

RESTAURACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS POR LA EXTRACCIÓN MINERA AURÍFERA EN MADRE DE DIOS

Ciencia para la toma de decisiones

Créditos

Publicación

World Wildlife Fund - WWF Peru

Wake Forest University Center For Energy, Environment and Sustainability - WFU/CEES

Centro de Innovación Científica Amazónica – CINCIA

Primera Edición

Octubre 2019

Autores

France Cabanillas – CINCIA WFU

Edith Condori – WWF Perú

Luis Llerena B. – Consultor

Coordinación General

Luis Fernández – CINCIA WFU

Miles Silman – CINCIA WFU

Edith Condori – WWF Perú

Diseño y diagramación

Mario Panduro

Fotografías

Archivo fotográfico CINCIA WFU

Archivo fotográfico WWF Perú

Muchas gracias por las contribuciones recibidas al siguiente documento: Francisco Román-Dañobeytia (CINCIA WFU), Jhon Farfan (CINCIA WFU), Martin Pillaca (CINCIA WFU), Claudia Vega (CINCIA WFU), Julio Araujo (CINCIA WFU), Cesar Ascorra (CINCIA WFU), Luis Fernandez (CINCIA WFU), Jesús Alferez (CINCIA WFU), Larry Huacarpuma (CINCIA WFU), Miles Silman (CINCIA WFU), Jorge Caballero (CINCIA WFU), Karina Salas (WWF Perú), Vania Tejeda (WWF Perú) y Claudia Coronado (WWF Perú).

INTRODUCCIÓN

El bosque amazónico tiene una extensión aproximada de 6.7 millones de km², abarca el territorio de 8 países: Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela. Es hogar de 34 millones de habitantes y más de 350 grupos indígenas¹. “La Amazonía es un espacio socioeconómico y ecológico complejo, colonizado y multiétnico” (Ráez, 2019). Asimismo, se caracteriza por ser el bosque tropical más grande del mundo, alberga el 10% de la biodiversidad conocida con 40,000 especies de plantas, 427 de mamíferos, 1,300 de aves, 378 de reptiles, 400 de anfibios y 3,000 de peces de agua dulce. Por otro lado, los bosques amazónicos contienen entre 90,000 y 140,000 millones de toneladas métricas de carbono, cumpliendo un importante rol para combatir el cambio climático.

El Perú es el segundo país del continente en extensión de bosques amazónicos con 68,577,351 hectáreas. A nivel mundial, es el cuarto país en extensión de bosques tropicales. El 53.9% de su territorio son bosques húmedos amazónicos y albergan a más de 50 pueblos originarios². De acuerdo a los resultados del sexto informe nacional de diversidad biológica, el Perú en todo su territorio cuenta con 20,533 especies de plantas, 559 de mamíferos, 1,857 de aves, 469 de reptiles, 622 de anfibios y 2,231 de peces (MINAM, 2019a). La selva peruana contiene el 97.5% de reservas de carbono superficial del país, el 79% se encuentran en los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios (Ráez, 2019). Además de esto el Perú cuenta, según la memoria descriptiva del mapa nacional de ecosistemas, con 36 ecosistemas continentales de los cuales 11 se ubican en la selva tropical y 3 en las yungas (MINAM, 2019b).

En este escenario de gran diversidad biológica, variedad de ecosistemas y culturas, está ubicado el departamento de Madre de Dios que cuenta con sus propios registros de biodiversidad, variedad cultural y riquezas, así como sus propias amenazas que generan presión sobre el bosque generando cambio de uso en el paisaje amazónico, siendo la minería aurífera aluvial la de mayor impacto. En este contexto de incremento de áreas degradadas por la extracción minera y la preocupación por la inexistencia de conocimiento sobre alternativas para la recuperación de terrenos

¹ https://www.panda.org/es/que_hacemos/sitios_prioritarios/amazonia/la_amazonia_naturaleza/

² <http://www.bosques.gob.pe/peru-pais-de-bosques>

altamente degradados, se dan las bases para generar la propuesta del proyecto “Restauración de áreas degradadas por la extracción minera aurífera”, a través de la cual se implementa el Programa de Reforestación y Restauración de Áreas Degradadas por Minería (PRRADM), experiencia que ha permitido obtener resultados relevantes que se espera aporten al incremento del conocimiento sobre la recuperación de áreas degradadas en Madre de Dios.

Asimismo, el presente documento detalla el contexto para la implementación del proyecto, los principales actores, los componentes, los procesos metodológicos y resultados alcanzados. De manera complementaria, se analiza las alianzas estratégicas establecidas con entidades públicas y privadas, universidades, instituciones de investigación, asociaciones, entre otros, así como las lecciones aprendidas.

Esta publicación concluye destacando el alcance y participación de todas las personas involucradas directa e indirectamente en el proyecto, sean funcionarios públicos, investigadores, técnicos, estudiantes, entre otros, comprometidos con la recuperación de los bosques amazónicos de Madre de Dios, una región tan importante por su capital natural tanto para el Perú como para todo el bioma amazónico.

Cabe destacar que la importancia de esta publicación radica en presentar los resultados de la implementación del proyecto, a fin de brindar pautas para impulsar la restauración ecológica a escala de paisaje o de región, en zonas con un nivel de impacto como las áreas degradadas por minería aurífera aluvial, mostrar las buenas relaciones y oportunidades alcanzadas y la apertura e interés para implementar mejores prácticas en actividades productivas.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto “Restauración de áreas degradadas por la extracción minera aurífera en la región de Madre de Dios” ha sido fruto de la alianza institucional de organizaciones de gran trayectoria como World Wildlife Fund – WWF y Wake Forest University – WFU a través del Centro de Innovación Científica Amazónica – CINCIA, instituciones con presencia en la región de Madre de Dios. La implementación de este proyecto ha sido todo un reto por las condiciones sociales, políticas, económicas y ambientales del área de intervención, por ello es importante en este documento agradecer a los equipos técnicos institucionales de WWF Perú y WFU-CIN-CIA por haber hecho posible alcanzar los objetivos planteados y lograr sinergias de impacto a nivel local, nacional e internacional. En ese sentido por parte de WWF queremos agradecer a Meg Symington, Kurt Holle, Cinthia Mongylardi, Edith Condori y Karina Salas, asimismo por parte de WFU-CIN-CIA nuestro agradecimiento a Luis Fernandez, Miles Silman, César Ascorra, Francisco Román, France Cabanillas, Martin Pillaca, Jhon Farfan, Jesús Alférez, Massiel Cueto y Larry Huacarpuma, a todos ellos muchas gracias por su invaluable aporte en la implementación de este importante proyecto.

A nivel institucional queremos agradecer a las organizaciones públicas que se sumaron a este proyecto especialmente al Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana – IIAP con sede en Madre de Dios, a la Municipalidad Distrital de Inambari, a la Municipalidad Provincial del Manu, al Servicio Forestal – SERFOR y al SERNAP.

A los diferentes socios con los cuales trabajamos en campo, Comunidades Nativas, agricultores, ANP, en especial al concesionario minero Pedro Ynfantes, que gracias a su apertura pudimos comprender mejor la realidad y problemática minera, sus impactos, y plantear soluciones basadas en la investigación, así como dar a conocer dicha realidad a nivel local, nacional e internacional.

Finalmente agradecer a USAID y a la Fundación KNUDSEN a través de World Wildlife Fund - WWF, por haber hecho posible el apoyo financiero, sin el cual no hubiera sido posible esta importante intervención en la región de Madre de Dios.



Equipo de campo

INDICE

Introducción	4
Agradecimientos	6
Indice	8

PARTE I

La región Madre de Dios.....	12
Minería aurífera aluvial y su impacto socio ambiental	14

PARTE II

La restauración de paisajes en el contexto nacional	17
1.1 Contexto e Hitos del proyecto	18
2.1 Programa de reforestación y restauración de áreas degradadas por minería.....	21
2.1.1 Estudios de línea base	22
2.1.1.1 Evaluación de suelos.....	22
2.1.1.2 Evaluación de fauna	22
2.1.1.3 Evaluación de mercurio	25
2.1.1.4 Evaluación hidrobiológica.....	26
2.1.2 Caracterización de áreas degradadas con drones	28
2.1.3 Producción y uso de biocarbón	32
2.1.4 Vivero forestal	39
2.1.5 Plantaciones de reforestación y restauración ecológica.....	43
2.1.6 Monitoreo y evaluación	58
2.6.1 Resultados del monitoreo y evaluación	59
2.1.7 Análisis de costos.....	61

PARTE III

3.1 Sinergias público – privadas para la sostenibilidad de la restauración	62
3.2 Lecciones aprendidas	68
Siglas	70
Citas bibliográficas	71

Lista de fotos

- **Foto 1:** Proceso de lavado de material (arenas y gravas) con bombas de succión.
Fuente: Archivo CINCIA, 2018..... 14
- **Foto 2:** Contaminación ambiental por acumulación de basura en la carretera
interoceánica en el sector de la Pampa. Fuente: Archivo CINCIA, 2017. 16
- **Foto 3:** Toma de muestras de suelos en áreas degradadas por minería. Fuente: WWF Perú, 2017. 22
- **Foto 4:** Venado colorado (*Mazama americana*) recorriendo las parcelas de
investigación. Fuente: WWF Perú, 2017. 24
- **Foto 5:** Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA), equipo DMA-
80. Fuente: Archivo CINCIA, 2017. 25
- **Foto 6:** Muestras para evaluación hidrobiológica del área degradada. Fuente: WWF Perú, 2017 26
- **Foto 7:** Manejo de un drone en el sitio 01 “Paolita II”. Fuente CINCIA, 2017..... 28
- **Foto 8:** Imagen de planificación de vuelo con el programa DroneDeploy en el
sitio 10 CC.NN. San Jacinto. Fuente: CINCIA, 2017. 29
- **Foto 9:** Capacitación al equipo técnico de la Municipalidad Distrital de
Inambari. Fuente: WWF Perú, 2018. 32
- **Foto 10:** Biocarbon de residuos de cascara de castaña. Fuente: WWF Perú, 2018..... 32
- **Foto 11:** Equipo industrial, pirolizador de flujo continuo. Fuente: Archivo CINCIA, 2018. 33
- **Foto 12:** Equipo artesanal, batería de cilindros TLUD (Top-Lit Up-Draft).
Fuente: Archivo CINCIA, 2018..... 34
- **Foto 13:** Sistema semi industrial tipo Kon Tiki. Fuente: CINCIA, 2018..... 35
- **Foto 14:** Aplicación de biocarbón en el sitio 08 “Santa Rita”. Fuente: CINCIA, 2018. 36
- **Foto 15:** Inauguración del vivero tecnificado con el alcalde de la Municipalidad
Distrital de Inambari, la Representante de WWF y el Director Ejecutivo de
CINCIA. Fuente: Archivo CINCIA, 2017 39
- **Foto 16:** Vivero municipal tecnificado ubicado en la ciudad de Mazuko. Fuente:
Archivo CINCIA, 2018. 40
- **Foto 17:** Reforestación en la comunidad nativa de Kotzimba. Fuente: CINCIA, 2018. 43
- **Foto 18:** Traslado de plántones forestales a campo. Fuente: Archivo CINCIA, 2017. 45
- **Foto 19:** Reforestación en el sector de Inambari. Fuente: WWF Perú, 2018. 46
- **Foto 20:** Especie *Dipteryx micrantha* plantada en el sitio 2. Fuente: Archivo CINCIA, 2018. 52
- **Foto 21:** Parcela Modelo líneas de cobertura y diversidad. Fuente CINCIA, 2018. 56
- **Foto 22:** Evaluación dasométrica en parcelas experimentales instaladas en el
sector de Paolita II. Fuente: WWF Perú, 2019..... 58
- **Foto 23:** Gestión de financiamiento para proyectos de restauración con los
gobiernos locales. Fuente: WWF Perú, 2017..... 63
- **Foto 25:** PhD. Francisco Román, Asesor Científico de CINCIA, presentando los
resultados del PRRADM en el “Primer Simposio Nacional de Restauración de
Ecosistemas Forestales con Enfoque de Paisajes”. Fuente: Archivo CINCIA, 2018. 67
- **Foto 24:** MSc. France Cabanillas, Coordinador del PRRADM exponiendo
los resultados de los trabajos realizado ante funcionarios de la DREMH e
INGEMMET. Fuente: Archivo CINCIA, 2019. 67
- **Foto 26:** Taller de lecciones aprendidas del proyecto. Fuente: Archivo CINCIA, 2019..... 69

