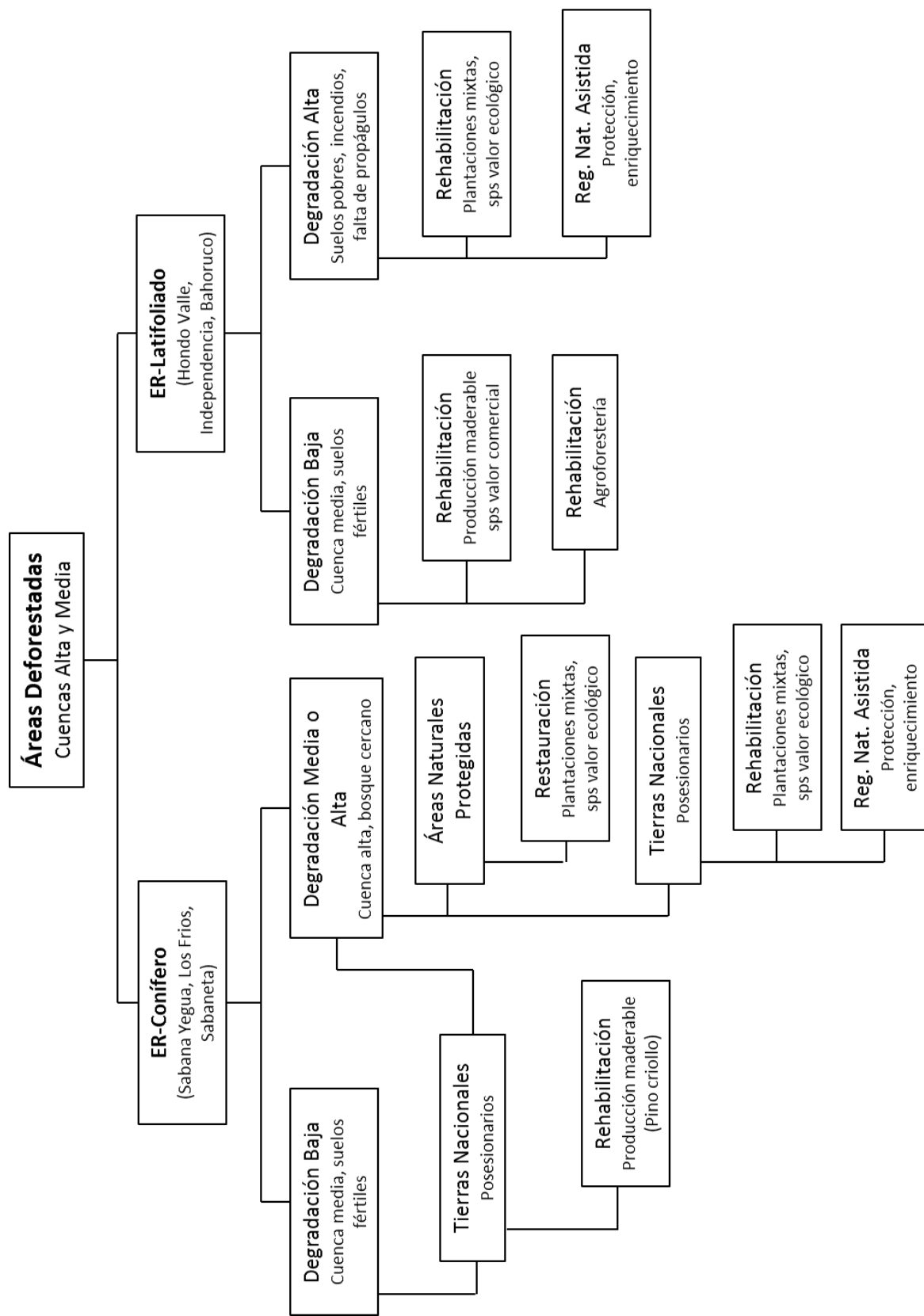


Fig. 1. Opciones de restauración de áreas deforestadas según ecosistema de referencia (ER), tipo de tenencia e intereses sociales y ecológicos.

A partir del análisis de cobertura realizado en el segundo informe, se definen las alternativas o modelos de reforestación principalmente en función de los ecosistemas de referencia predominantes en las cuencas de intervención:

a) Bosque conífero, que comprende las cuencas de Sabana Yegua, Los Frios y Sabaneta. Dependiendo del nivel de degradación y el tipo de tenencia, se distinguen los siguientes modelos:

- Rehabilitación con fines productivos: en tierras nacionales o terrenos bajo posesión de particulares. Incluye zonas de cuenca media y suelos fértiles para la producción maderable mediante el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, las cuales se instalarán en la modalidad de monocultivo con especies de pino de valor económico, ya sean nativas (ej. *Pinus occidentalis*) o exóticas (ej. *Pinus caribaea*).
- Restauración ecológica: en áreas naturales protegidas, especialmente en zonas de amortiguamiento y parques nacionales afectados por deforestación (ej. Cuenca de Los Frios). Principalmente en zonas de cuenca alta con relictos de bosque cercano para el establecimiento de plantaciones mixtas con especies nativas de alto valor ecológico, típicas de los diferentes estratos del bosque conífero. Los trabajos de restauración pueden realizarse por o en coordinación con Dirección de Biodiversidad y Vida Silvestre del Vice-Ministerio de Áreas Protegidas y Biodiversidad, equipo que ya cuentan con experiencia en restauración de ecosistemas.
- Regeneración Natural Asistida: en tierras nacionales o terrenos bajo posesión. Incluye relictos de bosque ribereño en zonas de cuenca alta para la realización de acciones de protección y enriquecimiento con especies de alto valor ecológico.
- Rehabilitación con fines ecológicos: en tierras nacionales o terrenos bajo posesión. Incluye zonas de cuenca alta y suelos pobres en laderas escarpadas, donde se instalarán plantaciones mixtas con especies de alto valor ecológico características de los diferentes estratos del bosque de pino (ver sección 3.2.2 de este documento).

b) Bosque latifoliado, que comprende las cuencas de Hondo Valle, Independecia y Bahoruco. Dependiendo del nivel de degradación y el tipo de tenencia, se distinguen los siguientes modelos:

- Rehabilitación con fines productivos: en tierras nacionales o terrenos bajo posesión de particulares. Incluye zonas de cuenca media y suelos fértiles para la producción maderable mediante el establecimiento de plantaciones forestales comerciales o sistemas agroforestales con especies latifoliadas de alto valor económico (ej. *Cedrela odorata*, *Calophyllum calaba*, *Guarea guidonia*).
- Regeneración Natural Asistida: en tierras nacionales o terrenos bajo posesión. Incluye relictos de bosque ribereño en zonas de cuenca alta para la realización de acciones de protección y enriquecimiento con especies de alto valor ecológico.

- Rehabilitación con fines ecológicos: en tierras nacionales o terrenos bajo posesión. Incluye zonas de cuenca alta y suelos pobres en laderas escarpadas, donde se instalarán plantaciones mixtas con especies de alto valor ecológico características de los diferentes estratos del bosque latifoliado (ver sección 3.2.2 de este documento).

3.2 Especificaciones Técnicas de las Alternativas

3.2.1 Planificación

a) Mapeo y Diagnóstico de las Áreas a Restaurar. Durante el proceso de planificación es necesario dividir las cuencas en sub-áreas o estratos, cada una homogénea en términos de sus características relevantes para la restauración. El criterio usado para la estratificación será determinado por los datos disponibles y por las características principales del área a evaluar, como la topografía, uso de la tierra, existencia de áreas naturales protegidas y niveles de degradación. Es importante establecer reglas explícitas para dirigir el proceso de estratificación (IUCN, 2014):

- Respetar las zonas agroecológicas o los tipos de cobertura boscosa dado que las condiciones ecológicas tendrán una fuerte influencia en la relevancia y productividad de las opciones de restauración.
- Limitar el número de sub-áreas con el objeto de capturar sólo diferencias mayores en las características clave para la restauración, de otro modo la evaluación se convertiría en un proceso engorroso.
- Optimizar el tamaño de las sub-áreas, evitando que sean muy pequeñas, y tratando a grosso modo, mantener un tamaño equivalente.
- Mediante el uso de imágenes satelitales, mapas de zonificación, mapa de pérdida de cobertura boscosa y otra información oficial disponible, que permitan adecuadamente identificar áreas con pérdida de cobertura vegetal silvestre, la misma que se debe contrastar mediante verificación en campo. En esta etapa también, debe realizarse un análisis de superposición con áreas naturales protegidas y tenencia de la tierra del área de interés para restauración.
- Realizar visitas a campo para constatar límites de las áreas a restaurar y posterior mapeo a escala adecuada. Esta acción permitirá los ajustes necesarios en cuanto a superposición e identificar al titular (privado, comunal, del estado) de la tierra. También se debe confirmar la existencia de un bosque o formación vegetal de referencia más próxima al área a restaurar.
- Se deberá analizar y sistematizar información respecto a la historia del uso de la tierra, factores limitantes o tensionantes, potencial de regeneración, caracterización de la flora y fauna existente, muestreo de suelos, entre otros aspectos que considere la iniciativa, las mismas que permitirán disponer una línea base (*status quo*) útil para comparar y monitorear el proceso de restauración. Se les puede distinguir por seis ‘umbrales’ críticos de degradación; tres pertenecen al sitio que ha de ser restaurado y tres al paisaje circundante (Elliot et al. 2013).
- La extensión e intensidad de la degradación es clave en la determinación del grado de intervención requerida para restaurar un sitio específico. De esta manera, a mayor sea el nivel de la degradación, más intensa y activa tendrá que ser la restauración para alcanzar un estado similar a la condición previa al disturbio (Tablas 1, 2 y 3).