Lista de gráficas

• Gráfica 1: Producción de oro por regiones. Fuente: Anuario minero 2018.	13
• Gráfica 2: Deforestación anual (1985-2017) por minería según el precio del oro y el estado de la carretera interoceánica. Fuente: CINCIA, 2018a.	16
• Gráfica 3: Iniciativas de restauración por actor principal y propietario del terreno. Fuente: SERFOR, 2018b	17
• Gráfica 4: Flujograma del Programa de reforestación y restauración de áreas degradadas por minería. Fuente: CINCIA, 2018.	21
• Gráfica 5: Riqueza de ungulados (izquierda) y carnívoros (derecha) por zonas. Fuente: WWF Perú 2019.	24
• Gráfico 6: Resultados del análisis hidrobiológico en pozas con y sin influencia de cursos de agua. Fuente: CINCIA, 2018b.	27
• Gráfica 7: Resultados del estudio para el cálculo de biomasa, la especie <i>Hymenaea coubaril</i> mostró una diferencia considerable con el biocarbón enriquecido ⁸ . Fuente: CINCIA, 2017.	38
• Gráfica 8: Componentes de la metodología CINCIA para reforestación resumido en fotografías. Fuente: CINCIA, 2019.	44
• Gráfica 9: Modelo de restauración ecológica “Líneas de cobertura y líneas de diversidad”. Fuente: Rodrigues et al, 2009.	46
• Gráfica 10: Sectores donde se instalaron las parcelas experimentales. Fuente: CINCIA, 2019.	48
• Gráfica 11: Hectáreas plantadas por distrito y especies utilizadas según su origen. Fuente: CINCIA, 2019.	49
• Grafica 12: Especies del Sitio 01 según su importancia ecológica/económica y categoría de cobertura/ diversidad. Fuente: CINCIA, 2019.	50
• Grafica 13: Especies del Sitio 02 según su importancia ecológica/económica y categoría de cobertura/ diversidad. Fuente: CINCIA, 2019.	52
• Grafica 14: Especies del Sitio 11 según su importancia ecológica/económica y categoría de cobertura/ diversidad. Fuente: CINCIA, 2019.	54
• Grafica 15: Especies del Sitio 17 según su importancia ecológica/económica y categoría de cobertura/ diversidad. Fuente: CINCIA, 2019.	56
• Grafica 16: Resultados de supervivencia del primer año de evaluaciones. Fuente: CINCIA, 2019a ...	59
• Grafica 17: Resultados de crecimiento en altura y diámetro por categoría de degradación y tratamiento. Fuente: CINCIA, 2019a.	60

Lista de mapas

• Mapa 1: Deforestación por minería de oro en Madre de Dios según tipo de minería. Fuente: CINCIA, 2019.	15
• Mapa 2: Áreas prioritarios para restauración de Madre de Dios. Fuente: SERFOR, 2018.	18
• Mapa 3: Zonas de muestreo para evaluación de fauna en áreas perturbadas y control. Fuente: WWF Perú, 2018.	23

• Mapa 4: Mapa final del sitio 04 “Paolita II” con caracterización y ubicación de plantones. Fuente: CINCIA, 2018	30
• Mapa 5: Distribución de sitios del Programa de reforestación y restauración de áreas degradadas por minería. Fuente: CINCIA, 2019.....	47
• Mapa 6: Planificación Sitio 01. Fuente: CINCIA, 2016	51
• Mapa 7: Planificación Sitio 02. Fuente: CINCIA, 2017.....	53
• Mapa 8: Planificación Sitio 11. Fuente: CINCIA, 2017.....	54
• Mapa 9: Planificación Sitio 17. Fuente: CINCIA, 2018	57

Lista de tablas

• Tabla 1: PBI de Madre de Dios según actividades económicas al 2017. Fuente: www.inei.gob.pe	13
• Tabla 2: Hitos del proyecto. Fuente: WWF Perú, 2019.	19
• Tabla 3: Concentración promedio de mercurio por categoría de degradación. Fuente: Van Der Smissen, 2018.	26
• Tabla 4: Vuelos realizados y área cubierta por el equipo SIG del programa Drones. Fuente: CINCIA, 2019.....	30
• Tabla 5: Vuelos de apoyo a otras instituciones. Fuente: CINCIA, 2019.	31
• Tabla 6: Propiedades del biocarbón producido por CINCIA. Fuente: “Producción y utilización de biocarbón”, nota técnica. CINCIA, 2018.	36
• Tabla 7: Kilogramos de biocarbón utilizados por sitio. Fuente: CINCIA, 2019.	37
• Tabla 8: Listado de viveros forestales en el departamento de Madre de Dios. Fuente: CINCIA, 2016.	40
• Tabla 9: Especies producidas en el vivero forestal. Fuente: CINCIA, 2017.....	42
• Tabla 10: Sitios, ubicación y beneficiarios de las plantaciones del PRRADM. Fuente: CINCIA, 2019	48
• Tabla 11: Lista de especies Sitio 01. Fuente: CINCIA, 2019.	50
• Tabla 12: Lista de especies Sitio 02. Fuente: CINCIA, 2019.	52
• Tabla 13: Lista de especies Sitio 02. Fuente: CINCIA, 2019.	55
• Tabla 14: Lista de especies Sitio 17. Fuente: CINCIA, 2019.	56
• Tabla 15: Variables consideradas para los trabajos de evaluación de las parcelas experimentales. Fuente: CINCIA, 2019.	58
• Tabla 16: Costos por hectárea del PRRADM. Fuente: CINCIA, 2019c.	61
• Tabla 17: Resumen de instituciones, asociaciones y universidades nacionales e internacionales ligadas al proyecto. Fuente: WWF, 2019.....	65

PARTE I

LA REGIÓN MADRE DE DIOS

Es el departamento amazónico ubicado en el extremo sureste del territorio nacional, limita con 2 países, Bolivia y Brasil, y 3 departamentos, Cusco, Puno y Ucayali. Está dividido en 3 provincias, Manu, Tambopata y Tahuamanu, tiene una población total de 141,070 habitantes siendo el 82.8% urbana y el 17.2% rural (INEI, 2017). Su extensión es de 85,182 km² (GOREMAD, 2015), del total, el 49.4% corresponde a zonas de protección y conservación ecológicas constituidas por áreas naturales protegidas ANP y áreas de conservación privadas ACP (GOREMAD, 2014). Es por esto y por sus registros en especies de flora y fauna que desde el año 1994 la región es considerada como “La capital de la biodiversidad” (Ley N°26311, 1994).

Asimismo, por su ubicación en la cuenca amazónica, limitando con regiones andinas de climas fríos, Madre de Dios posee 13 zonas de vida y 3 en transición y cuenta con una gran biodiversidad, que incluye a 1,847 especies de plantas, 214 especies de mamíferos, 755 especies de aves, 259 especies de peces, 123 de reptiles y 124 especies de anfibios (GOREMAD, 2015). Destaca también por ser el único departamento que cuenta con 2.6 millones Ha de bosques de castaña amazónica (*Bertolethia excelsa*), especie que se desarrolla naturalmente solo en esta zona del país. Estos bosques cubren un 30% de la extensión de Madre de Dios (GOREMAD, 2014; Guariguata, 2015).

Al año 2017, las principales actividades económicas realizadas en la región son la agricultura, ganadería, caza, silvicultura, minería, manufactura, construcción, comercio, entre otros. La siguiente tabla resume el valor agregado bruto (VAB) de las actividades económicas de la región al año 2017 con valores a precios constantes del 2007 (miles de soles)³. La población económicamente activa (PEA) del año 2017 fue de 83,158 personas, equivalente al 59% de la población de la región.

La minería aurífera aluvial aportó el 39.4% del VAB regional al año 2017. Sin embargo, según el Sistema de Información Regional para la Toma de Decisiones (SIRTOD) del INEI, al año 2016 el porcentaje de la PEA ocupada en agricultura y pesca era del 21.4%, comercio 20.9% y minería solo el 5.3% (a la fecha de la presente publicación no se cuentan con datos de PEA ocupada por rama de actividad para el 2017 en la base de datos del INEI)⁴. El aporte de la minería a pesar de ser el más importante para la región, beneficia a un porcentaje reducido de la PEA y genera las mayores tasas de deforestación en el departamento. A nivel nacional, Madre de Dios es la cuarta región del país en producción de oro como se muestra en la siguiente gráfica tomada del Anuario Minero 2018 (MINEM, 2019).

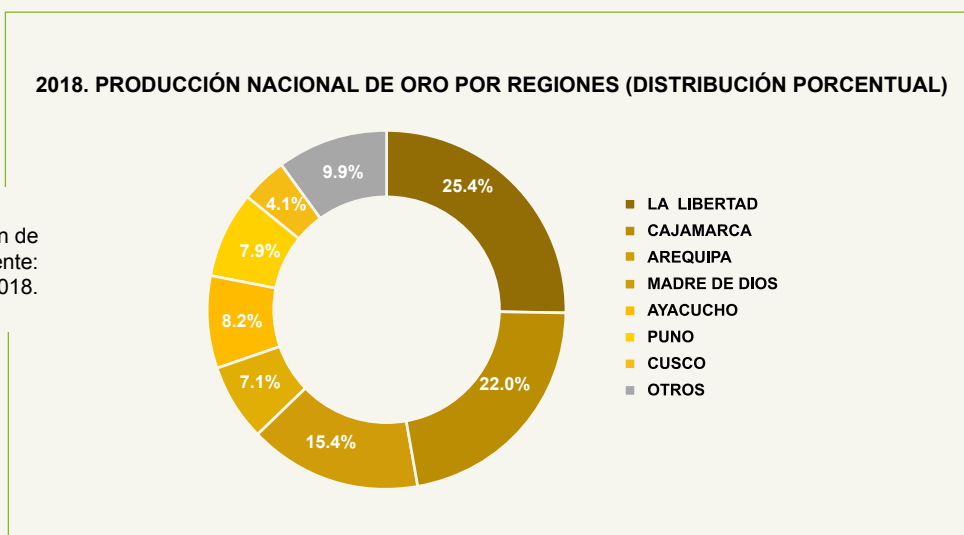
³ <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

⁴ <http://webapp.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/>

Tabla 1: PBI de Madre de Dios según actividades económicas al 2017.
Fuente: www.inei.gob.pe

Actividades	VAD	Estructura %
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	164,000	6.8
Pesca y acuicultura	1,329	0.1
Extracción de petróleo, gas y minerales	942,681	39.4
Manufactura	112,101	4.7
Electricidad, gas y agua	19,290	0.8
Construcción	172,233	7.2
Comercio	284,444	11.9
Transporte, almacén, correo y mensajería	111,891	4.7
Alojamiento y restaurantes	69,710	2.9
Telecomunicaciones y otros servicios de información	48,509	2.0
Administración pública y defensa	109,164	4.6
Otros servicios	359,674	15.0
Valor Agregado Bruto	2,395,026	100

Gráfica 1: Producción de oro por regiones. Fuente: Anuario minero 2018.



MINERÍA AURÍFERA ALUVIAL Y SU IMPACTO SOCIO AMBIENTAL

La minería aurífera aluvial es una actividad que ha generado importantes aportes al producto bruto interno (PBI) de la región Madre de Dios, pero también ha generado un impacto socio ambiental negativo poniendo en riesgo la biodiversidad, calidad del agua, seguridad alimentaria y social, debido a prácticas inadecuadas para su aprovechamiento e insuficiente control por parte de las autoridades responsables.

El proceso de extracción del oro se resume en los siguientes pasos: i) remoción de la cobertura forestal para tener acceso a los depósitos donde se encuentran las partículas de oro, en este caso suelos aluviales, lechos y orillas de ríos; ii) las arenas y gravas son sacadas del lugar y transportadas a la zona de lavado donde se depositan las arenas finas con las partículas de oro; iii) el concentrado de arena fina con oro se recoge en baldes donde se aplicará el mercurio para la amalgamación (se utilizan 2.8 Kg. de mercurio para obtener 1 Kg. de oro), la amalgama obtenida o “perla” tiene una proporción de 60% mercurio y 40% oro; iv) la “perla” se somete a calor con un soplete, de esta forma se volatiliza el mercurio y funde el oro separándose los metales (MINAM, 2011).

Foto 1: Proceso de lavado de material (arenas y gravas) con bombas de succión. Fuente: Archivo CINCIA. 2018.

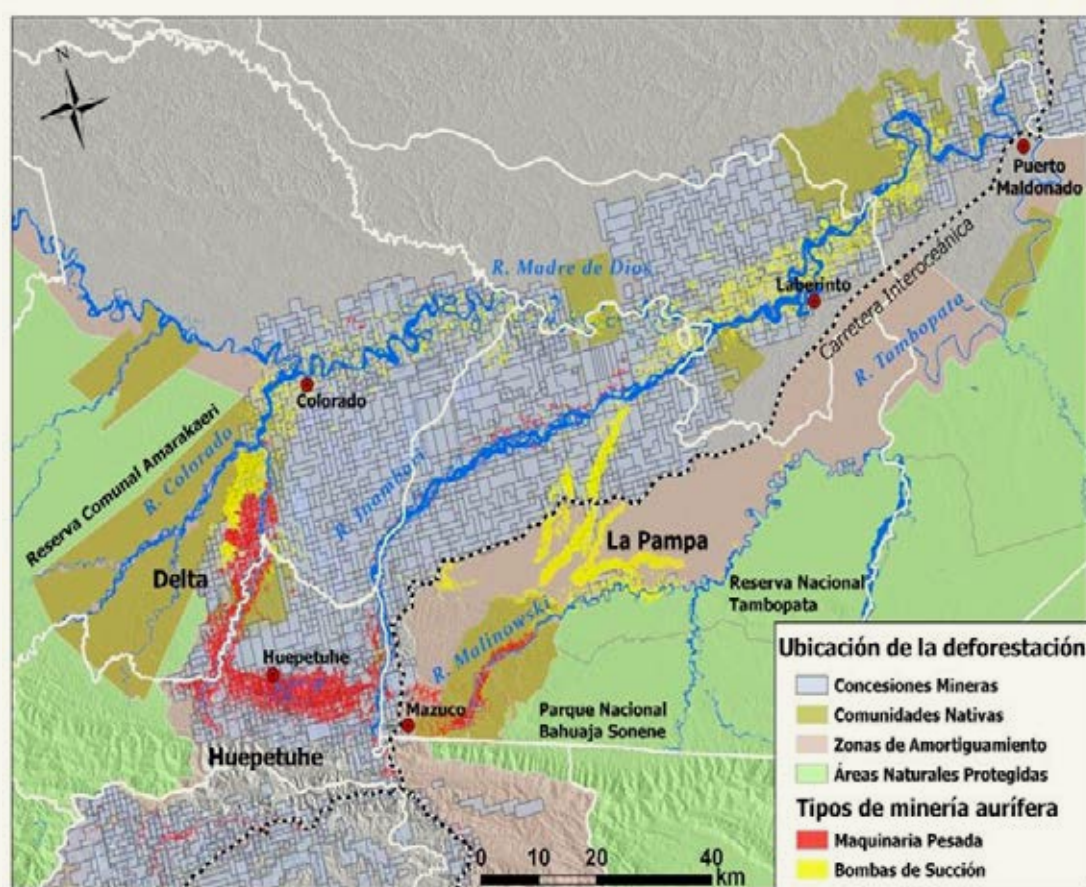


Se utilizan varios métodos extractivos o tipos de minería, entre artesanales y mecanizados, para efectos del presente manual se les ha agrupado en dos: maquinaria pesada (chute y cargador frontal) y bombas de succión (chupadera y traca), ya que son los métodos más usados en la región, situación que se evidencia en el mapa de deforestación por tipo de minería (CINCIA, 2019a).

La minería aurífera aluvial se trabaja desde hace más de 100 años en la región, con desarrollo importante en las décadas de 1940 - 1950 y 1970 – 1980 (Valencia, 2014). En la actualidad, la región se encuentra en la tercera “fiebre del oro” y es la que más consecuencias negativas ha tenido en el ambiente y la población. Entre

los años 1985 y 2017 la minería aurífera aluvial ha deforestado 95,750 Ha de bosque amazónico. Así mismo en el año 2017 se registró el récord histórico de pérdida forestal por la minería aurífera con 9,860 Ha deforestadas. Este valor representa 37.9% de las 26,000 Ha deforestadas en Madre de Dios y el 6.9% de las 143,425 Ha deforestadas en todo el país en el mismo año (CIN-CIA, 2018a).

Los impactos sociales generados por la minería aurífera aluvial se ven reflejados en los asentamientos humanos precarios donde vive la gente dedicada a esta actividad con las mínimas condiciones de salud y seguridad, desarrollándose la trata de personas con fines de explotación laboral y prostitución, explotación de menores, malos servicios de educación y salud, proliferación de enfermedades y contaminación y de las personas con mercurio (MINAM, 2011).



Mapa 1: Deforestación por minería de oro en Madre de Dios según tipo de minería. Fuente: CIN-CIA, 2019.

Foto 2: Contaminación ambiental por acumulación de basura en la carretera interoceánica en el sector de la Pampa. Fuente: Archivo CINCIA, 2017.



El auge de la minería en la región inició en el año 1985 producto de dos hechos fundamentales, la construcción de la carretera interoceánica y el incremento del precio del oro en la economía mundial. La siguiente gráfica tomada del resumen científico titulado “Tres décadas de deforestación por minería aurífera en la Amazonia peruana” presenta de forma clara el comportamiento de la minería en relación con estos dos hechos fundamentales.

Gráfica 2: Deforestación anual (1985-2017) por minería según el precio del oro y el estado de la carretera interoceánica. Fuente: CINCIA, 2018a.



PARTE II

LA RESTAURACIÓN DE PAISAJES EN EL CONTEXTO NACIONAL

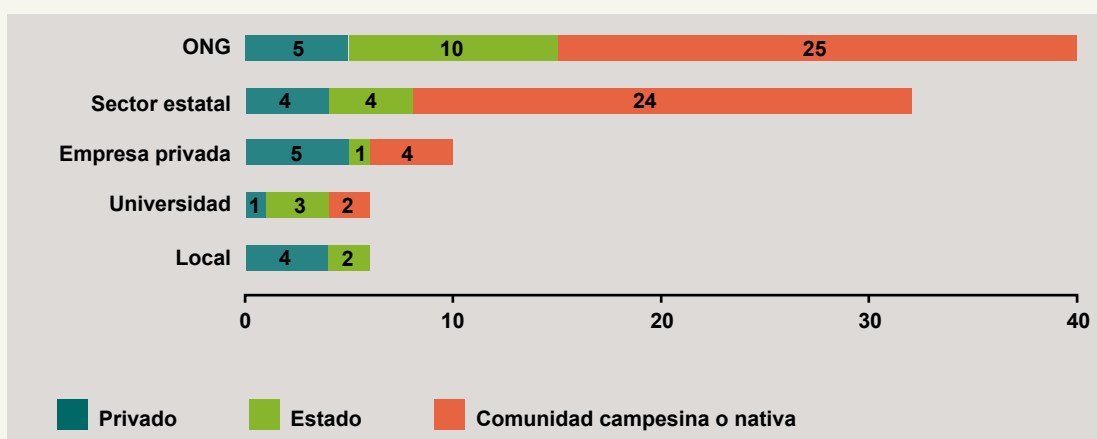
La restauración ecológica es un concepto relativamente nuevo en el Perú; sin embargo, se ha implementado en sus diversas formas en las diferentes realidades de la geografía peruana. El reglamento para la gestión forestal la define como: “El proceso inducido por el hombre mediante el cual se busca ayudar al restablecimiento de un ecosistema degradado, dañado o destruido. La restauración trata de retornar un ecosistema a su trayectoria histórica” (D.S. N° 018 – 2015 MINAGRI).

El Perú ha asumido una serie de compromisos internacionales que buscan la recuperación de áreas degradadas, la “Iniciativa 20 x 20” firmada durante la Conferencia de las Partes (COP 20) celebrada en Lima el año 2014, es un acuerdo firmado por países de América Latina y El Caribe cuya meta es la restauración de 20 millones de hectáreas para el año 2020⁵. El compromiso peruano es de 3.2 millones de hectáreas para el próximo año.

En el marco de estos acuerdos, el Perú ha realizado una serie de acciones cuyos resultados se reflejan en documentos como los “Lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre” (SERFOR, 2018a), aprobado mediante una resolución (RDE N° 083 – 2018 MINAGRI – SERFOR – DE), cuya elaboración estuvo a cargo de especialistas en restauración ecológica de diferentes sectores liderados por el SERFOR.

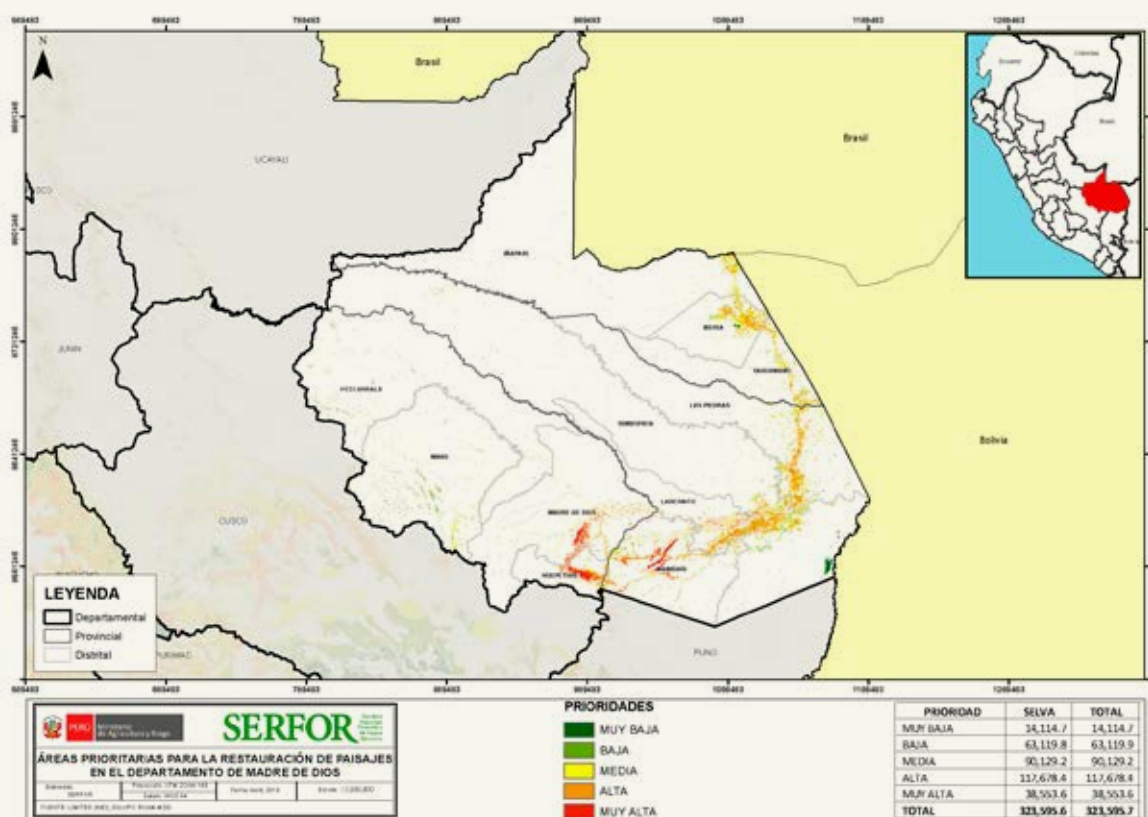
En la gráfica 3, elaborado con información de la publicación “Experiencias de restauración en Perú – Lecciones aprendidas” (SERFOR, 2018b), que ha considerado 181 experiencias de restauración y se reporta 94 en el documento, se logra señalar que el principal impulsor de esta actividad son las Organizaciones No Gubernamentales (ONG).

Gráfica 3: Iniciativas de restauración por actor principal y propietario del terreno. Fuente: SERFOR, 2018b



⁵ <https://initiative20x20.org/about>

De igual manera, se cuenta con la presentación del Mapa Nacional de Áreas Prioritarias para la Restauración de Paisajes, que identifica que existen más de 8 millones de Ha de sitios prioritarios para restauración a nivel nacional (SERFOR, 2018c). En la región de Madre de Dios se han identificado 165,104 Ha bajo la categoría de muy alta y alta prioridad para ser restauradas.



Mapa 2: Áreas prioritarios para restauración de Madre de Dios. Fuente: SERFOR, 2018.

2.1 Contexto e Hitos del proyecto

El proyecto “Restauración de Paisajes Degradados por la Extracción Minera Aurífera” realizado en Madre de Dios inició en el año 2015, para promover la recuperación de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en Madre de Dios. En esta época, coincidió que la Wake Forest

University de Florida realizaba una investigación sobre el tema en el departamento, con la finalidad de escalar los resultados, se generó una coalición junto con USAID, WWF y otras instituciones nacionales e internacionales para crear un fondo común y desarrollar un proyecto de investigación que busque generar alternativas para recuperar áreas degradadas por minería.

A inicios del año 2016 WWF y WFU a través del Centro para Energía, Ambiente y Sostenibilidad (CEES por sus siglas en inglés), firmaron el convenio para la implementación del proyecto “Restauración de Paisajes Degradados por la Extracción Minera Aurífera”.

En los años siguientes, 2017 y 2018, en un contexto en que la minería aurífera aluvial continuaba en crecimiento y se llegaron a picos de deforestación históricos, el impulso a las políticas y acciones para promover la restauración también estaba en desarrollo, llegándose a validar procesos como: Los lineamientos para restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre, el registro nacional de plantaciones forestales, la recopilación de experiencias de restauración a nivel nacional, la elaboración del mapa de identificación de sitios prioritarios para restauración y el primer simposio nacional en restauración ecológica con enfoque de paisajes, todas estas iniciativas lideradas por SERFOR en asociación con otras instituciones nacionales e internacionales.

Las elecciones regionales celebradas el año 2018 permitieron una apertura del GOREMAD y el fortalecimiento de las alianzas con los gobiernos locales, esto permitió un acercamiento importante con la autoridad regional y locales a través de reuniones para mostrar los avances del programa y dar asistencia técnica con base científica en temas relacionados a la actividad minera.

El año 2019 estuvo acompañado de importantes logros, como la presentación de una propuesta de cierre de minas en base a los resultados del proyecto en una de sus parcelas experimentales ubicada en la concesión minera “Paolita II” en el distrito de Laberinto, realizada ante funcionarios de la Dirección Regional de Energía, Minas e Hidrocarburos (DREMH) y el Instituto Nacional Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Esto es un importante avance para lograr sinergias con el GOREMAD, quienes son los principales responsables de dirigir el desarrollo de la región en todos sus sectores, especialmente para el caso de una actividad con un impacto ambiental considerable, como la minería aurífera aluvial, a través de la implementación de planes de cierre de minas con una base sólida científica desarrollada en el marco del proyecto.

La siguiente tabla resume hitos importantes durante la formulación, implementación y desarrollo del proyecto.

Tabla 2: Hitos del proyecto.
Fuente: WWF Perú, 2019.