- **Umbrales críticos del sitio:**

- 1) La densidad de los árboles se ha reducido tanto, que las malezas herbáceas están dominando el sitio y suprimen el establecimiento de las plántulas de árboles.
- 2) Fuentes in situ de regeneración del bosque (por ejemplo, el banco de semillas o plántulas, tocones vivos, árboles semilleros, etc.) han disminuido por debajo de los niveles necesarios, para mantener viables las poblaciones de especies de árboles de bosques clímax.
- 3) La degradación del suelo ha continuado hasta tal punto, que sus pobres condiciones limitan el establecimiento de las plántulas de árboles.

- *Umbrales críticos del paisaje:*

- 4) Solo hay pequeños y escasos restos de bosque clímax en el paisaje, de modo que la diversidad de especies de árboles, dentro de la distancia de dispersión del sitio donde se quiere restaurar, no es suficiente para representar un bosque clímax.
- 5) Las poblaciones de animales dispersores de semillas están reducidas hasta tal punto, que las semillas ya no son transportadas al sitio de restauración en densidades suficientemente altas, para restablecer todas las especies de árboles requeridas.
- 6) El riesgo de incendios ha aumentado hasta tal punto, que los árboles establecidos naturalmente, no tienen mucha probabilidad de sobrevivir por la creciente cobertura de malezas herbáceas inflamables en el paisaje, en los alrededores inmediatos del sitio de restauración.

Tabla 1. Estrategias de restauración para áreas levemente degradadas (Modificado de Elliott et al. 2013).

Degradación Leve			
UMBRALES CRÍTICOS DEL SITIO		UMBRALES CRÍTICOS DEL PAISAJE	
Vegetación	Los árboles dominan sobre malezas herbáceas.	Bosque	Grandes extensiones permanecen cercanas como fuente de semillas.
Fuentes de regeneración	Abundante: banco de semillas viable; banco de plántulas denso; lluvia de semillas intensa; tocones de árboles vivos.	Dispersores de semillas	Comunes y diversos; pequeños y grandes.
Suelo	Pocas perturbaciones locales; permanece en gran parte fértil.	Riesgo de fuego	Bajo a mediano.
ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN RECOMENDADA:			
<ul style="list-style-type: none"> • Protección contra incendios y cualquier perturbación futura, así como la prevención de caza de los animales dispersores de semillas en bosques relictos y/o ribereños. • Reintroducción de especies localmente extinguidas de alto valor ecológico. 			
OPCIONES PARA INCREMENTAR LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS:			
<ul style="list-style-type: none"> • Rehabilitación con fines productivos mediante el establecimiento de plantaciones forestales con especies de valor comercial en zonas deforestadas con suelos fértiles. • Agroforestería con especies maderables de valor económico como árboles de sombra. • Esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos. • Contratación de la población local en el Programa de restauración. 			

Tabla 2. Estrategias de restauración para áreas con un nivel de degradación moderado (Modificado de Elliott et al. 2013).

Degradación Media			
UMBRALES CRÍTICOS DEL SITIO		UMBRALES CRÍTICOS DEL PAISAJE	
Vegetación	Árboles mixtos y malezas herbáceas.	Bosque	Los remanentes permanecen como fuentes de semillas.
Fuentes de regeneración	Limitado a lluvia de semillas; banco de semillas y plántulas agotado.	Dispersores de semillas	Limitado a especies que dispersan semillas pequeñas.
Suelo	Permanece en gran parte fértil, baja erosión.	Riesgo de fuego	Medio a alto.
ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN RECOMENDADA:			
Restauración ecológica en áreas naturales protegidas (ANP's). Protección + Regeneración Natural Asistida (RNA) incluyendo reintroducción de especies de sucesión avanzada en bosques relictos y/o ribereños.			
OPCIONES PARA INCREMENTAR LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS:			
<ul style="list-style-type: none"> • Rehabilitación con fines ecológicos o productivos, dependiendo del nivel de degradación del suelo. • Esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos. • Contratación de la población local en el Programa de restauración. 			

Tabla 3. Estrategias de restauración para áreas con un nivel de degradación severo (Modificado de Elliott et al. 2013).

Degradación Alta			
UMBRALES CRÍTICOS DEL SITIO		UMBRALES CRÍTICOS DEL PAISAJE	
Vegetación	Sin cobertura de árboles; dominan las malezas herbáceas o incluso suelo desnudo.	Bosque	Pocos remanentes o demasiado alejados para dispersar semillas al sitio.
Fuentes de regeneración	Muy pocas o ninguna.	Dispersores de semillas	En su mayoría desaparecidos.
Suelo	Condiciones pobres del suelo limitan el establecimiento de árboles; riesgo de erosión en aumento.	Riesgo de fuego	Alto.
ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN RECOMENDADA:			
Restauración ecológica en ANP's. Rehabilitación de la cobertura forestal con fines ecológicos..			
OPCIONES PARA INCREMENTAR LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS:			
<ul style="list-style-type: none"> • Esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos. • Contratación de la población local en el Programa de restauración. 			

b) Caracterización de la Degradación. La comparación de parámetros o propiedades ecosistémicas permitirá definir el nivel de degradación entre el bosque de referencia y las áreas que se desea restaurar. La magnitud de esta caracterización se puede realizar dependiendo de los objetivos y los recursos disponibles, pudiendo enfocarse en una parte, o en el conjunto de la estructura forestal, la composición de especies, el suelo y los

servicios que provee el ecosistema, incluyendo los hidrológicos. Estos parámetros suelen ser cuantitativos o semi-cuantitativos y proporcionan una base para determinar en el futuro si se han logrado o no los objetivos del proyecto, por lo que se deben incorporar en los planes de restauración al inicio del proyecto. Si más adelante la interpretación de los datos recopilados durante el monitoreo muestra que se han alcanzado los estándares de desempeño, no puede haber ninguna duda de que se lograron los objetivos del proyecto y de que es probable que el ecosistema restaurado tendrá suficiente capacidad de recuperación como para requerir poca o ninguna ayuda adicional.

- Muestreo de Vegetación en Bosque de Referencia: El establecimiento de parcelas en el bosque de referencia podría ser de mucha utilidad para interpretar el crecimiento y desarrollo del área reforestada, así como para que sirvan como testigo ante una eventualidad climática o una perturbación natural o antrópica. Para ello, se sugiere seguir la metodología de parcelas permanentes (Contreras et al. 1999; Camacho, 2000; Puerta-Piñero et al. 2014). En esta metodología, se recomienda el establecimiento de parcelas de 0.25 a 1 ha, dependiendo del tamaño de la superficie total del proyecto. Para superficies mayores a 20,000 ha se recomienda el establecimiento de parcelas de control cuadradas de 100 x 100 m (1 ha). Dada la superficie de cada una de las cuencas del Programa (segundo informe, sección 4.1, Tabla 3), se sugiere el establecimiento de 6 parcelas de 1 ha (una por cada una de las cuencas de intervención, tres por cada ecosistema de referencia).

Las cuatro esquinas de cada parcela son señalizadas con varillas de hierro pintadas de un color llamativo y sus esquinas debidamente marcadas con una placa metálica con las coordenadas (X,Y) que permitan ubicar parcela y cada árbol en el campo y en el papel. En cada parcela, se identifican al nivel de especie y se miden todos los árboles, arbustos y palmas con un diámetro a la altura del pecho (DAP) > 5 cm. Cada parcela puede tener sub-divisiones al interior (ej. 20x20 m, 5x5 m, y/o 1x1 m) para evaluar con mayor precisión grupos de plantas leñosas de menor diámetro (1-5 cm DAP) y plántulas de regeneración natural (20-80 cm de altura).

La selección de las áreas específicas donde establecer las parcelas en cada cuenca amerita un análisis más detallado conducido por especialistas en sistemas de información geográfico y ecología forestal, en donde se definan criterios precisos de selección de las áreas en función a la elevación y pendiente similares a las que se presentan en áreas de intervención, condiciones de seguridad, accesibilidad, entre otros. La realización de este muestreo podría llevarse a cabo por, o coordinarse con Vice-Ministerio de Recursos Forestales del Ministerio de Medio Ambiente, entidad del Estado encargada de los inventarios forestales en el país. Asimismo, dependiendo de la estrategia de asistencia técnica a seguir, dicho muestreo también se podría subcontratar o licitar para que otra organización privada o académica, liderados por un profesional especialista reconocido en ecología forestal, botánica y/o taxonomía que se encargue de realizar el estudio.

- Muestreo de Suelos: La caracterización del nivel de degradación del suelo se puede realizar a través de un muestreo, con el objeto de poder estimar los valores de las propiedades del suelo seleccionadas en áreas representativas de las condiciones de degradación en las cuencas de intervención, así como en los ecosistemas de referencia. Para fines del Programa, se propone el uso del muestreo aleatorio estratificado. Este tipo de muestreo requiere de la estratificación del área a evaluar y una selección de muestras aleatoria al interior de cada estrato. Los estratos deben diferenciarse por tipo de bosque

de referencia (conífero y latifoliado) y por ubicación de las áreas degradadas en las cuencas. Ello implicaría establecer una serie de puntos de muestreo de manera aleatoria, tanto en el bosque de referencia como en los terrenos degradados a reforestar en cada una de las cuencas. Con el fin de evaluar las características de la superficie de los suelos se tomarán los siguientes criterios (Juo & Franzluebbers, 2003):

- La cantidad de muestras a analizar para proyectos a escala de paisaje sería del 5% de la superficie a plantar en cada cuenca (ver segundo informe, sección 5.3.2, Tabla 6).
- La intensidad de muestreo en condiciones de suelo semejantes sería de 1 muestra compuesta (de 3 a 5 perforaciones) superficial por hectárea en las áreas degradadas, mientras que en el bosque de referencia se puede tomar una muestra compuesta (de 3 a 5 perforaciones) en cada una de las parcelas de muestreo de vegetación en el bosque de referencia.
- La profundidad de muestreo sería a 30 cm debido a que las raíces absorbentes de las plantas se encuentran a tal profundidad.
- Se excavará con pala, pico y/o barreta en la zona determinada. Los puntos se determinarán de acuerdo al relieve, actividad previa y accesibilidad.
- Se procederá a la toma de muestras guardando cuidado de no alterar las muestras, con los equipos necesarios como tubos de muestreo de acero inoxidable, bolsas herméticas y guantes de látex.
- Después de la toma de muestras se registrará la información en la cadena de custodia, donde se anota de forma codificada el lugar, la fecha de muestreo, coordenadas y altitud de referencia.
- Para la determinación de propiedades físico-químicas del suelo como pH, cationes, % materia orgánica, nitrógeno y fósforo se requieren unos 500 g por muestra, la cual puede preservarse hasta por un mes en condiciones de temperatura ambiente. La refrigeración a 2-6°C puede mantener la muestra preservada por una cantidad de tiempo indeterminada.
- Es importante realizar todos los análisis en el mismo laboratorio de suelos, ya sea comercial o de investigación, de preferencia certificado por la autoridad competente, dado que diferentes laboratorios pueden seguir métodos distintos de análisis y dar resultados diferentes.

La realización de este muestreo podría llevarse a cabo por, o coordinarse con la Dirección de Información Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, entidad del Estado encargada de la generación de mapas de suelo. Asimismo, dependiendo de la estrategia de asistencia técnica a seguir, dicho muestreo también se podría subcontratar o licitar para que otra organización privada o académica, liderados por un profesional especialista en suelos se encargue de realizar el estudio.

- Muestreo de Agua: De acuerdo a un documento alcanzado por el Gobierno (Ministerio de Medio Ambiente), se tiene planeado realizar muestreos de agua superficial en los ríos/arroyos más importantes para evaluar el potencial impacto del Programa en el futuro. Para ello, se requiere: a) Desarrollar una línea base que permita establecer las condiciones actuales de los cuerpos hídricos potencialmente influenciados por el proyecto; b) Realizar campañas de muestreo para determinar las características físico-químicas y microbiológicas de los ríos/arroyos; y c) Identificar las áreas de intervención prioritarias para reducir la erosión y la carga de sedimentos y mejorar la calidad del agua de los afluentes evaluados.

De acuerdo con la información alcanzada, en esta evaluación se establecerían dos estaciones de muestreo en cada río/arroyo seleccionado (cuenca alta y media). Los sitios serán ubicados a partir de los levantamientos realizados previamente y los procedimientos para la selección de puntos de muestreo en cuerpos hídricos superficiales. Se determinarían parámetros *in situ* por cada estación, tales como pH, temperatura, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto, y sólidos totales disueltos. Asimismo, dado que uno de los objetivos del Programa de Reforestación es reducir la erosión y cantidad de sedimentos que llegan a los ríos y arroyos, se recomienda incluir un parámetro relacionado a la cantidad de sedimentos.

No obstante, la creación de una línea de base puede tomar algún tiempo, dado que los valores suelen variar anualmente, estacionalmente, e incluso dependiendo de cuánto llovió por última vez en semanas/días recientes (Stallard, 2016). Por lo tanto, puede ser mejor tener un enfoque de captación pareada donde los valores se comparan con un flujo en un ecosistema de referencia (muy importante que tengan el mismo lecho rocoso) y una corriente (o arroyos) en zonas con y sin influencia potencial de las acciones de reforestación del Programa. En un estudio de monitoreo cuencas hidrográficas realizado en Puerto Rico durante 15 años, Murphy & Stallard (2012) encontraron que los bosques, incluso en las islas propensas a los huracanes del Caribe, tienen mayor calidad de agua que los mosaicos agrícolas, por lo que se deduce que las áreas reforestadas deberían reducir la sedimentación y mejorar la calidad del agua en las cuencas. Sin embargo, el monitoreo de la calidad del agua es complicado y requiere un compromiso a largo plazo en la asignación de recursos. Es por ello, que el diseño de un programa de monitoreo de la calidad de agua debe ser realizado con la ayuda un hidrólogo especializado.

Si bien la superficie total a reforestar en el Programa es considerable, sigue siendo sólo una parte relativamente pequeña de cada una de las cuencas. Si se diseñara el programa de reforestación orientado a mejorar la calidad del agua, se tendría que determinar en primer lugar las áreas de máxima producción de sedimentos y contaminantes biológicos y químicos, para luego orientar las acciones de mitigación y reforestación en esas áreas. Esto no parece haber sido hecho, por lo que es cuestionable hasta qué punto este programa de reforestación tendrá impactos medibles en la mejora de la calidad del agua. Incluso al inicio, la reforestación podría aumentar la carga de sedimentos si los métodos de preparación del terreno implican dejar el suelo desnudo por las labores de limpieza. Se supone que los administradores de las Presas de agua (ej. Sabaneta, Las Cañitas) ya miden la calidad del agua que entra en los embalses. Por lo tanto, cualquier cambio potencial debido a la reforestación, si es medible, sería recogido por los administradores de dichas presas (aunque también podría aumentar la perturbación y/o la contaminación en áreas no seleccionadas por el Programa).

Hay demasiados sitios y tratamientos en este programa para que sea práctico supervisarlos todos intensivamente. Sería mejor invertir recursos en un programa de monitoreo cuidadosamente diseñado enfocado a monitorear los efectos de la reforestación en la calidad del agua de un ecosistema dominado por coníferas y de otro dominado por latifoliadas. Una de las tres cuencas de ecosistema conífero y una de las tres cuencas hidrográficas de bosque latifoliado podrían ser identificadas y seleccionadas para este programa de monitoreo. Los tratamientos dentro de cada tipo de vegetación podrían incluir el monitoreo de la calidad del agua en: a) bosque de referencia, b) área deforestada

sin reforestación, c), rehabilitación de la cobertura (reforestación), d) regeneración natural asistida en área ribereña, y e) reforestación comercial.

3.2.2 Ejecución de los Modelos de Restauración

a) Plantación de las Especies Idóneas. En el segundo informe (Sección 5.3.3) se establecen listas de especies para cada uno de las cuencas de intervención. No obstante, de acuerdo a los resultados del diagnóstico y las características ecológicas de las cuencas (segundo informe, sección 4.2), se considera necesario el replanteamiento de los modelos de reforestación en cuanto a la asignación de especies para reforestación en dos paquetes: a) para cuencas de bosque latifoliado (ej. Hondo Valle, Independencia y Batoruco), y b) para cuencas de bosque conífero (ej. Sabana Yegua, Los Frios y Sabaneta). La predominancia de pino criollo (*Pinus occidentalis*) en los planes de reforestación de las seis cuencas de intervención debe ser replanteada, circunscribiendo la plantación de dicha especie solamente a las cuencas de Sabana Yegua, Los Frios y Sabaneta, donde el bosque conífero constituye el ecosistema de referencia. De la misma forma, las especies latifoliadas deberán ser instaladas principalmente en las cuencas de Hondo Valle, Independencia y Batoruco (Tabla 4).

Tabla 4. Reordenamiento de las especies incluidas en los proyectos de reforestación de acuerdo al ecosistema de referencia al que pertenecen (Modificado a partir de información proporcionada por el Vice-Ministerio de Recursos Forestales del Ministerio de Medio Ambiente).

Nº	Especie	Nombre común	Valor*
Bosque conífero (Sabana Yegua, Los Frios, Sabaneta)			
1	<i>Pinus occidentalis</i>	Pino criollo	S, E
2	<i>Pinus caribaea</i>	Pino caribe	S
3	<i>Juniperus gracilior</i>	Sabina	S, E
4	<i>Cupressus sp.</i>	Ciprés	S
Bosque Latifoliado (Hondo Valle, Independencia, Batoruco)			
1	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	S
2	<i>Swietenia mahogany</i>	Caoba criolla	S
3	<i>Callophyllum calaba</i>	Mara	S, E
4	<i>Colubrina arborescens</i>	Corazón de paloma	S, E
5	<i>Guarea guidonea</i>	Cabirma	S
6	<i>Citharexylum fruticosum</i>	Penda	S, E
7	<i>Catalpa longissima</i>	Roble	S, E
8	<i>Simaoruba glauca</i>	Juan primero	S, E
9	<i>Petitia domingensis</i>	Capá	S, E
10	<i>Guarea guidonea</i>	Cabirma	S
11	<i>Inga edulis</i>	Guama	E, S
12	<i>Prunus occidentalis</i>	Almendro	S
13	<i>Schefflera tremulus</i>	Palo de viento	E
14	<i>Ceiba petandra</i>	Ceiba	E
15	<i>Andira inermis</i>	Palo de burro	E, S
16	<i>Oreopanax capitata</i>	Víbora	E
17	<i>Cupania americana</i>	Guarana	S, E
18	<i>Erythrina glauca</i>	Amapola	E
19	<i>Juglans jamaicensis</i>	Nogal	S, E
20	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba hondureña	S

21	<i>Pseudoalbizia berteriana</i>	Corbano	E
22	<i>Ocotea leucoxylon</i>	Cigua prieta	E
23	<i>Inga fagifolia</i>	Jina	E, S
24	<i>Hura crepitans</i>	Javilla	S
25	<i>Cojoba arborea</i>	Abey	S

* S = Valor Social; E = Valor Ecológico

(http://www.cedaf.org.do/arboles_dominicanos/index.php)

En el conjunto de especies seleccionadas inicialmente por el Programa se registran 4 especies características del bosque conífero y 25 especies típicas del bosque latifoliado. Las cuatro especies del bosque conífero parecen ser insuficientes para garantizar la sobrevivencia y la resiliencia de las plantaciones, así como para recuperar la diversidad de especies del ecosistema de referencia en el corto plazo (Van der Peer et al. 2016). Considerando que está estipulado reforestar un total de 9,688 ha en las cuencas de bosque conífero (segundo informe, sección 5.3, Tabla 6) resulta necesario incluir otras especies típicas del bosque conífero que permita aumentar las posibilidades de sobrevivencia y generación de cobertura de forma rápida y efectiva.