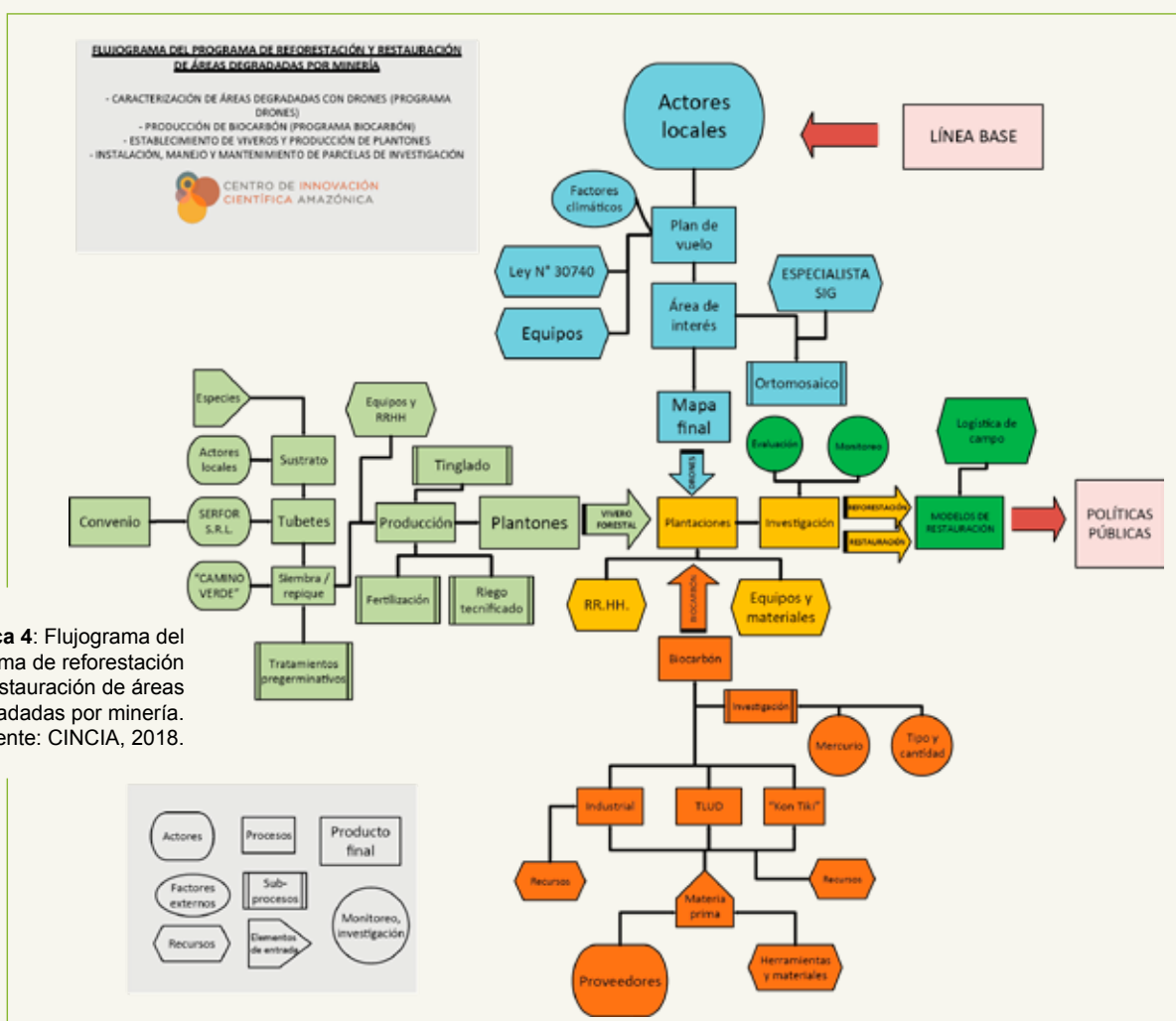
Fecha	Hito
JULIO 2015	Alianza institucional entre Wake Forest University y WWF para la implementación de un proyecto de recuperación de áreas degradadas por extracción minera en Madre de Dios.
MARZO 2016	Creación del Centro de Innovación Científica Amazónica – CINCIA y se establece un programa de reforestación y restauración.
AGOSTO 2016	Firma de convenio de cooperación con la Municipalidad Distrital de Camanti, Cusco, con la finalidad de sumar esfuerzos para generar condiciones favorables para la implementación del proyecto.
SEPTIEMBRE 2016	Firma de convenio de cooperación con la Municipalidad Distrital de Inambari y Huaypetuhe con la finalidad de sumar esfuerzos para generar condiciones favorables para la implementación del proyecto.
SEPTIEMBRE 2016	Diagnósticos de la capacidad de infraestructura e insumos para producción de plántulas para reforestación a gran escala
NOVIEMBRE 2016	Análisis de las plantaciones implementadas en Madre de Dios.

Fecha	Hito
DICIEMBRE 2016	Instalación de la primera parcela experimental en la zona de Laberinto.
FEBRERO 2017	Inauguración de la planta de producción de biocarbón en alianza con el IIAP sede Madre de Dios.
MAYO 2017	Inauguración del laboratorio de mercurio y química ambiental (LAMQA), que se ubica en el centro experimental del IIAP MDD.
MAYO 2017	Firma de convenio de colaboración con la Empresa Forestal Otorongo para facilitar insumos como aserrín de madera para la producción de biocarbón.
JUNIO 2017	La Municipalidad Distrital de Inambari con la colaboración del proyecto logra la aprobación de un proyecto de inversión pública para la recuperación de 80 hectáreas en la cuenca del Inambari a través del programa SERFOR CAF.
JULIO 2017	Inauguración del primer vivero tecnificado en Madre de Dios en alianza con la Municipalidad Distrital de Inambari.
AGOSTO 2017	Firma de convenio de cooperación técnica con la Comunidad Nativa de Kotzimba.
SEPTIEMBRE 2017	La Municipalidad Provincial del Manu con el apoyo del proyecto logra la aprobación de un proyecto de inversión pública para la recuperación de 60 hectáreas en territorios indígenas.
NOVIEMBRE 2017	Firma de convenio de cooperación mutua con la Municipalidad Provincial del Manu con la finalidad de sumar esfuerzos para generar condiciones favorables para la implementación del proyecto.
DICIEMBRE 2017	Validación del Mapa Regional de Áreas Prioritarias para Restauración de Madre de Dios.
ABRIL 2018	Fortalecimiento de capacidades en temas restauración y uso de enmiendas para recuperación de suelos en alianza con el INIA. Participación de la reunión anual de la iniciativa 20x20 en alianza con el SERFOR
MAYO 2018	Presentación de la experiencia del proyecto en alianza con la Dirección de Formalización Minera del Ministerio de Energía y Minas - MINEM.
JUNIO 2018	Alianza técnica con el programa SERFOR CAF para la implementación de parcelas demostrativas en la comunidad nativa de San Jacinto en el marco de grupo técnico ROAM.
NOVIEMBRE 2018	1er Simposio Nacional de Restauración, con ponencias sobre las diferentes iniciativas realizadas a nivel nacional, logrando presentar los resultados al año de ejecución de nuestro proyecto.
DICIEMBRE 2018	Alianza técnica con la Reserva Nacional de Tambopata y el SERNANP para la implementación de parcelas de recuperación demostrativas en las áreas afectadas por minería ilegal al interior de la Reserva en el sector de PCV Azul.
ABRIL 2019	Fortalecimiento de capacidades en alianza técnica con la Dirección Regional de Energía y Minas y el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET para la generación de una propuesta de cierre de minas.

2.2 Programa de reforestación y restauración de áreas degradadas por minería

La WWF y WFU unieron esfuerzos para implementar el proyecto “Restauración de Paisajes Degradados por la Extracción Minera Aurífera”, en el marco de la implementación de este proyecto se crea el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA) y se implementa un programa de reforestación y restauración

para enfocar esfuerzos en áreas degradadas por minería y se establece un equipo técnico local para desarrollar las metodologías propuestas, el cual se resume en el siguiente flujograma.



Gráfica 4: Flujograma del Programa de reforestación y restauración de áreas degradadas por minería. Fuente: CINCIA, 2018.

El flujograma del programa resume el trabajo conjunto de CINCIA-WFU y WWF de forma práctica es sus cuatro componentes básicos: caracterización de áreas degradadas con drones, producción y uso de biocarbón, vivero forestal tecnificado, plantaciones de reforestación y restauración ecológica. Incluye también los trabajos de línea base previos y los trabajos de monitoreo y evaluación al final del proceso.

2.2.1 Estudios de línea base

Como se observa en el flujograma, se realiza un estudio de línea base por las condiciones en donde se van a instalar las parcelas experimentales, estos trabajos consisten en análisis de suelos, de fauna, mercurio e hidrobiológico los cuales se detallan a continuación.

2.2.1.1 Evaluación de suelos

Este proceso se realizó en alianza con el Instituto de Investigaciones de Amazonia Peruana (IIAP), lo que permitió contar con información de las condiciones del suelo luego de terminadas las actividades mineras en la zona explotada.

El protocolo de muestreo de suelos se enmarca en los procedimientos establecidos en el anexo 1 de la Resolución Ministerial N°085-2014 MINAM “Guía para muestreo de suelos”, cuyas especificaciones se enfocan en: i) determinar la existencia de contaminación en el suelo, ii) determinar la dimensión (extensión horizontal y vertical) de la contaminación, iii) determinar las concentraciones del nivel de fondo, iv) determinar si las acciones de remediación lograron reducir la contaminación.

Foto 3: Toma de muestras de suelos en áreas degradadas por minería. Fuente: WWF Perú, 2017.



Para los estudios de suelos se utilizó la tecnología de drones para determinar el patrón de muestreo en los sitios establecidos en base a las diferentes categorías de degradación determinadas, además de la ubicación de las muestras control en zonas donde no hay un impacto producto de la minería.

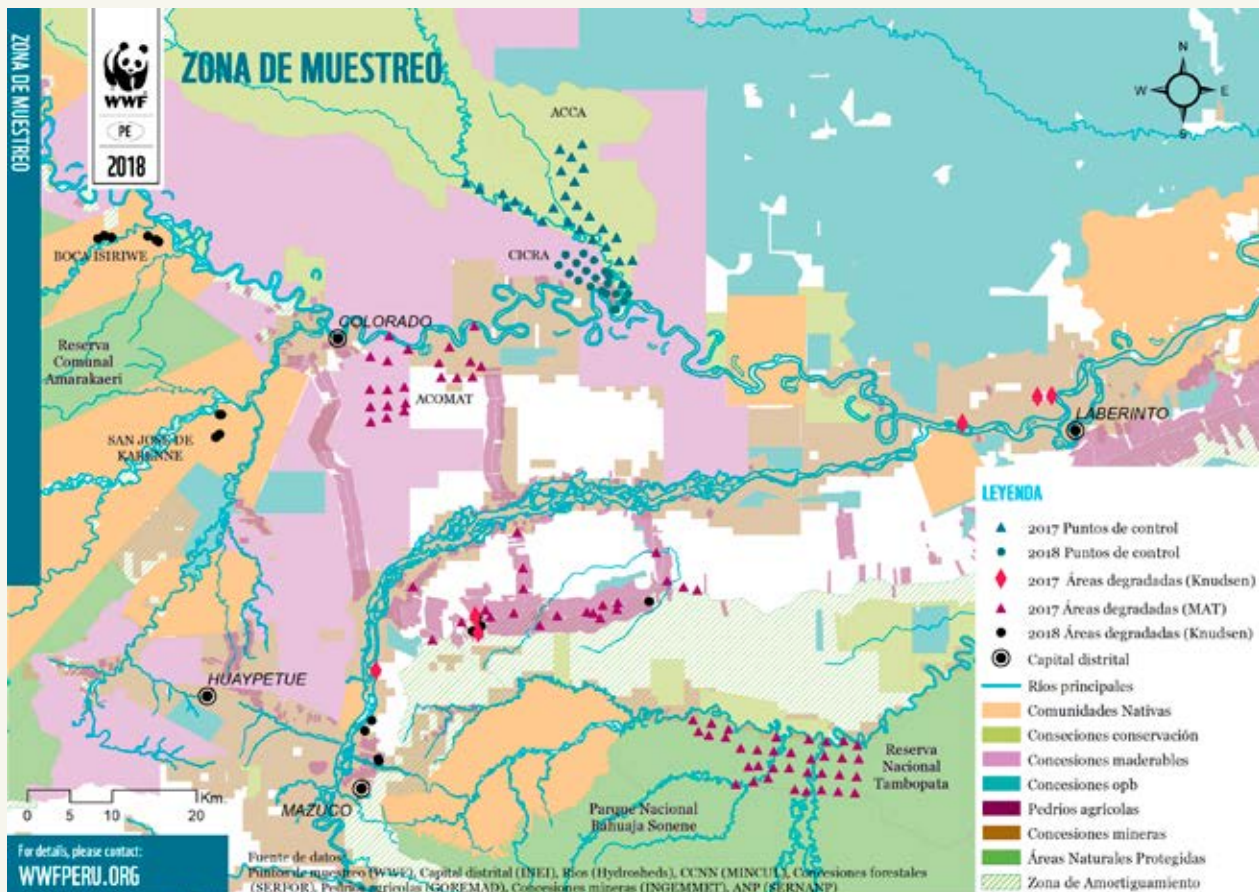
Los parámetros físico químicos considerados para la caracterización del suelo son pH, materia orgánica (%), capacidad de intercambio catiónico (Cmol / kg), textura (porcentaje de arena, limo y arcilla) y concentración de mercurio (mg / kg). Para este último parámetro se toma una submuestra de la muestra y es analizada en el Laboratorio de Análisis de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA).

2.2.1.2 Evaluación de fauna

El objetivo principal de este estudio es contar con una línea base de biodiversidad de fauna que puede ser encontrada en áreas degradadas por minería con

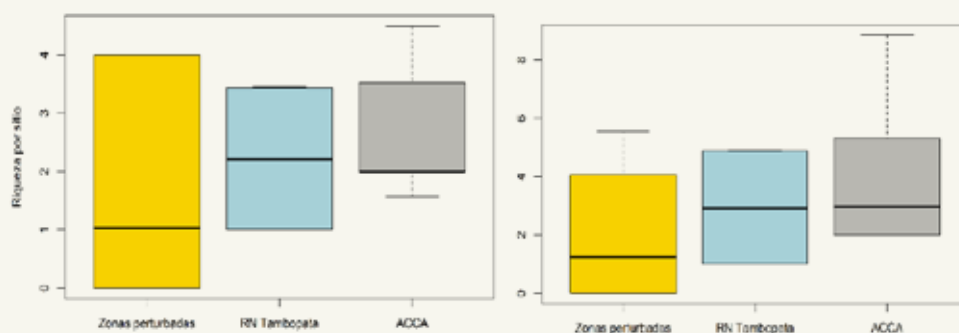
potencial para ser restauradas y probar la efectividad de los grupos indicadores (presencia de carnívoros y ungulados en el caso de mamíferos).

Se instalaron 18 estaciones en zonas perturbadas y 24/15 zonas de control compuestas por una cámara trampa (Bushnell Trophy), un grabador de aves (Arbimon Touch) y un grabador de murciélagos (Wildlife acoustics SM4). Cada estación estaba separada a una distancia de 2 km cada una.



Como resultado se obtuvieron un total de 23 especies de mamíferos mayores en zonas perturbadas y 28 en zonas de control. Es importante señalar la ocupación de carnívoros y ungulados para saber el funcionamiento de la dinámica trófica en cada lugar como se aprecia en la siguiente figura.

Gráfica 5: Riqueza de ungulados (izquierda) y carnívoros (derecha) por zonas. Fuente: WWF Perú 2019.



Algo que resaltar sobre los mamíferos mayores, es que en su mayoría las especies que se encontraron son de bosque, sin embargo *Hydrochoerus hydrochaeris* una especie asociada a monte ribereño, mayormente detectada en las orillas del río, ha sido encontrada en el borde del bosque, entre los parches de bosque remanente y las parcelas de restauración, este paisaje, que ya sido modificado previamente con

Foto 4: Venado colorado (*Mazama americana*) recorriendo las parcelas de investigación. Fuente: WWF Perú, 2017.



la actividad minera lo que ha creado espacios amplios con la presencia de pozas, estas pozas son un nuevo elemento en este paisaje, lo que atrae fauna que utilizan los recursos que hay en las cochas como peces, vegetación, micro y macroinvertebrados, etc.

Los análisis acústicos nos han permitido conocer las frecuencias de presencia de la fauna local, lo que reflejaría la alta diversidad o la falta de ella en las zonas de estudio.

El uso del espacio acústico fue más alto en los sitios perturbados, lo que probablemente esté correlacionado con mayor riqueza general de especies (Aide et al.2017).

Sin embargo, esto puede significar varias cosas, sugiriendo que la composición del paisaje sonoro fue significativamente diferente entre los dos tratamientos, lo que evidencia que hubo un conjunto único de especies acústicas asociadas con cada tratamiento, probablemente los insectos, que fueron los que usaron más las frecuencias.

En este análisis también se pudo determinar la riqueza de especies, para el caso de aves se obtuvieron un total de 141 especies identificadas en zonas perturbadas y 232 en zonas de control, lo que evidentemente señala que hay una significativa diferencia en la cantidad de especies entre ambos tratamientos.

2.2.1.3 Evaluación de mercurio

El objetivo de estos análisis es conocer la dinámica del mercurio antes y después de realizados los trabajos de restauración ecológica en las áreas degradadas por minería, poder determinar dónde están las mayores concentraciones y observar las variaciones de estas concentraciones en las categorías de degradación al término de los trabajos de restauración.

Se realizaron análisis de mercurio en las muestras de suelo tomadas para los estudios de caracterización y fertilidad con el fin de conocer los niveles de mercurio a nivel de categorías de degradación (montículos de cascajo, suelo desnudo, regeneración natural y zona inundable).

Foto 5: Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA), equipo DMA-80. Fuente: Archivo CINCIA, 2017.



Para el análisis de mercurio se sigue el siguiente protocolo: i) Separación de 10 gr de la muestra de suelo para ser destinada al Laboratorio de Análisis de Mercurio y de Química Ambiental (LAMQA); ii) Determinación gravimétrica de la concentración de humedad de la muestra a través de peso antes y después de ser secada; iii) Se congela la muestra para evitar cambios en la concentración de mercurio

por las altas temperaturas o radiación solar. Para la conservación de la muestra se utiliza el equipo Liofilizador L101 LIOTOP; iv) Medición de la concentración de mercurio con el equipo Milestone DMA – 80 (Direct Mercury Analyzer).

Tabla 3: Concentración promedio de mercurio por categoría de degradación. Fuente: Van Der Smisen, 2018.

Clases	Nº	Valor alfa = 0.05			Concentración media Hg (ppm)
		1	2	3	
Suelo desnudo	1 2	-1,9830			0,0104
Regeneración Natural	4		-1,5178		0,0304
Montículos de cascajo	1 2		1,5098		0,0309
Bosque de referencia	2 7			-1,0686	0,0854

Se tienen planificados algunas evaluaciones adicionales con respecto a las concentraciones de mercurio en las especies plantadas en las parcelas de investigación.

2.2.1.4 Evaluación hidrobiológica

La evaluación hidrobiológica busca generar información científica sobre abundancia y diversidad de las comunidades acuáticas en los cuerpos de agua abandonados producto de la actividad minera (CINCIA, 2018b). Estos cuerpos de agua se consolidan conforme pasa el tiempo formando nuevos ecosistemas en el paisaje afectado previamente por la minería aurífera aluvial, dependiendo de su ubicación generan procesos ecológicos que pueden influenciar positivamente la recuperación de las áreas degradadas.

Foto 6: Muestras para evaluación hidrobiológica del área degradada. Fuente: WWF Perú, 2017



Los criterios para la sección de pozas son su antigüedad y la influencia de ríos o quebradas. Se consideran una serie de parámetros ambientales (temperatura del agua, pH, conductividad, oxígeno disuelto, profundidad y transparencia), características del ecosistema ribereño (porcentaje de árboles y gramíneas en las riberas, raíces sumergidas en las riberas y hojarasca) y el tipo de sustrato (limos, arenas, aglomerados y rocas). Junto con estos parámetros se consideran las variables de riqueza y abundancia de peces, fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados.

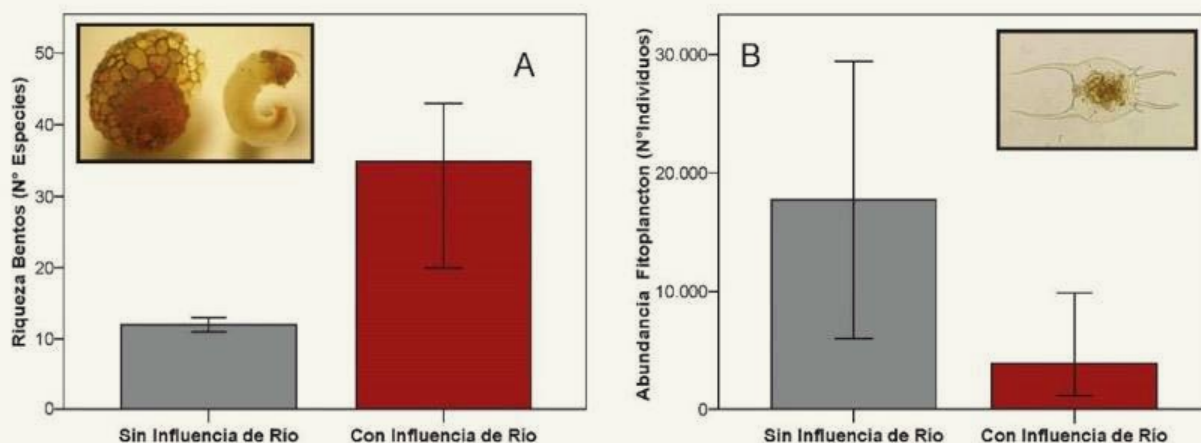


Gráfico 6: Resultados del análisis hidrobiológico en pozas con y sin influencia de cursos de agua. Fuente: CINCIA, 2018b.

Llevar a cabo un estudio hidrobiológico es importante para determinar la biodiversidad de estos nuevos ecosistemas acuáticos generados por la actividad minera y las fuertes lluvias. Cabe señalar que de las evaluaciones preliminares se ha podido detectar especies de peces como: *Cichlasoma boliviense* (bujurqui), *Astyanax bimaculatus* (sardina), *Ctenopoma hauxwellianus* (sardina o mojarrita) y *Hoplias malabaricus* (huasaco). Además de ser zonas para descanso de aves migratorias.

De los estudios hidrobiológicos realizados a la fecha se han determinado que el nivel de biodiversidad y abundancia de las pozas mineras está directamente relacionado con su cercanía a cursos de agua. Así mismo con la antigüedad de las mismas, la regeneración de peces puede llegar a niveles similares en zonas sin actividad minera (CINCIA, 2018b).

Estos nuevos ecosistemas acuáticos son parte del nuevo paisaje generado por la minería aurífera aluvial, por lo tanto, conocer sus condiciones bióticas y abióticas es de suma importancia para la determinación de diseños de restauración ecológica en áreas degradadas por minería, dependiendo de los objetivos, ubicación, actividades desarrolladas, entre otros factores, de los trabajos de restauración que se realicen.

2.2.2 Caracterización de áreas degradadas con drones

Los estudios de caracterización con DRONES se establecen por la experiencia previa de su responsable científico, el biólogo Miles Silman del Centro de Energía, Ambiente y Sostenibilidad (CEES Center for Energy, Environment and Sustainability) de la universidad Wake Forest, en trabajos de evaluación de estructura y biomasa del bosque amazónico usando aeronaves pilotadas a distancia (RPA Remotely Piloted Aircraft).

En su artículo científico sobre determinación de carbono forestal y estructura del bosque amazónico (Messinger et al, 2016) utilizaron vehículos aéreos no tripulados para estimar estos indicadores y comparar su efectividad y exactitud

con métodos convencionales como vuelos tripulados con el sistema LiDAR (Light Detection and Ranging) o evaluaciones en campo con brigadas de equipos técnicos distribuidos en parcelas de muestreo. Este estudio se realizó en la estación “Los Amigos” ubicado en el río Madre de Dios en el año 2015 con resultados positivos en cuanto a la precisión de las imágenes obtenidas para la evaluación realizada y el costo beneficio de la tecnología.

En base a esta experiencia y el contexto de las áreas degradadas por minería aurífera aluvial en la región, se aprovechó las facilidades que ofrece la tecnología de drones para realizar sobrevuelos sobre áreas de interés para ser restauradas y así obtener una colección de



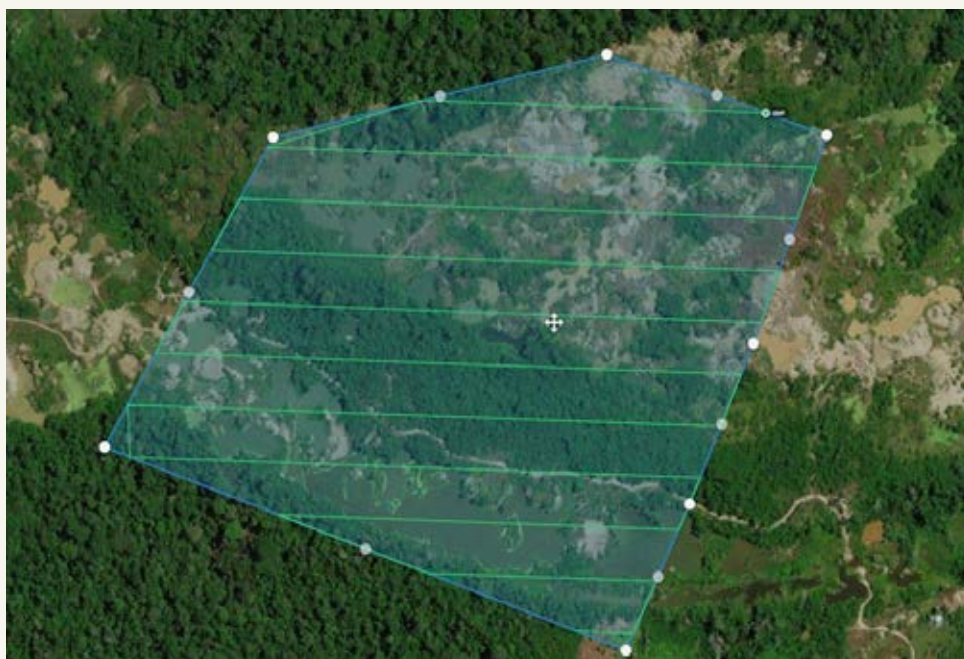
Foto 7: Manejo de un dron en el sitio 01 “Paolita II”.
Fuente CINCIA, 2017.

imágenes de las posibles zonas de interés, además del bajo costo, rápida y buena cobertura y seguridad del personal especialista en el manejo de estos equipos.

Metodología

- Sobrevolar con una aeronave no tripulada el área de interés identificada, previamente gestionada con los propietarios de predio o titulares de la concesión. El sobrevuelo se realiza a través de un plan de vuelo automatizado el cual se programa con el software “DroneDeploy”. Con este software se genera un patrón de grilla con distanciamientos específicos, altura de vuelo, cantidad y resolución de tomas, cuadros por segundo y porcentaje de superposición vertical y horizontal de imágenes, se determina el área que va a cubrir del terreno según las características del equipo a disposición. Esta etapa corresponde a la fase de campo del programa Drones.
- Una vez completada la labor de campo, en gabinete se realiza el procesamiento de imágenes con el software “Agisoft 1.2.6” para generar un ortomosaico del área de interés sobre el cual se realizará la caracterización o micro-

Foto 8: Imagen de planificación de vuelo con el programa DroneDeploy en el sitio 10 CC.NN. San Jacinto. Fuente: CINCIA, 2017.