De acuerdo a la revisión realizada en el segundo informe (sección 4.2), en los bosques de conífera se incluyen géneros de árboles y arbustos como *Ilex*, *Mikania*, *Myrica*, *Rubus*, *Tetrazygia*, *Gutteria*, *Fuchsia*. Las especies de arbustos *Dendropemon pycnophyllus* y *Dendropemon constantiae*, son endémicos y específicos de estos bosques de *Pinus occidentalis*. No obstante puede resultar evidente, a partir de las parcelas de muestreo de vegetación en los ecosistemas de referencia, que otras especies arbóreas y/o arbustivas también deberían considerarse para las áreas de restauración en cuencas de bosque conífero. Por ello la importancia de impulsar un proceso previo o paralelo de investigación aplicada orientado a generar la información silvicultural necesaria permita aumentar la producción de plantas de estas especies en los viveros.

Cabe resaltar, que este tipo de especies no son actualmente producidas en los viveros del Estado o particulares. Es por ello, que para aumentar el número de especies típicas del bosque conífero en las plantaciones, sería necesario encargar la producción de varias de estas especies ya sea a la Red nacional de Viveros del Vice-Ministerio de Recursos Naturales del Ministerio de Medio Ambiente, o a través de la tercerización o licitación con viveros privados y/o instituciones académicas de investigación a cargo de profesionales especializados en temas silviculturales.

b) Equipamiento y Capacitación. Para garantizar que lo que se reforeste sobreviva y ayude recuperar la cobertura y otros servicios ambientales en el menor tiempo posible, con una adecuada planificación de las actividades y generando indicadores concretos que reflejen el logro de las metas del Programa, se requeriría complementar el equipamiento y las capacidades actuales de los equipos encargados de la implementación del mismo.

- Equipamiento: Es necesario establecer un mejor equipamiento de las brigadas y del personal técnico que permita incrementar la capacidad operativa y hacer más eficiente la logística de las plantaciones en campo. Cada grupo técnico en cada uno de los seis proyectos debe contar con las facilidades de transporte y comunicación, así como con los equipos necesarios para hacer un trabajo más eficiente. Asimismo, será necesario que cada una de las 118 brigadas de reforestación (segundo informe, sección 5.2, Tablas 9 y

10) cuente con las herramientas, insumos y equipos que faciliten y hagan más preciso el trabajo de campo (Tabla 5).

Tabla 5. Relación de equipos y materiales necesarios para el trabajo adecuado del personal técnico y las brigadas de reforestación.

Concepto	Personal Técnico	Brigadas
Transporte	Camión cama corta (2 en total)*	Mulos
	Camionetas (1 x cuenca)	Combustible
	Motocicletas (1 x técnico)	
	Combustible	
Equipos	Radio comunicación	Radio comunicación
	GPS	Cascos, guantes, linternas
	Laptops	Tiendas de campaña
	Impresoras	Binoculares
	Computadora para procesamiento SIG	
Servicios	Teléfono	Raciones de comida
	Internet	
	Software (ArcGIS)	
Materiales y herramientas	Material de oficina	Palas, picos, cantimploras
		Machetes, limas
		Carretillas, barretas
Insumos		Fertilizantes

* Se considera uno para las cuencas de bosque conífero y otro para las cuencas de bosque latifoliado.

- Capacitación en Restauración y Manejo de Cuencas: Es necesario generar capacidades mediante cursos presenciales y/o virtuales por organizaciones especializadas en restauración ecológica y manejo de cuencas para que el personal técnico y las brigadas tomen mejores decisiones sobre las mezclas de especies en plantaciones, las cantidades de individuos por especie y su distribución en el campo, de acuerdo a los modelos de reforestación priorizados por el nivel de degradación, la ubicación respecto a las áreas naturales protegidas y el potencial ecológico. Además de reforestar, se debe fortalecer también el criterio de recuperación de cuencas hidrológicas orientando parte de la intervención hacia la conservación y la regeneración natural asistida (RNA) en los bosques ribereños de importancia estratégica. Existe una oferta limitada de cursos y diplomados en línea, varios de ellos disponibles en español que podrían servir para capacitar al personal técnico y operativo del Programa de Reforestación (Tabla 6). No obstante, también podrían desarrollarse cursos presenciales en el país a cargo de organizaciones privadas y/o especialistas reconocidos internacionalmente en el tema. Asimismo, se puede solicitar en concurso de especialistas de la Dirección de Biodiversidad y Vida Silvestre del Vice-Ministerio de Áreas Protegidas y Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente, que viene realizando diversos trabajos de restauración de humedales en el país.

Tabla 6. Cursos de restauración en línea disponibles con potencial para la capacitación del personal técnico del Programa.

Cursos Institucionales	Descripción	Link
INECOL - México	Diplomado en línea sobre restauración ecológica.	http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-1/ct-menu-item-65/cursos/683-iii-diplomado-on-line
ELTI – Yale University	Curso en línea en español sobre restauración forestal tropical.	http://elti.yale.edu/online-training-program
Sociedad Internacional de Restauración Ecológica - SER	Programa en línea de certificación de profesionales en restauración ecológica (en inglés).	http://www.ser.org/page/Certification
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE	Cursos cortos, cursos estratégicos y diplomados técnicos con perspectivas de innovación en los procesos de desarrollo rural en América Latina y el Caribe.	https://www.catie.ac.cr/programas-de-educacion/capacitaciones.html

- Equipamiento y Capacitación en Uso de Drones: Para mejorar la efectividad de las intervenciones del Programa en el campo, sería necesario establecer y equipar una brigada de monitoreo que permita planificar mejor las plantaciones de reforestación en las cuencas y evaluar el proceso de restauración en las áreas intervenidas por el Programa. Se sugiere formar un equipo técnico o brigada especializada, con personal y equipo para actividades en campo y gabinete. Esto incluiría el uso de Drones para obtener información de las áreas de interés del Programa en tiempo real y a una muy alta resolución, lo cual facilitaría el diseño y planificación de la reforestación, así como su posterior monitoreo. Un Dron permitirá sobrevolar las áreas reforestadas para controlar el crecimiento y obtener una alerta temprana de los problemas. Con un buen monitoreo, algunos problemas, como un brote emergente de insectos puede ser oportunamente detectado. Asimismo, se pueden obtener mediciones precisas de la altura de los árboles, de la biomasa aérea y el carbono, que con métodos tradicionales demandan un alto costo y tiempo de muchas personas en el campo. Actualmente, es posible encontrar empresas que pueden proveer equipos, soporte técnico y capacitación en el uso de Drones, tanto a nivel local/nacional como internacional (Tabla 7).

Tabla 7. Potenciales proveedores de equipos y servicios relacionados al uso de Drones en proyectos de reforestación.

Empresa	Tipo de oferta	Link
DR from Sky – Sede Sto. Domingo.	Venta y servicio técnico de Drones. Distribuidores de la marca Dji. Fotografías aéreas, entrenamiento y capacitación general.	http://www.drfromsky.com/
Linn Aerospace – Sedes en Carolina del Norte y Perú.	Venta y servicio técnico de Drones. Investigación y personalización de Drones de acuerdo a las necesidades del cliente. Fotografías aéreas, entrenamiento y capacitación especializada en forestería tropical y reforestación.	http://linnaero.com/item/forestry/

3.2.3 Monitoreo del Proceso de Restauración

a) Creación de una Unidad de Investigación. La restauración de bosques y la investigación van de la mano. A lo largo de esta consultoría, se ha enfatizado la necesidad de aprender de los proyectos de restauración y se han provisto los protocolos de implementación y buenas prácticas. En esta sección, se propone el establecimiento de una Unidad de Investigación en Restauración de Bosques, en donde se llevarían a cabo la investigación, organización e integración de la información derivada del Programa, y se implementarían actividades educativas y de entrenamiento. El objetivo debe ser, hacer llegar los resultados a las manos de aquellos involucrados en la restauración de bosques, desde el personal técnico hasta los alumnos de colegio, comunidades y autoridades de gobierno.

El éxito de una Unidad de Investigación de Restauración de Bosques, depende del fuerte apoyo de una institución respetada. Sin algún anfitrión consistente, a largo plazo, es difícil atraer financiamiento y asegurar la participación local en programas de restauración de bosques. La Unidad se organiza mejor a través de una institución reconocida, que tiene procedimientos administrativos establecidos. Ésta podría ser el departamento forestal estatal, una facultad o departamento de una universidad, un jardín botánico, un banco de semillas, un centro de investigación gubernamental o una ONG reconocida.

Se requiere un jefe inspiracional, un conservacionista comprometido con experiencia en silvicultura tropical, para manejar una Unidad de Investigación. Aparte de tener una educación científica y experiencia relevante, él o ella debe ser hábil en la administración de proyectos, el manejo de personal y relaciones públicas. Si la Unidad es auspiciada por una universidad, el jefe de la unidad podría ser un científico principal del personal de la facultad. En un centro de investigación forestal gubernamental, un oficial forestal principal podría asumir este papel. La participación de un taxónomo de plantas profesional y facilidades de herbario, es esencial para asegurar que las especies de árboles sean identificadas con exactitud. Aunque la organización anfitriona, podría no contar con un taxónomo en su plantilla, es esencial establecer una buena relación con un taxonomista

que pueda ser llamado según se necesite, para identificar los especímenes, quizás a tiempo parcial (Fig. 2).