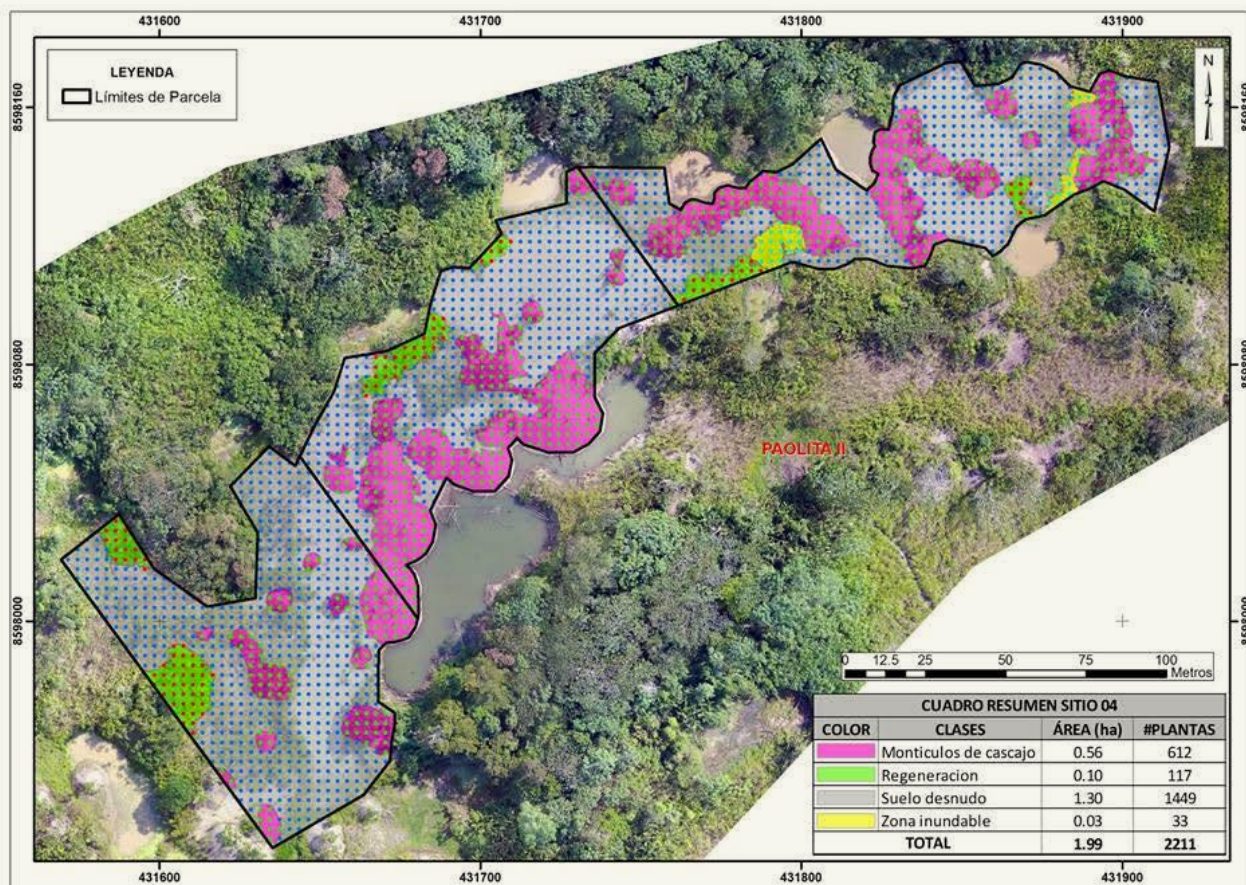


- zonificación de áreas degradadas por minería de acuerdo a las categorías de degradación establecidas por el equipo técnico de reforestación.
- El proceso de caracterización del área sobrevolada se realiza en una serie de pasos denominado “Protocolo para el procesamiento de ortofotos de alta resolución para la microzonificación de áreas degradadas por minería” que incluye la elaboración del ortomosaico mencionado en el punto anterior. Con el software “Ecognition Developer 9.1” se realiza la segmentación del ortomosaico, colecta de muestras de entrenamiento, clasificación supervisada y post-procesamiento para obtener las categorías de degradación definidas en la imagen.
 - Finalmente, con el software “ArcGIS 10.5.1” con el ortomosaico caracterizado se elabora el producto final o mapa final que incluye la delimitación de la zona donde se realizarán los trabajos de campo, esta a su vez subdividida en parcelas experimentales según los tratamientos establecidos, incluyendo la densidad de plantación definida por el equipo técnico.

Es importante mencionar que este mapa o producto final facilita la planificación del trabajo de campo en aspectos como el número de especies y cantidad de individuos a plantar, así como estimar los recursos necesarios que se requerirán para las actividades de reforestación y restauración en cada sitio, logística, accesibilidad y condiciones del terreno.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es la normativa legal vigente y establecida por el estado peruano sobre las condiciones de uso de aeronaves pilotadas a distancia las cuales deben ser operadas por personal certificado por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) de acuerdo a la Ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) (Ley N°30740, 2018) y la Norma Técnica Complementaria NTC 001-2015 DGAC.

Resultados



Mapa 4: Mapa final del sitio 04 "Paolita II" con caracterización y ubicación de plantones. Fuente: CINCIA, 2018

Se han elaborado mapas finales de planificación en 42.5 Ha dentro de concesiones mineras, comunidades nativas, predios agrícolas y al interior de un área natural protegida como la Reserva Nacional Tambopata, distribuidas en 19 sitios, ubicados en los distritos de Laberinto, Tambopata, Inambari y Huepetuhe. Sin embargo, el área cubierta por los sobrevuelos para los trabajos de reforestación es de 1,540 Ha como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4: Vuelos realizados y área cubierta por el equipo SIG del programa Drones. Fuente: CINCIA, 2019.

Nº	Zona de vuelo	Distrito	Área (Ha)	Año
01	C.M. Paolita II	Laberinto	200	2017 – 2018
02	C.M. Anel	Laberinto	150	2017
03	Villa Santiago	Inambari	70	2017
04	Inkaterra	Tambopata	60	2017
05	CC.NN. San Jacinto	Tambopata	250	2017 – 2018
06	Santa Rita	Inambari	150	2017
07	CC.NN. Kotsimba	Inambari	150	2017 – 2018
08	San Lorenzo	Camanti	150	2018
09	Quitari	Camanti	70	2017
10	3 rebeldes	Huepetuhe	250	2018

Nº	Zona de vuelo	Distrito	Área (Ha)	Año
11	Quimiri	Madre de Dios	20	2018
12	Azul R.N. Tambopata	Tambopata	20	2018
TOTAL			1540 Ha	

Se han hecho vuelos de apoyo a otras instituciones, universidades, empresas y al gobierno regional. En la siguiente tabla se muestran los resultados del uso de la tecnología de drones al término del programa en cuanto a superficie cubierta, lugares caracterizados y entidades apoyadas. La siguiente tabla resume el área cubierta por los trabajos de apoyo con drones.

Tabla 5: Vuelos de apoyo a otras instituciones.
Fuente: CINCIA, 2019.

Nº	Zona de vuelo	Distrito	Área (Ha)	Año	Institución	Actividad
01	CC.NN. San Jacinto	Tambopata	70	2018	IIAP	Mapeo de parcelas experimentales de cobertura
02	Cedega	Tambopata	500	2018	GOREMAD	Mapeo de invasores
03	Baltimori	Tambopata	100	2017	Camino Verde	Mapeo de sistemas agroforestales
04	Bajo Madre de Dios	Las Piedras	80	2017	UNAMAD	Mapeo de cuerpos de agua
05	CC.NN. San Jacinto	Tambopata	60	2017	SERFOR	Mapeo de parcela ROAM
06	Masenahua	Madre de Dios	30	2018	R.C. Amarakae-ri	Planificación de fajas de enriquecimiento de castaña
07	Isirihue	Madre de Dios	30	2018	R.C. Amarakae-ri	Planificación de fajas de enriquecimiento de castaña
08	Sarayacu	Inambari	700	2019	INDECI / GOREMAD	Gestión de riesgos, descolmatación del río Inambari
TOTAL			1570 Ha			

También se han realizado capacitaciones sobre el uso de drones, en mayo del 2017 en el marco del XV aniversario de la creación de la Reserva Comunal Amarakae-ri se realizó el curso denominado “Manejo básico en el uso del Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia – Drones” dirigido a guardaparques y vigilantes comunales de la RCA y de manera permanente a los gobierno locales.

Foto 9: Capacitación al equipo técnico de la Municipalidad Distrital de Inambari. Fuente: WWF Perú, 2018.



2.2.3 Producción y uso de biocarbón

Una de las principales consecuencias de la minería aurífera aluvial es la degradación del suelo, pudiendo alterar sus características físicas y químicas dejándolo completamente inerte para sostener la recuperación de la cobertura arbórea a través de la regeneración natural una vez concluida la actividad minera. Como consecuencia de esto se puede observar zonas desérticas de considerable tamaño en lugares tan diversos como la selva amazónica de Madre de Dios.

Foto 10: Biocarbon de residuos de cascara de castaña. Fuente: WWF Perú, 2018.



En este contexto y para tener mayores probabilidades de éxito en condiciones tan difíciles, se determinó incluir la calidad del suelo como una variable para la implementación del programa aplicando una enmienda natural de bajo costo y de fácil producción, el biocarbón de cáscara de castaña.

6 <https://cinciaperu.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=aaco296fd-c49440485aaedcafb2ddfbf>

El biocarbón es cualquier tipo materia orgánica carbonizada que va a ser usada como enmienda del suelo para mejorar su fertilidad (CINCIA, 2018c). Actualmente existen varios estudios del biocarbón como enmienda, la materia prima usada y sus propiedades, algunas de ellas son el secuestro de carbono orgánico y la disminución de la biodisponibilidad de metales pesados en el suelo.

Existen muchas formas y tecnologías para producir el biocarbón sin embargo todas parten de un principio único que es la combustión de cualquier tipo de biomasa seca en altas temperaturas con un flujo mínimo de oxígeno, este proceso se denomina pirólisis (CINCIA, 2019b).

Tecnologías para la producción de biocarbón

Pirolizador de flujo continuo

Es un sistema industrial que requiere de energía eléctrica para su funcionamiento y se maneja desde un tablero de control. Cuenta con tres áreas principales: el alimentador que es la zona por donde ingresa la biomasa, la cámara principal donde se ocurre el proceso de pirólisis y la salida de biocarbón.

El proceso inicia con el ingreso de la primera cantidad de biomasa la cual se enciende con gas propano, de esta forma se libera gas de síntesis y aumenta la temperatura en la cámara principal. Cuando esta temperatura alcanza los 350°C, se enciende el sistema de ventilación inyectando oxígeno a la cámara principal, de esta forma reacciona con el gas de síntesis y el calor, elevando aún más la temperatura. Cuando la temperatura aumenta hasta los 500°C en la cámara principal, todo el material vegetal que ingresa comienza a ser pirolizada. La temperatura de la cámara puede ser regulada a través de un tornillo sin fin que se encuentra al interior, cuya velocidad de giro puede aumentar y/o disminuir, así mismo el ingreso de aire se debe controlar a medida que aumenta la temperatura, de esta forma se controla el rendimiento de la máquina para un buen control de la productividad (CINCIA, 2018c).

Foto 11: Equipo industrial, pirolizador de flujo continuo. Fuente: Archivo CINCIA, 2018.



Pirolizador “TLUD (Top-Lit Up-Draft)”

Es el sistema más simple o artesanal aplicado y usado nivel mundial, consiste en un cilindro con orificios en la base, cargado de biomasa de volumen medio (cáscara de castaña), abierto en la parte superior con una tapa hueca al centro, donde se hace un pequeño fuego con material orgánico el cual también está cubierto por una chimenea como se aprecia en la foto 9 (CINCIA, 2019b).

El principio es el siguiente: la entrada de aire primario (parte inferior del cilindro) sirve para atraer el frente de calor de la parte superior (Top-Lit). El calor de la parte superior debe restringirse lo más posible para evitar la generación de una llama, por consiguiente, la transformación de carbón a cenizas (pirólisis).

La entrada de aire primario (orificios en la base del cilindro) sirve para atraer el frente de calor en la parte superior de tal forma que va dejando el material pirolizado conforme va descendiendo, al mismo tiempo el aire primario y los gases producidos por la pirólisis (gas de síntesis) van ascendiendo (Up-Draft).

Los orificios de ventilación secundarios ubicados en la parte superior del cilindro permiten que el aire se mezcle con el gas de síntesis en la chimenea en condiciones de turbulencia formándose una llama sin emisiones, cuando esta llama se consume indica que el proceso de pirolización ha terminado y el lote de biocarbón está listo (CINCIA, 2018c).

Foto 12: Equipo artesanal, batería de cilindros TLUD (Top-Lit Up-Draft). Fuente: Archivo CINCIA, 2018.



Pirolizador “Kon Tiki”

El pirolizador semi industrial “Kon Tiki” consiste en un cono truncado con un soporte de metal giratorio y una salida de agua en la parte de la cabeza, la cual es cerrada y corresponde a la parte baja del sistema. La base de cono o lado más amplio es abierta y es por donde se ingresa la materia prima para ser pirolizada. La foto 10 muestra de forma clara las partes de pirolizador “Kon Tiki”

Este pirolizador se utiliza principalmente para producir biocarbón con biomasa de volumen grande como coco de castaña, coco de cacao o copoazu. El funcionamien-

to consiste en iniciar una llama al fondo del cono y agregar la primera capa de biomasa. Cuando se observe un revestimiento de ceniza en la parte superior se agrega la segunda capa. De esta forma se continúa hasta llegar a la parte superior del sistema que corresponde a la base del cono.

Con el pirolizador completo se cubre el biocarbón con suelo o se rocía con agua para reducir que se enfríe y se abre la salida de agua. El soporte giratorio facilita la descarga del biocarbón una vez enfriado.

El principio consiste en que con cada capa ingresada al sistema se evita que el oxígeno llegue a las capas inferiores del sistema evitando la formación de llama manteniendo la pirólisis. La forma y ángulo de las paredes del cono permiten una quema completa y mínima generación de humo.

Foto 13: Sistema semi industrial tipo Kon Tiki.
Fuente: CINCIA, 2018.



De los 3 equipos probados, el pirolizador industrial de flujo continuo y los cilindros TLUD fueron empleados produciendo un biocarbón de alta calidad según los estándares de calidad de EUROFINS UMWELT en cuya acreditación de código D-PL-14081-01-00 de autoriza el Certificado Europeo de Biocarbón (EBC por sus siglas en inglés). En el siguiente cuadro se muestran los resultados del análisis de las propiedades del biocarbón producido con los 2 métodos mencionados.

Tabla 6: Propiedades del biocarbón producido por CINCIA. Fuente: "Producción y utilización de biocarbón", nota técnica. CINCIA, 2018.

Parámetro	Unidades	Nivel para "Calidad Premium"	Propiedades para el biocarbón	
			Cilindros TLUD	Pirolizador de flujo continuo
Densidad aparente	Kg/m ³		486	511
H/Corg		<0.7	0.19	0.35
Total PAH (compuestos tóxicos)	mg/Kg	<4	1.5	3.9
Ceniza (550°C)	%	>50	7.8	5.3
Carbono	%		87.7	84
Nitrógeno	%		1.07	1.04
Mercurio	g/Ton		<0.07	<0.07
pH (en CaCl ₂)		<1	9.6	8.9
Conductividad	μS/cm		1980	1300

Usos y aplicación en campo

El biocarbón puede ser usado como enmienda para suelos degradados, su elevada porosidad le permite retener nutrientes y agua como una esponja mejorando las propiedades físicas del suelo, evitando de esta manera que se pierdan en capas inferiores del suelo. (Glaser, B. et al., 2002). Además de estos beneficios el biocarbón tiene una alta alcalinidad elevando el pH de los suelos facilitando la absorción y retención de nutrientes, esta es una característica idónea para

los suelos ácidos de la selva amazónica (Glaser, B. et al., 2002). Está comprobado además que la aplicación de biocarbón en el suelo mejora su actividad microbiana, así como su abundancia y diversidad (Palansooriya, K.N. et al., 2019).



Foto 14: Aplicación de biocarbón en el sitio 08 "Santa Rita". Fuente: CINCIA, 2018.

El biocarbón puede también generar sustancias contaminantes durante su producción que pueden ser adversas para las plantas, la Iniciativa Internacional de Biocarbón (IBI por sus siglas en inglés) recomienda realizar pruebas de germinación y de rechazo por lombrices de acuerdo a su Boletín Técnico #104 para verificar la calidad del biocarbón. En la página web de la IBI se puede descargar el boletín donde se muestra una guía paso a paso de cómo realizar estas pruebas (CINCIA, 2019b)⁷.

⁷ <https://biochar-international.org/ibi-publications/>

Una vez probado y verificado la calidad del biocarbón producido, se determinó establecer 3 tratamientos para la aplicación en campo, un tratamiento con biocarbón puro, otro de biocarbón enriquecido con una mezcla de biol, nutrientes (NPK) y microorganismos eficientes (EM) y uno control sin biocarbón. Estos tratamientos se aplicaron durante las primeras campañas de reforestación que incluyen los sitios 01, 04 y 05 (C.M. Paolita II), 06 (C.M. Anel) y 07 (Villa Santiago). En las últimas campañas, sitios 02 (Pure Earth), 08 (Santa Rita), 10 (CC.NN. San Jacinto), 11, 14 y 15 (CC.NN. Kotzimba), 12 y 13 (C.M. Mercurio) y 16 (Quimiri), se incrementó un cuarto tratamiento que solo incluye la aplicación de fertilizantes sin biocarbón. En los sitios 09 y 19 (Santa Rita) y 03 (Fortumil) no se aplicó enmiendas. La proporción de aplicación es de 1 kg de biocarbón / plantón.

Finalmente se aplica el biocarbón en campo, inicialmente se realizaba en forma de anillo alrededor de la planta como se aprecia en la foto 10, esto se determinó debido a que en las primeras plantaciones no se contaba con la enmienda y se aplicaba el biocarbón con las plantas ya instaladas en el terreno definitivo. Luego, con la tecnología lista para la producción de biocarbón, y el material en campo con los plantones, se aplicó en el mismo hoyo del plantón para un contacto directo con las raíces. No se ha determinado algún cambio en el desarrollo del plantón por la forma de aplicación.

Resultados

Sumando las 42.5 Ha instaladas se han aplicado 23,601 toneladas de biocarbón para 45,829 plantones forestales de 74 diferentes especies con resultados positivos para el tratamiento de biocarbón enriquecido. El total de biocarbón producido en la planta es de 40.5 toneladas, esto incluyendo los plantones del programa y el apoyo a otras instituciones. En el siguiente cuadro se resume la cantidad de biocarbón utilizado por sitio de plantación.

Sitio	Nombre	Tratamiento				Plantones	Biocarbón (kg)
		T1	T2	T3	T4		
01	C.M. Paolita II					1,304	869
02	Pure Earth					2,825	-
03	C.M. Fortumil					1,521	1,521
04	C.M. Paolita II					945	631
05	C.M. Paolita II					2,530	1,691
06	C.M. Anel					938	607
07	P.A. Villa Santiago					903	591
08	P.A. Santa Rita					3,320	1,648
09	P.A. Santa Rita					3,656	1,828
10	CC.NN. San Jacinto					4,772	2,835
11	CC.NN. Kotsimba					6,024	3,012
12	C.M. Mercurio					1,452	726

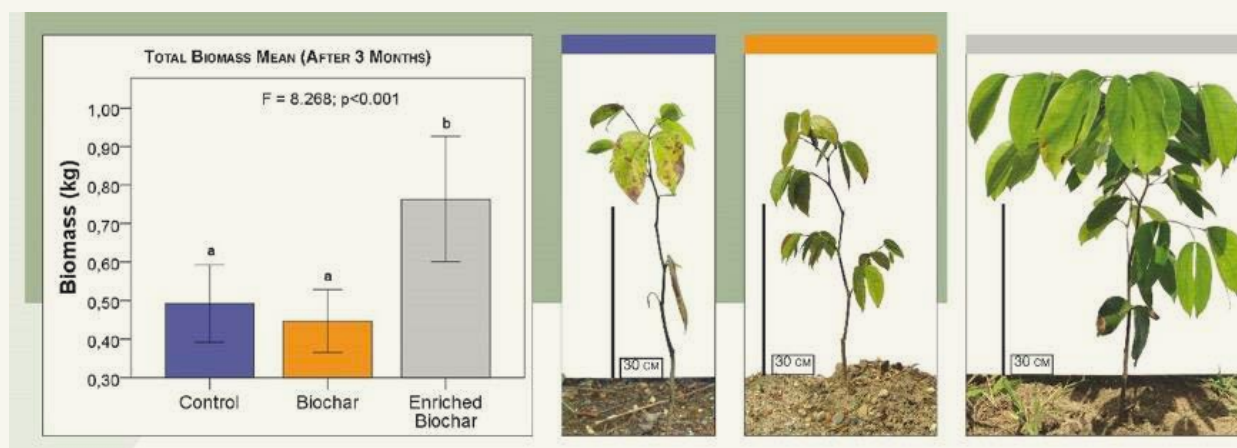
Tabla 7. Kilogramos de biocarbón utilizados por sitio.
Fuente: CINCIA, 2019.

Sitio	Nombre	Tratamiento				Plantones	Biocarbón (kg)
		T1	T2	T3	T4		
13	C.M. Mercurio					1,452	726
14	CC.NN. Kotsimba					782	482
15	CC.NN. Kotsimba					545	397
16	C.C. Quimiri					1,466	735
17	R.N. Tambopata					3,329	-
18	R.N. Tambopata					2,763	-
19	P.A. Santa Rita					5,302	5,302
TOTAL						45,829	23,601

En cuanto a la productividad de los sistemas usados, el pirolizador industrial de flujo continuo operado por una persona puede producir 600 kg de biocarbón / día, el sistema TLUD operado por 2 personas y una batería de 6 cilindros puede producir 900 kg de biocarbón / día (CINCIA, 2018). El “Kon Tiki” tiene una productividad de 400 kg / día aproximadamente. Se realizaron pruebas con varios tipos de biomasa como cáscara de castaña y aserrín para el pirolizador industrial, cocos de cacao, copoazu y castaña con el “Kon Tiki” y cáscara de castaña, aserrín y restos de podas para el TLUD. El material más aprovechado es la cáscara de castaña con el sistema artesanal TLUD.

Se han desarrollado algunos estudios específicos con el biocarbón. En el año 2017, se tomaron muestras de especies del sitio “Paolita II”, se realizó el cálculo de biomasa por especie usando la fórmula: biomasa = área basal × altura × densidad de la madera. Se obtuvieron resultados positivos para el tratamiento biocarbón enriquecido en todas las especies que fueron evaluadas. A nivel de especies “Azucar huayo” *Hymenaea coubaril*, fue una de las que mejores resultados mostró como se aprecia en la siguiente gráfica.

Gráfica 7: Resultados del estudio para el cálculo de biomasa, la especie *Hymenaea coubaril* mostró una diferencia considerable con el biocarbón enriquecido⁸.
Fuente: CINCIA, 2017.



⁸ <http://cincia.wfu.edu/publicaciones/biochar-potential-as-a-soil-enhancer-for-forest-restoration-in-areas-degraded-by-gold-mining-in-the-peruvian-amazon/>

El 11 de agosto del 2019 se publicó en la revista *Forests* el estudio sobre el “Efecto de biocarbón en dos especies forestales tropicales y su potencial como herramienta de reforestación”. Las especies evaluadas fueron *Guazuma crinita* “Bolaina” y *Terminalia amazonia* “Tacho”. El estudio concluye que la aplicación de cantidades bajas de biocarbón puro resulta en altas tasas de supervivencia, sin embargo, el biocarbón enriquecido tiene mejores resultados en el desarrollo de las plántulas, específicamente en las especies de sucesión temprana como *Guazuma crinita* (Lefebvre, D. et al., 2019).

2.2.4 Vivero forestal

Para la implementación de este componente se realizó un estudio de diagnóstico de la capacidad productiva de plantones en Madre de Dios con el fin de conocer la oferta de material vegetal en el departamento y estimar costos para la implementación de una infraestructura nueva o potenciamiento de facilidades locales para la obtención de plantones. Se identificaron 23 viveros forestales distribuidos en 8 distritos en Madre de Dios y 1 en Camanti, con una capacidad máxima de producción de hasta 80,000 plantones y con una variedad de 93 especies (69 nativas y 24 exóticas) sumando todos los viveros (CINCIA, 2016).

Foto 15: Inauguración del vivero tecnificado con el alcalde de la Municipalidad Distrital de Inambari, la Representante de WWF y el Director Ejecutivo de CINCIA. Fuente: Archivo CINCIA, 2017



Tipos de viveros forestales

Un vivero forestal es una instalación cuyo principal objetivo es la producción y preparación de plantones forestales para su traslado a campo definitivo, existen varias clases de viveros forestales, estos se clasifican según su tamaño y capacidad productiva (pequeños, medianos y grandes), el tipo de especies que van a producir, si son comunales, familiares, industriales, entre otros, todos estos tipos se pueden dividir en 2 formas generales, viveros temporales y permanentes (IIAP, 2014).

El proyecto cuenta con un vivero permanente de alta tecnología para siembra directa en tubetes con un sistema de riego por aspersión, que cuenta con un área de germinación, sombra, espera o crecimiento y siembra, almacén de equipos materiales, oficinas, caseta de riego y pozo tubular (SERFOR S.R.L., 2017; CINCIA, 2017).

Foto 16: Vivero municipal tecnificado ubicado en la ciudad de Mazuko. Fuente: Archivo CINCIA, 2018.



Producción de plantas

Para las primeras campañas de reforestación, en el año 2016, no se contaba con el vivero forestal por ende se realizó un trabajo de identificación de viveros forestales en la región para proveer plántones al proyecto, el principal aliado para la entrega de plántones forestales fue el vivero “Camino Verde”. El siguiente cuadro resume los viveros identificados en la región, con su ubicación, representantes y especies forestales producidas.

Tabla 8: Listado de viveros forestales en el departamento de Madre de Dios. Fuente: CINCIA, 2016.