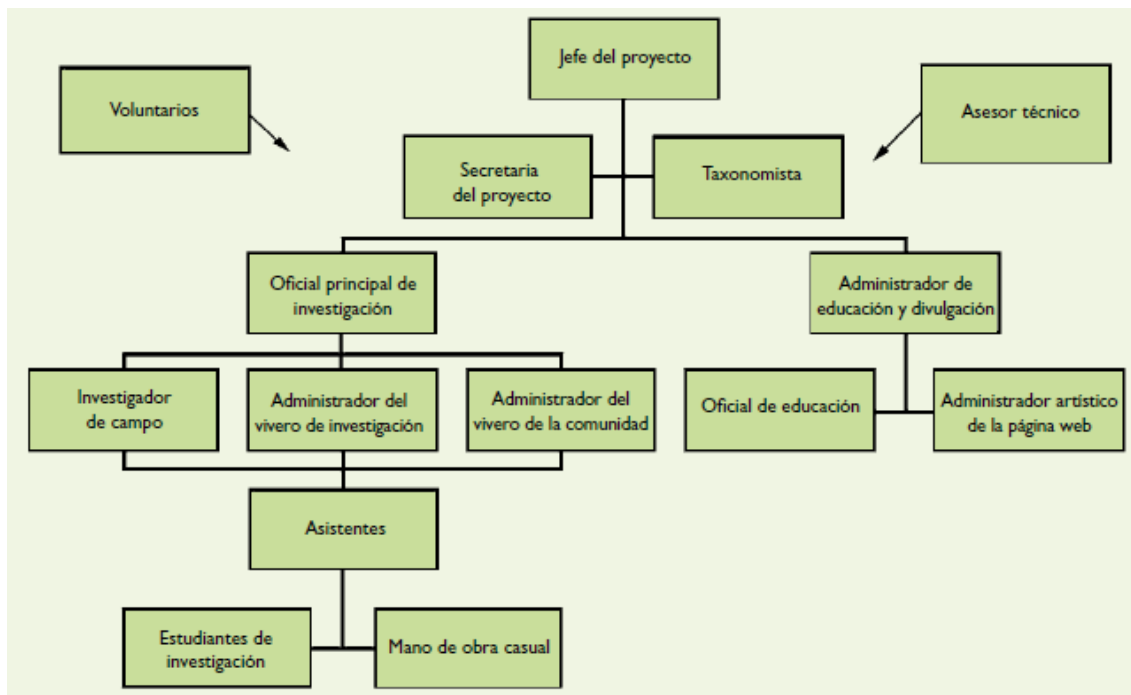


Fig. 2. Estructura de organización sugerida para una Unidad de Investigación. Los voluntarios y asesores técnicos pueden contribuir en todos los niveles. Fuente: Elliot et al. (2013).

A medida que el proyecto va avanzando, la diseminación directa de los resultados de la investigación a aquellos responsables para la implementación de la restauración de bosques, se vuelve más importante. Se debe diseñar e implementar un programa de educación y divulgación. Se deben producir materiales de educación, organizar talleres y seminarios, y alguien debe estar disponible para tratar con la inevitable afluencia de visitantes interesados a la unidad. Al comienzo, el equipo de investigación puede ser capaz de manejar algo de trabajo educativo, pero eventualmente, se debe contratar a un profesional en educación o comunicación ambiental; de lo contrario, los resultados de la investigación irán disminuyendo, en la medida que el personal de investigación sea distraído de su trabajo principal.

Adicionalmente a la investigación de rutina de la propagación y plantación de árboles (llevada a cabo por el personal a tiempo completo), la Unidad provee excelentes oportunidades para estudiantes, para realizar proyectos de tesis sobre aspectos más especializados de la restauración. Por ejemplo, los estudiantes podrían estudiar la influencia de las micorrizas en el crecimiento de los árboles, la mejor manera de controlar plagas en el vivero, qué especies de árboles atraen a aves dispersoras de semillas, o fomentar el establecimiento de plántulas de árboles, o la acumulación de carbono en las áreas restauradas, entre otros. Es importante que la Unidad tenga libre acceso para los estudiantes e investigadores de otras instituciones. De esta manera, la unidad genera rápidamente una lista impresionante de publicaciones que pueden ser usadas para fomentar el financiamiento y apoyo institucional adicional.

La Unidad de Investigación comprende una gama de necesidades para conducir las actividades de investigación. Éstas incluyen:

- Acceso a un área en cada uno de los ecosistemas de referencia;
- Un sendero de fenología a través del tipo los bosques de referencia;
- Acceso a un herbario;
- Un vivero de investigación, en el que se estudia la propagación de árboles y se producen los árboles para las pruebas de campo;
- Una oficina para la administración del proyecto, el manejo de datos, una biblioteca, el almacenamiento de los especímenes etc.;
- Un sistema de parcelas de prueba experimental;
- Una sub-unidad de monitoreo ambiental que se encargue de los muestreos de agua y suelo.
- Una sub-unidad de educación y divulgación.

El conocimiento especializado y la asesoría de organizaciones extranjeras, pueden acelerar significativamente el establecimiento de una Unidad de Investigación y prevenir la duplicación de trabajos que ya se han hecho en otro lugar. Las instituciones extranjeras, podrían también ser capaces de contribuir a los talleres en técnicas de producción de vivero, manejo de semillas y otros tópicos. Algunas instituciones podrían estar en condiciones de aceptar personal de la Unidad para cortos periodos de entrenamiento. También se podría comprometer a asesores, según se requiera, para proveer conocimientos en tópicos especializados.

b) Consideraciones Técnicas para el Monitoreo. La práctica de la restauración está siendo ampliamente incorporada en las estrategias de gestión ambiental y de los recursos naturales; sin embargo, todavía hay incertidumbre en cuanto a cómo los programas de restauración son o pueden ser en realidad eficaces (Wortley et al. 2013). La evaluación de la restauración no es sencilla, por lo que existe un amplio debate en torno a lo que caracteriza a la restauración exitosa y la mejor manera de medirla. Los financiadores quieren saber si la estrategia de restauración seguida es exitosa, de modo que los resultados del monitoreo son normalmente, componentes esenciales en los informes del proyecto. Inicialmente, esto significa averiguar si los árboles plantados han sobrevivido y crecido bien en los primeros años después de haber sido plantados, pero la medida última del éxito es lo rápido que el bosque restaurado vuelve a parecerse al ecosistema de referencia en términos de estructura, funcionalidad y composición de especies. El interés en técnicas de monitoreo está creciendo rápidamente, y los sistemas de monitoreo que se proponen se están volviendo cada vez más complejos y rigurosos. Esto se debe al valor que se le está dando ahora a los bosques, como almacenes de carbono. Pequeños errores de monitoreo, pueden resultar en la ganancia o pérdida de grandes sumas de dinero en el mercado del carbono (Alexander et al. 2016).

Un ecosistema se ha recuperado y restaurado cuando contiene suficientes recursos bióticos y abióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional. Los atributos que se indican a continuación, proveen una base para determinar cuándo se ha logrado la restauración, tanto a escala de ecosistema como de paisaje (Tabla 8). No es esencial la expresión total de todos estos atributos para demostrar la restauración; sólo se necesita que estos atributos demuestren una trayectoria apropiada de desarrollo ecosistémico hacia la meta o la referencia deseada. Algunos atributos son fácilmente medibles, mientras que otros no se pueden medir sin recurrir a investigaciones que excederían la capacidad y el presupuesto de la mayoría de los proyectos de restauración (SER, 2004).

Tabla 8. Atributos de los ecosistemas restaurados a escala ecosistema y de paisaje (SER, 2004).

	Atributos del Ecosistema Restaurado
1	Contiene un conjunto característico de especies que habitan en el ecosistema de referencia y que proveen una estructura apropiada de la comunidad.
2	Todos los grupos funcionales necesarios para el desarrollo y/o la estabilidad continua del ecosistema restaurado se encuentran representados, o sino, los grupos faltantes tienen el potencial de colonizar por medios naturales.
3	El ambiente físico del ecosistema restaurado tiene la capacidad de sostener poblaciones reproductivas de las especies necesarias para la continua estabilidad o desarrollo a lo largo de la trayectoria deseada.
4	El ecosistema restaurado sirve de capital natural para el suministro sostenible de bienes y servicios naturales específicos para el beneficio social.
5	El ecosistema restaurado se ha integrado adecuadamente con la matriz ecológica del paisaje, con la cual interactúa a través de flujos e intercambios bióticos y abióticos.
6	Se han eliminado o reducido, tanto como sea posible, las amenazas potenciales a la salud e integridad del ecosistema en el paisaje que lo rodea.
7	Tiene suficiente capacidad de recuperación como para aguantar los acontecimientos estresantes periódicos y normales del ambiente local/regional y que sirven para mantener la integridad del ecosistema.

- El seguimiento simple usando la fotografía, drones, e imágenes de satélite: La manera más simple de evaluar los efectos de la plantación de árboles, es tomar fotos u obtener imágenes mediante otros medios (ej. satélites, drones) antes de plantar y después, a intervalos regulares (una vez por año). Un sitio vecino donde no se haya implementado ninguna restauración, puede ser fotografiado similarmente, de modo que se pueda comparar la restauración con la regeneración no asistida. Las fotos e imágenes satelitales proveen una representación de fácil comprensión del progreso de los proyectos de restauración (Elliott et al. 2013).

Asimismo, la planificación y el monitoreo de proyectos de restauración con drones viene demostrando ser de gran utilidad (Figs. 3 y 4). Las mediciones de sobrevivencia y cobertura de las áreas plantadas, así como la acumulación de biomasa y carbono sobre el suelo, son ahora posibles hacerlas con los drones de manera precisa y a un costo accesible. No obstante, todavía hay retos por resolver con el uso de los drones y el desafío es más acentuado en terrenos escarpados, especialmente cuando no se cuenta con modelos de elevación digital, las mediciones de altura, estructura vegetal y cálculo de biomasa y carbono pierden precisión (Messinger et al. 2016; Miller et al. 2017).

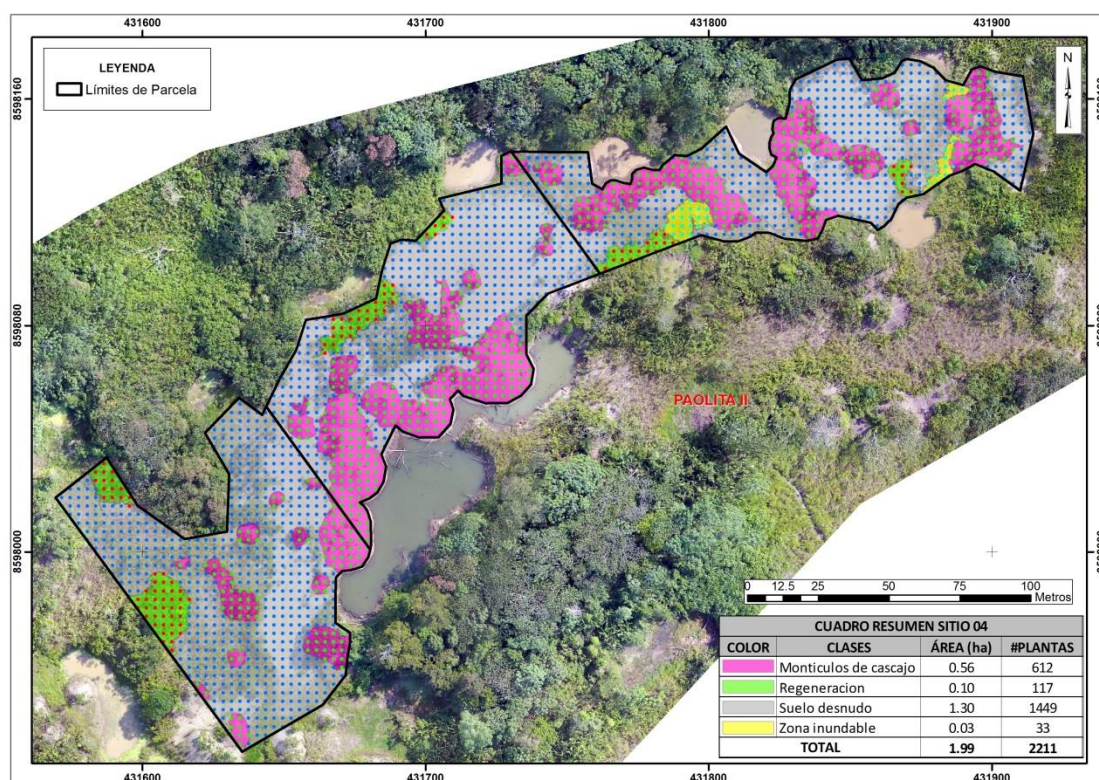


Fig. 3. Imagen clasificada de un área degradada obtenida con un dron, conteniendo una red de puntos de siembra (3x3 m) sobre la cual se puede decidir con mayor efectividad las especies y la cantidad de individuos a plantar en cada clase. Fuente: Facebook - Centro de Innovación Científica Amazónica.



Fig. 4. El uso de Drones puede facilitar el monitoreo de las plantaciones y las áreas en proceso de restauración.

- Procedimientos de Muestreo: La confirmación de la efectividad de la estrategia de restauración implementada y el restablecimiento de los procesos ecológicos en las áreas restauradas sólo será posible mediante el monitoreo de las áreas en diferentes periodos de tiempo, especialmente a través de indicadores que mediante los drones no es posible tener una precisión adecuada (ej. altura de las plantas, biomasa y carbono acumulado, estructura de la vegetación). Para ello, es fundamental el establecimiento de un procedimiento de

Diagrama de un tablero de 18 m de altura y 9 m de ancho, dividido en 12 cuadrantes numerados del 1 al 40. Los cuadrantes están organizados en 4 filas y 3 columnas. Los cuadrantes de la primera y tercera fila están divididos verticalmente en secciones A y B. Los cuadrantes de la segunda y cuarta fila son rectángulos completos. Las flechas indican la dirección del movimiento: hacia abajo en la columna 1, hacia la izquierda en la fila 4, y hacia arriba en la columna 3. El cuadrante 1 está etiquetado como "Inicio".

- Monitoreo del desempeño de los árboles plantados: Un monitoreo rápido del desempeño de las plantaciones puede registrar la condición de los árboles plantados y alertarnos a tiempo si algo está saliendo mal. Un monitoreo más detallado del desempeño de los árboles, consiste en medir la altura y diámetro (para calcular la tasa de crecimiento) y el registro de alguna incidencia particular y/o estado fitosanitario. La altura de los árboles puede ser medida con flexómetros y/o cintas de hasta 5 m fijadas en varas, mientras que el diámetro se puede medir los primeros dos años con vernier y dependiendo del crecimiento en los años siguientes con cintas diamétricas (Elliott et al. 2013).

- Monitoreo de la Biodiversidad: La última medida del éxito de la restauración de bosques es el retorno de la biodiversidad a los niveles asociados con el ecosistema de referencia o bosque-objetivo. Por ello, el propósito del monitoreo de la biodiversidad es determinar cuán rápido que esto sucede y cómo se facilitan los mecanismos naturales de regeneración del bosque, particularmente la dispersión de semillas y el establecimiento de plántulas de especies reclutadas naturalmente. Algunas especies o grupos de especies, podrían servir como indicadores de la salud general del bosque. Caminatas frecuentes a través de las parcelas de restauración, a la vez que se va anotando qué árboles están floreciendo o fructificando, puede producir la mayoría de los datos necesarios, para determinar si los árboles dentro de las parcelas de restauración, están produciendo los recursos posibles para atraer a animales dispersores de semillas (Elliott et al. 2013).

Hay cuatro preguntas cruciales para evaluar el proceso de recuperación de la biodiversidad:

- ¿Los árboles plantados (u otras técnicas de restauración empleadas) producen recursos (por ejemplo, flores, frutos etc.) a una edad temprana, que posiblemente atraiga a animales dispersores de semillas?
- ¿Hay animales dispersores de semillas presentes en el área, y si es el caso, están realmente atraídos por estos recursos?
- ¿Germinan realmente las semillas traídas por estos animales, incrementando la riqueza de plántulas y árboles jóvenes establecidos naturalmente, debajo de los árboles plantados?
- ¿Las semillas dispersadas por el viento, también se establecen naturalmente?

Monitoreo de fauna. Todas las especies de la vida salvaje (tanto plantas como animales) que re-colonizan, contribuyen a la biodiversidad, pero los animales dispersores de semillas, pueden acelerar la recuperación de la biodiversidad más que otras especies. Aves, murciélagos frugívoros y mamíferos de tamaño mediano son los grupos de mayor interés, pero de estos, la comunidad de aves es una de las más fáciles de estudiar (Elliott et al. 2013).

- ❖ *Aves.* Las aves proveen un indicador conveniente para la evaluación de la biodiversidad porque son relativamente fáciles de ver y son fáciles de identificar; existen varias guías de aves que cubren la mayor parte de los trópicos; la mayor parte de las especies están activas durante el día; las aves ocupan la mayoría de los niveles tróficos en los ecosistemas de los bosques — herbívoros, insectívoros, carnívoros, etc. — y de ahí que una alta diversidad de aves, normalmente indica una alta diversidad de plantas y especies de presa, especialmente insectos.
- ❖ *Mamíferos.* Los mamíferos se pueden dividir en dos grupos de interés para la restauración: a) las especies frugívoras, que son capaces de dispersar las semillas del bosque a los sitios restaurados (ej. murciélagos, ungulados), especialmente en los

primeros años de la restauración; y b) los predadores de semillas, que podrían limitar el establecimiento de plántulas de especies de árboles reclutadas en el sitio de restauración (particularmente los roedores pequeños). Para proyectos que tienen la posibilidad de monitorear el proceso de restauración a largo plazo, de tamaño mediano o mayores, las cámaras trampa son una manera muy efectiva para determinar el regreso de las especies de mamíferos a los sitios restaurados. Son cámaras digitales camufladas en cajas resistentes a la intemperie que son activadas por movimiento. Las baterías duran varios meses y se pueden acumular miles de imágenes en una sola tarjeta de memoria (Fig. 4).

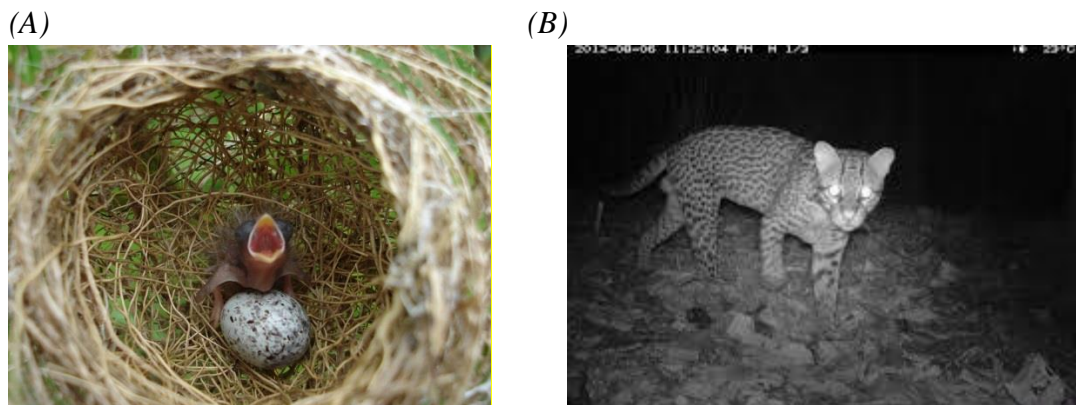


Fig. 4. Nido de ave en zona de restauración (A) e imagen de felino captado en una cámara trampa en áreas que están en proceso de restauración (B).

- Monitoreo de las especies de regeneración natural: En los ecosistemas de bosques, la comunidad de árboles es un buen indicador de la biodiversidad general de comunidades. Los árboles son el componente dominante del ecosistema, proveyendo varios hábitats y nichos para otros organismos, como aves y epífitas. Son la base de la red de alimento, y aportan la mayor parte de los nutrientes y de la energía en el ecosistema. Cuanto más diversa es la comunidad de árboles, más probable es que los otros elementos de la biodiversidad se recuperen de forma más rápida. Los árboles son fáciles de estudiar; son inmóviles, fáciles de encontrar y relativamente fáciles de identificar. Hay tres preguntas básicas para evaluar las especies de regeneración natural (Elliott et al. 2013):

- ¿Qué especies de árboles están presentes, antes de comenzar con las actividades de restauración?
- ¿Qué porcentaje de las especies de árboles, que comprende el ecosistema de referencia o bosque-objetivo, recolonizan las parcelas de restauración?
- ¿Qué especies forestales recolonizan las parcelas de restauración y con qué rapidez, después de la plantación de los árboles?

- Monitoreo de la Acumulación de Carbono: Muchos patrocinadores quieren saber cuánto carbono se recupera a través de los árboles en un proyecto de restauración, de modo que pudieran compensar sus huellas de carbono, o convertirlo en dinero en efectivo en el mercado de carbono. Por consiguiente, los patrocinadores frecuentemente requieren implementadores de proyectos, que sigan los estándares internacionales de acreditación y monitoreo, que incluyen auditorías independientes para verificar la acumulación del

carbono. Hay varios estándares de medición de carbono disponibles que pueden aplicarse a proyectos de restauración (Tabla 9).

Tabla 9. Estándares de medición de carbono más relevantes para proyectos de restauración.

Estándar	Descripción	Página Web
Verified Carbon Standard (VCS)	Un estándar que garantiza que los créditos de carbono sean reales, verificados, permanentes, adicionales y únicos. Provee metodologías detalladas para cuantificar emisiones de carbono reducidas.	www.v-c-s.org
Plan Vivo	Se les permite a los proyectos desarrollar sus propias metodologías en asociación con institutos de investigación o universidades. Los objetivos incluyen un impacto positivo en comunidades rurales.	www.planvivo.org
Climate, Community and Biodiversity (CCB)	Cuantifica los co-beneficios de factores socioeconómicos y de biodiversidad, pero normalmente se aplica conjuntamente con VCS para certificar los créditos de carbono.	www.climate-standards.org

Para estimar la acumulación de carbono en un bosque que está siendo sometido a la restauración, se debe conocer la masa de árboles por unidad de área. Los troncos contienen la mayor parte de carbono encima del nivel del suelo. La medición simple del diámetro de los árboles puede dar una aproximación de la mayor parte del carbono de encima del nivel del suelo (CES), que se calcula usando ecuaciones publicadas (denominadas ecuaciones alométricas), que describen la relación entre el diámetro de un árbol a la altura del pecho (y/o altura del árbol) y su masa seca encima del nivel del suelo en kilogramos. Se usan diferentes ecuaciones para los diferentes tipos de bosques, incluso para las diferentes especies de árboles, de modo que los desarrolladores de proyectos, deben investigar la literatura en busca de la ecuación que más se ajuste al tipo de bosque que se esté restaurando (Breugel et al. 2011).

c) Indicadores para el Monitoreo. Para la evaluación y monitoreo de proyectos de restauración es importante considerar que, para diferentes etapas del proceso de restauración, son necesarias diferentes variables de medición que permitan la confirmación de que las acciones de restauración implementadas están de hecho promoviendo la restauración y su perpetuación en el tiempo. El monitoreo de los árboles plantados puede mostrar claras mejoras dentro de primeros 3 años, pero la recuperación de la biodiversidad toma mucho más tiempo; el monitoreo puede continuar por períodos de 5–10 años, pero a intervalos menos frecuentes (Rodrigues et al. 2009). Así, los indicadores de evaluación y monitoreo de procesos de restauración pueden ser divididos en tres fases (Rieger et al. 2014):

- Fase de Instalación (1 a 12-18 meses): Esta evaluación abarca el desempeño de la regeneración natural (en caso de técnicas de regeneración natural asistida) o de los plantones instalados (en caso de plantaciones). Se sugiere un total de dos evaluaciones en esta etapa (a los 3 y 12 o 18 meses), ya que esa es una fase crítica que exige toma de decisiones rápidas para corregir problemas o eventualidades no previstas. Los indicadores para esta fase se presentan a continuación:

- ❖ Suelo: nivel de degradación y estado de fertilidad del suelo antes de la intervención.
 - ❖ Cobertura por herbáceas invasivas (no nativas del ecosistema de referencia): identificación de la especie dominante, porcentaje de cobertura, altura promedio de la cobertura antes de la intervención.
 - ❖ Evaluación de individuos plantados y/o de regeneración natural: identificación taxonómica, supervivencia, altura y diámetro en la base de las plantas. Además se pueden considerar otras variables como cobertura de los individuos, número de especies de diferentes grupos ecológicos o funcionales, estado fitosanitario, densidad (#individuos/ha), riqueza y/o diversidad (#especies/área).
 - ❖ Aspectos socioeconómicos: nivel de involucramiento y participación de la población local en el proyecto, ingreso económico por labores en la implementación del proyecto.
- Fase de Post-Instalación (2 a 4 años): Esta evaluación abarca la segunda fase de implementación de las acciones de restauración, la cual incluye la evaluación de la disminución de la cobertura de herbáceas invasivas y el aumento de la densidad y diversidad de los individuos de regeneración natural, utilizando para ello los mismos métodos de la fase anterior. Se sugiere en esta etapa realizar un total de dos evaluaciones. Los indicadores para esta fase se presentan a continuación:
- ❖ Suelo: acumulación de hojarasca y materia orgánica, presencia de microorganismos.
 - ❖ Cobertura del área: disminución de la biomasa de herbáceas invasivas, incremento del área de las copas de los árboles plantados y altura promedio de las copas.
 - ❖ Evaluación de individuos plantados y/o de regeneración natural: identificación taxonómica, altura, diámetro y cobertura de los individuos, acumulación de biomasa y carbono, número de especies de diferentes grupos ecológicos o funcionales, tasa de mortalidad, estado fitosanitario, densidad (#individuos/ha) y riqueza o diversidad (#especies/área).
 - ❖ Aspectos socioeconómicos: nivel de compromiso para proteger y mantener las áreas del proyecto, ingreso económico por labores de mantenimiento y apoyo al proyecto.
- Fase de Restauración (4-5 años a más): En esta fase se debe priorizar el uso de indicadores que posibiliten medir el éxito de la restauración de un área determinada con el propósito de poder sustentar una posible toma de decisión sobre la finalización del monitoreo del proyecto. Lógicamente, dicha finalización no excluye la necesidad de mantenimiento y protección de las áreas restauradas de posibles perturbaciones antropogénicas graves, como la tala de madera, el acceso de ganado, fuego, etc. Para

todos los parámetros de evaluación de esta fase (4-8 años después de las acciones de restauración) la periodicidad de la evaluación podrá ser interanual o incluso cada tres (03) años, dependiendo de las necesidades y los recursos del proyecto. Los indicadores para esta fase se presentan a continuación:

- ❖ Suelo: % de recuperación de propiedades físicas, químicas y biológicas en las áreas restauradas en comparación al suelo en los ecosistemas de referencia.
- ❖ Aspectos fisionómicos de la vegetación restaurada: estratificación vertical, presencia de individuos de sotobosque, sub-dosel, dosel y emergentes, levantamiento florístico incluyendo especies de árboles plantadas, no plantadas y otras formas de vida vegetal no arbórea.
- ❖ Evaluación de fauna: presencia de polinizadores, dispersores de semillas, diversidad de especies de diferentes grupos funcionales como bioindicadores del éxito de la restauración.
- ❖ Aspectos socioeconómicos: nivel de apropiación del proyecto, uso de las áreas en restauración (ej. no maderables, turismo), replicación del proyecto en áreas o comunidades vecinas.

En general, un proyecto de restauración correctamente planeado trata de satisfacer metas claramente expresadas que reflejen atributos importantes del ecosistema de referencia. Los ecosistemas son complejos y dos ecosistemas intactos jamás serán idénticos, por lo menos no cuando se examinan detenidamente. Por esa razón, ningún ecosistema restaurado jamás podrá ser idéntico a una referencia particular. El número de variables de un ecosistema que se puede usar en una evaluación es demasiado grande como para que todas puedan medirse dentro de un período de tiempo razonable. La selección de cuáles variables se evaluarán requiere de pragmatismo y juicio por parte del evaluador (Tabla 10).

Tabla 10. Compilación de indicadores sugerida para el Programa y la frecuencia de su medición en el monitoreo de áreas en proceso de restauración, incluyendo variables de medición del suelo, la vegetación y la fauna, (Modificado de Rieger et al. 2014).

Atributo/Indicador	Frecuencia de Medición			Ecosistema de Referencia
	Fase de Instalación (1-12 meses)	Fase Post-Instalación (2-4 años)	Fase de Restauración (+ 4 años)	
Suelo ¹				
Hojarasca	--	Anual	Anual	Al inicio
Materia orgánica	Al inicio	A los 3 años	Cada 3 años	Al inicio y cada 3 años
pH	Al inicio	A los 3 años	Cada 3 años	Al inicio y cada 3 años
Cationes, N y P	Al inicio		Cada 5 años	Al inicio y cada 5 años
Vegetación				
Foto aérea/imagen satelital/drone	Al inicio	A los 3 años	Cada 5 años	Al inicio y cada 3 años
Cobertura de herbáceas/gramíneas	Al inicio	A los 3 años	Cada 5 años	Al inicio y cada 3 años
Sobrevivencia, diámetro y altura de los árboles	Anual	Anual	Cada 5 años	Al inicio y cada 5 años
Densidad y diversidad de la regeneración natural	--	--	Cada 5 años	Al inicio y cada 5 años
Carbono encima del suelo (CES)	Al inicio	A los 3 años	Cada 5 años	Al inicio y cada 3 años
Fauna ¹				
Aves	--	--	Cada 5 años	Cada 5 años
Mamíferos terrestres, murciélagos	--	--	Cada 5 años	Cada 5 años
Agua ¹				
pH, temperatura, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, % sedimentos	Al inicio	A los 3 años	Cada 3 años	Al inicio y cada 3 años

¹ La elección final de qué indicadores monitorear, el método y la frecuencia de su medición deberían determinarse por un especialista y confirmarse luego de un acuerdo entre las autoridades competentes y el ente financista.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El éxito eventual de un proyecto de reforestación dependerá de que las especies y los métodos de reforestación coincidan con los sitios apropiados para los principales objetivos del Programa. Para lograr el éxito, el proyecto requerirá planificación por personal capacitado. Al mismo tiempo, es imposible lograr el éxito de una iniciativa de reforestación sin un programa de monitoreo adecuado. Tal programa podría basarse en una Unidad de Investigación independiente e incluiría la síntesis de diferentes niveles de información. La Unidad de Investigación recopilaría, organizaría y proporcionaría el primer nivel de control de calidad de la información. Los datos necesarios para determinar si los objetivos del proyecto se cumplen podrían ser recolectados por empleados de la Unidad capacitados o por terceros en el caso de información más especializada.
- En el presente informe se proponen la redistribución de especies en función del potencial ecológico de las cuencas de intervención. Específicamente se propone concentrar las especies de pino (ej. *Pinus occidentalis*, *Pinus caribaea*) en las cuencas de Sabana Yegua, Los Frios y Sabaneta, donde el bosque conífero constituye el principal ecosistema de referencia. Asimismo, se propone incrementar la cantidad de especies arbóreas y arbustivas típicas del bosque conífero (ej. *Ilex*, *Mikania*, *Myrica*, *Rubus*, *Tetrazygia*, *Gautteria*, *Fuchsia*, *Dendropemon*) a producir en los viveros y a incluir en las plantaciones. Esto con la finalidad de incrementar la diversidad de especies en las plantaciones y asegurar una mayor sobrevivencia y rapidez en la generación de cobertura, al mismo tiempo que aumenta la resiliencia de las plantaciones ante cualquier eventualidad ecológica, climática o disturbio provocado por los seres humanos. De igual forma, se sugiere que las especies latifoliadas que se producen actualmente en los viveros sean destinadas a plantaciones en las cuencas de Hondo Valle, Independencia y Batoruco, donde el bosque latifoliado constituye el ecosistema de referencia predominante.
- Además de la diferenciación de los modelos de reforestación por tipo de ecosistema de referencia, se propone también diferenciar los modelos de reforestación por su ubicación con respecto a tierras nacionales y áreas naturales protegidas (ANP's), así como por el nivel de degradación de las áreas y la finalidad productiva o ecológica de las plantaciones. Así, se pueden distinguir modelos de: a) reforestación en tierras nacionales con fines de rehabilitación productiva (madera, agroforestería) en suelos poco degradados de cuenca media, o con fines ecológicos en suelos degradados de las cuencas altas; b) reforestación con fines de restauración ecológica en tierras ubicadas en ANP's, principalmente en las cuencas de Sabana Yegua, Los Frios y Sabaneta en donde los Parques Nacionales José del Carmen Ramírez y Armando Bermúdez cubren buen porcentaje de la superficie de dichas cuencas (segundo informe, sección 4.1); y c) modelos de regeneración natural asistida para la protección, enriquecimiento y conservación de relictos de bosque ribereño en cuencas altas para la regulación y mantenimiento del ciclo hidrológico.

- Se sugiere complementar las capacidades actuales para mejorar el nivel de planificación, ejecución y monitoreo de los modelos de reforestación y conservación en las cuencas de intervención. Para ello, se identifican potenciales mejoras en cuanto a: a) el equipamiento del personal técnico y las brigadas de reforestación que permitan incrementar la eficiencia y precisión del trabajo de campo; b) la capacitación del personal técnico del Programa en el marco teórico-metodológico de la restauración mediante su participación en cursos en línea y/o presenciales; y c) la generación de capacidad técnica en cuanto a la planificación y monitoreo de las acciones de reforestación en los diferentes proyectos.
- La estrategia de implementación de las alternativas de mejora identificadas en este informe debe ser analizada en mayor detalle para evaluar la pertinencia de ser efectuada desde las dependencias del Gobierno especializadas para cada temática, o con participación parcial o total de organizaciones, instituciones académicas y/o empresas que podrían complementar el trabajo que ya viene realizando la Unidad Ejecutora del Programa. En este informe se identifican dichas dependencias, así como los potenciales proveedores en el ámbito privado.
- El alcance y la escala del Programa propuesto lo convierten en uno de los mayores programas de reforestación que se están implementando en América Latina. Por lo tanto, proporcionará lecciones invaluable para los científicos y los profesionales de la restauración. Si bien los datos de línea base y la información de monitoreo serán de utilidad para la Unidad Ejecutora y los socios del Programa, es importante maximizar las oportunidades de aprendizaje para mejorar futuras iniciativas de reforestación y restauración en la República Dominicana, en América Latina y en los trópicos en general. Por ello, se recomienda que, como parte de la financiación del Proyecto, se cree un fondo para fomentar las oportunidades de investigación. La gestión del fondo puede determinarse más adelante, pero las propuestas de financiación de las investigaciones podrían solicitarse mediante convocatorias abiertas cuyas decisiones sobre mérito científico y pertinencia sean determinadas por un grupo técnico/científico asesor independiente.
- En el siguiente producto, informe final, se integrarán los tres informes previos y se añadirán los costos de las alternativas de mejora identificadas y se analizarán los potenciales beneficios ambientales, sociales y económicos de su potencial adopción. Con dicha información, será posible canalizar de mejor manera la estrategia de implementación y asistencia técnica a seguir por el Programa en cuanto a los puntos de mejora identificados en este informe.

V. LITERATURA CITADA

- Alexander, S.; Aronson, J.; Whaley, O.; Lamb, D. 2016. The relationship between ecological restoration and the ecosystem services concept. *Ecology and Society* 21(1): 34.
- Breugel, Mv; Ransijn, J; Craven, D; Bongers, F; Hall, JS. 2011. Estimating carbon stock in secondary forests: decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *Forest Ecology and Management* 262: 1648–1657.
- Camacho, M. 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical: Guía para el establecimiento y medición. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 52 pp.
- Chazdon, R.L. 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* 320: 1458–1460.
- Contreras, F., Leño, C., Licona, J.C., Dauber, E., Gunnar, L., Hager, N., Caba, C. 1999. Guía para la instalación y evaluación de parcelas permanentes de muestreo (PPMs). BOLFOR – PROMABOSQUE. Santa Cruz, Bolivia. 52 pp.
- Elliott, S.D; Blakesley, D; Hardwick, K. 2013. Restauración de bosques tropicales: Un manual práctico. Royal Botanic Gardens, Kew. 344 pp.
- IUCN. 2014. A guide to the restoration opportunities assessment methodology (ROAM): Assessing forest landscape restoration opportunities at the national or sub-national level. Working Paper (Road-test edition. Gland, Switzerland. 125 pp.
- Juo, A.S.R., Franzluebbers, K. 2003. Tropical soils: properties and management for sustainable agriculture. Oxford University Press. New York. 275 pp.
- Lamb, D., Erskine, P.D., Parrotta, J.A. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science* 310, 1628–1632.
- Menz, M.H.M., Dixon, K.W., Hobbs, R.J. 2009. Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. *Science* 339: 526–527.
- Messinger, M., Asner, G.P., Silman, M. 2016. Rapid assessments of amazon forest structure and biomass using small unmanned aerial systems. *Remote Sensing* 8, 615; doi:10.3390/rs8080615.
- Miller, E., Dandois, J., Detto, M., Hall, J.S. 2017. Drones as a tool for monoculture plantation assessment in the stepland tropics. *Forests* 8(168): doi:10.3390/f8050168.
- Murphy, S.F., Stallard, R.F. 2012. Water quality and landscape processes of four watersheds in eastern Puerto Rico. U.S. Geological Survey Professional Paper 1789, 292 pp.
- Puerta-Piñero, C., Gullison, R.E., Condit, R.S. 2014. Metodologías para el sistema de monitoreo de la diversidad biológica de Panamá. 196 pp. <http://dx.doi.org/10.5479/si.ctfs.0001>.
- Rey-Benayas, J.M., Newton, A.C., Diaz, A., Bullock, J.M. 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: A meta-analysis. *Scienceexpress* 10.1126/science.1172460.
- Rieger, J; Stanley, J; Traynor, R. 2014. Project planning and management for ecological restoration. Island Press, Washington. 300 pp.
- Rodrigues, R.R; Lima, R.A.F; Gandolfi, S; Nave, A.G. 2009. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation* 142: 1242–1251.
- SER. 2004. Principios de SER Internacional sobre la restauración ecológica. Grupo de trabajo sobre ciencia y política. Society for Ecological Restoration (SER). www.ser.org y Tucson, Arizona. 15 pp.

- Stallard, R.F. 2016. Comprender el capital natural, Parte A: Contexto geofísico, p. 22-35. En: Hall, J.S., Kirn, V., Fernández, E.Y. La gestión de cuencas hidrográficas para servicios ecosistémicos en las laderas de los neotrópicos. Monografía IDB. 340 pp. <https://publications.iadb.org/handle/11319/7233>.
- Sudding, K., Higgs, E., Palmer, M., Callicott, J.B., Anderson, C.B., et al. 2015. Committing to ecological restoration: Efforts around the globe need legal and policy clarification. *Science* 348 (6325): 638–640.
- Van de Peer, T., Verheyen, K., Baeten, L., Ponette, Q., Muys, B. 2016. Biodiversity as insurance for sapling survival in experimental tree plantations. *Journal of Applied Ecology* 53: 1777–1786.
- Wortley, L; Hero, J.M; Howes, M. 2013. Evaluating ecological restoration success: A review of the literature. *Restoration Ecology* 21: 537–543.