Nº	Distrito	Tipo de organización / institución	Nombre	COORDENADAS Este	COORDENADAS Norte
1	Iñapari	Institución Pública	Vivero Municipal de Iñapari	437097	8789846
2	Iberia	IIAP	Vivero María Cristina	447804	8738512
3		Empresa privada	Vivero INFOSUR - RAMZA	437099	8789847
4	Las Piedras	UNAMAD	Vivero El Bosque	484942	8622381
5		Persona natural	Vivero Biodiversity	481357	8609106

Nº	Distrito	Tipo de organización / institución	Nombre	COORDENADAS Este	COORDENADAS Norte
6	Tambopata	Persona natural	Vivero La Semillita	478307	8610784
7		Empresa privada	Vivero Sil Service Solution		
8		Empresa privada	Vivero Ecocentro	477641	8611798
9		Persona natural	Vivero Satipo Chanchamayo	477766	8607006
10	La Joya	IIAP	Vivero El Castañal	458696	8597591
11		Persona natural	La Joya – Camino Verde	476832	8603340
12		Persona natural	Vivero Flores	474723	8607489
13		INIA	Vivero INIA – San Bernardo	458696	8597591
14		Persona natural	Vivero Nadine	471597	8603945
15		Persona natural	Vivero Tambopata	451182	8592058
16		Persona natural	Vivero Camino Verde	451625	8581352
17	Inambari	Institución pública	Vivero agroforestal municipal	351259	8551537
18		Persona natural	Vivero CCNN Azaraire	353842	8560938
19		Persona natural	Vivero Gardelias	354136	8561865
20		Cooperativa	Vivero Agrobosque	369771	8571898
21	Huepetuhe	Institución pública	Vivero Agroforestal Huepetuhe	336431	8566608
22	MDD	Institución pública	Vivero Paujil	348291	8597787
23	Camanti	Comunidad campesina	Vivero comunal Huácyumbre	319077	8540314

La producción de plántones requiere de un especialista con experiencia en el manejo y labores de viveros de alta tecnología cuyo proceso se describe a continuación:

- Preparación de sustrato formado por una mezcla de tierra agrícola (20%), aserrín (50%) y musgo (30%), se requiere 2 personas de apoyo.
- Con el sustrato preparado se procede al llenado de tubetes.
- Siembra directa o repique en los tubetes. Para el caso de semillas se realizan tratamientos pre germinativos dependiendo de la especie.
- Con los plántones en tubetes, su preparación para campo definitivo requiere de un periodo de tiempo de 5 meses.
- Los primeros 2 meses de la campaña son para la germinación, reciben un riego semanal, fertilización manual semanal con fósforo (P) para un buen desarrollo radicular y un tinglado de 80% de cobertura.
- Los siguientes 3 meses son para la rusticación, el tinglado es cambiado a una malla de 50%, los riegos son diarios y fertilización con NPK.
- Culminado el proceso las plantas están listas para su traslado a campo.

Durante la implementación del proyecto se han realizado tres campañas de producción de plántones, la primera campaña en junio del 2017, la segunda campaña en julio del 2018 y la tercera campaña en agosto del 2019.

El sistema de riego tecnificado por aspersión o nebulización tiene una capacidad de bombeo de 2 l/s, para su correcto abastecimiento se han ubicado 2 tanques elevados con capacidad de almacenamiento de 5000 l de agua. Además de esto cuenta con un sistema de fertirriego incorporado al sistema, todo este equipo se encuentra dentro de la caseta de riego tecnificado desde donde se programan los riegos en los túneles (SERFOR S.R.L., 2017).

Resultados

Se han producido un total de 36,784 plántones de 32 especies forestales en dos campañas de producción. En agosto del 2019 se inició la producción de la 3era campaña, se estima contar con 20,000 plántones de 17 especies diferentes entre forestales, palmeras y bambú.

El siguiente cuadro muestra la cantidad de plántones producidos por especie en el vivero según su uso, crecimiento y origen.

Especies de valor económico	#	Especies de valor ecológico	#
<i>Parkia</i> sp. "Pashaco"	7,316	<i>Psidium guajava</i> "Guayaba"	2,646
<i>Columbrina glandulosa</i> "Shaina"	3,810	<i>Bixa orellana</i> "Achiote"	1,998
<i>Eucalyptus urograndis</i> "Eucalip-to"	2,322	<i>Croton lechleri</i> "Sangre de grado"	1,458
<i>Guazuma crinita</i> "Bolina blanca"	1,620	<i>Theobroma grandiflora</i> "Copoazú"	1,080
<i>Apeiba</i> sp. "Peine de mono"	1,512	<i>Artocarpus altilis</i> "Pan de árbol"	810
<i>Ficus insipida</i> "Ojé"	1,404	<i>Anacardium occidentale</i> "Marañón"	800
<i>Guazuma ulmifolia</i> "Bolina negra"	1,080	<i>Theobroma cacao</i> "Cacao"	702
<i>Cedrela odorata</i> "Cedro"	970	<i>Guadua angustifolia</i> "Bambú"	600
<i>Cedrelinga catenaeformis</i> "Tor-nillo"	970	<i>Theobroma grandiflorum</i> "Copoazú"	480
<i>Swietenia macrophylla</i> "Caoba"	910	<i>Mauritia flexuosa</i> "Aguaje"	412
<i>Enterolobium</i> sp. "Pashaco"	756	<i>Myrciaria dubia</i> "Camu camu"	378
<i>Parkia</i> sp. "Pashaco negro"	648	<i>Moringa oleífera</i> "Moringa"	270
<i>Pinus caribea</i> "Pino"	432	<i>Acacia lorentensis</i> "Pashaquillo"	105
<i>Ormosia coccinea</i> "Huayruro"	378		
<i>Callycophyllum spruceanum</i> "Capirona"	270		

Tabla 9: Especies producidas en el vivero forestal.
Fuente: CINCIA, 2017.

Especies de valor económico	#	Especies de valor ecológico	#
<i>Ficus insipida</i> “Ojé”	161		
<i>Cecropia</i> sp. “Cetico”	270		
<i>Paubrasilia echinata</i> “Palo Brasil”	108		
<i>Hymenaea oblongifolia</i> “Azúcar huayo”	108		
TOTAL	25,045		11,739

2.2.5 Plantaciones de reforestación y restauración ecológica

Para la determinación de los sitios donde se establecieron las parcelas experimentales se emplearon diversas estrategias, como presentaciones en instituciones públicas, talleres en universidades,

comunidades nativas, centros poblados, firma de convenios como en el caso de la municipalidad distrital de Inambari, e inclusive, el éxito de las plantaciones instaladas despertó la atención de personas interesadas en el proyecto y sus beneficios, facilitando un área dentro de la concesión, predio agrícola, CC.NN. o área natural protegida para los trabajos de campo del equipo técnico.

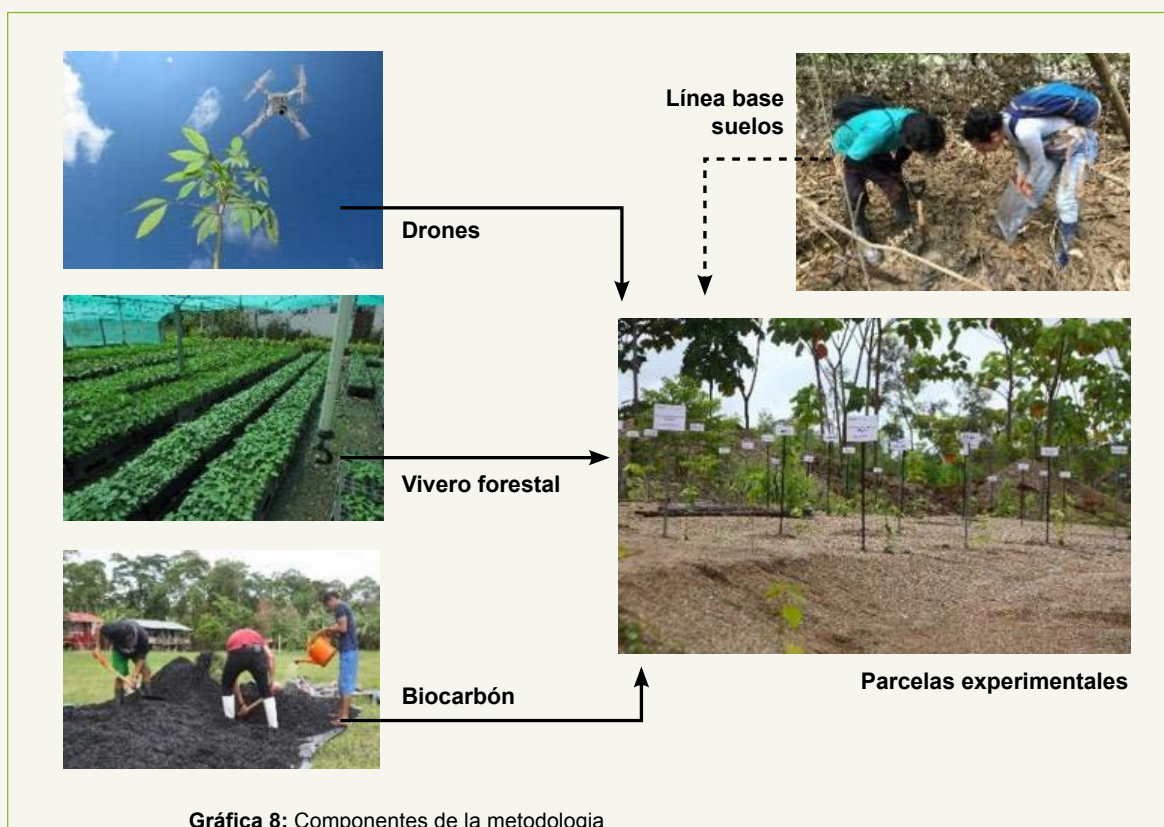
Uno de estos casos, en donde el concesionario minero es el interesado en restaurar los bosques producto de la actividad minera es el del Sr. Pedro Infantes, concesionario minero quien ha venido trabajando con el programa desde el inicio, demostrando compromiso por mejorar sus prácticas ambientales. Actualmente ya ha formalizado las operaciones de su mina, y es uno de los pocos mineros que cuenta con un piloto de cierre de minas dentro de su concesión, gracias al apoyo técnico del programa. Así mismo utiliza una mesa vibradora como alternativa al uso de mercurio. Se pudiera decir que es un modelo de cómo realizar la minería aluvial en Madre de Dios.

Foto 17: Reforestación en la comunidad nativa de Kotzimba. Fuente: CINCIA, 2018.



Planificación del trabajo de campo

En este punto los componentes mencionados en los puntos anteriores (drones, biocarbón y vivero forestal) convergen para implementarse las parcelas experimentales en los sitios caracterizados. Estos componentes deben estar articulados de tal forma que se tengan listos los mapas de planificación del trabajo de campo por el equipo SIG, se cuente con la cantidad necesaria de biocarbón para las plantaciones y los plantones listos para su traslado a terreno definitivo.



Gráfica 8: Componentes de la metodología CINCIA para reforestación resumido en fotografías. Fuente: CINCIA, 2019.

Para el trabajo de campo se requiere en promedio un grupo de 12 personas para las labores de traslado de materiales, plantones y biocarbón, preparación de hoyos y enriquecimiento de biocarbón y finalmente para la plantación. La logística de campo (personal, alimentación y hospedaje) la determina el sitio por las distancias recorridas, el área que se va a trabajar y las facilidades de acceso a las parcelas experimentales.

Esta actividad al ser un trabajo de corte científico y experimental requiere una distribución representativa de sitios, como indica su objetivo, “a lo largo de un gradiente ecológico y socioeconómico que abarque la selva de Madre de Dios y Cusco”⁹, esta condición, con la logística de campo cambiante y los componentes drones, biocarbón y vivero forestal, necesarios para su planificación e implementación, hacen que

⁹ <http://cincia.wfu.edu/investigacion/#section-reforestacion>

las plantaciones de reforestación y restauración ecológica sean un punto crítico de trabajo dinámico y complejo para su ejecución y de suma importancia para alcanzar las metas propuestas.

Foto 18: Traslado de plantones forestales a campo.
Fuente: Archivo CINCIA, 2017.



Metodología para la instalación de parcelas experimentales

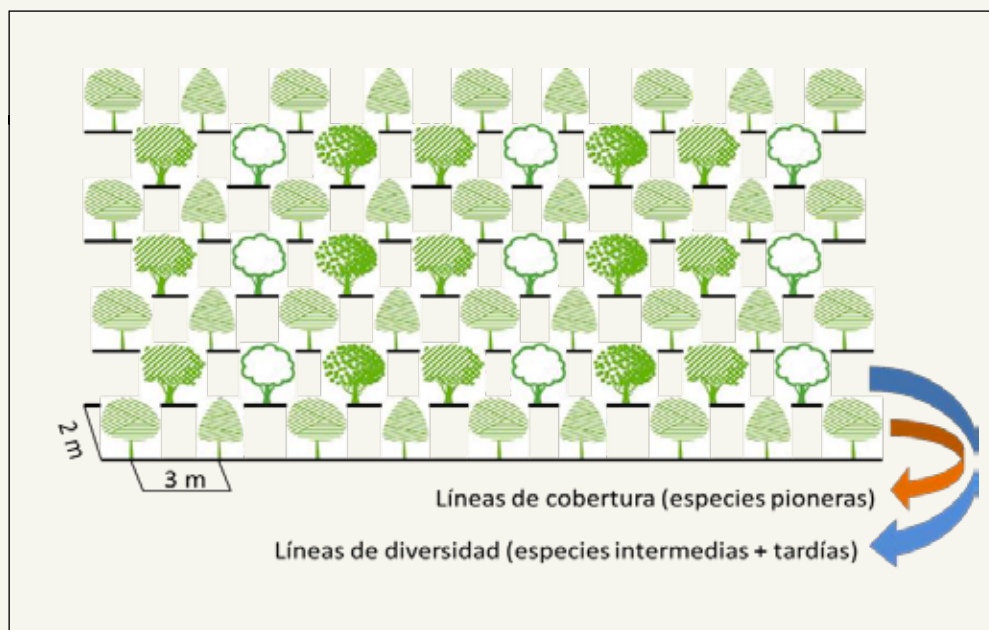
Los trabajos de campo en los distintos sitios caracterizados consisten en su mayoría, en plantaciones forestales en macizo, con 30 especies forestales en promedio por parcela experimental, con una densidad de plantación de 3 x 3 metros o 1100 individuos / Ha. Las especies son seleccionadas según su importancia en aspectos como valor ecológico, económico, rápido crecimiento, generación de biomasa, capacidad de enriquecimiento del suelo, entre otros.

Para la selección de especies se tomó como referencia experiencias de plantaciones forestales y agroforestales instaladas en el departamento de Madre de Dios de las cuales se obtuvo una lista de 51 especies entre forestales y agrícolas.

Los sitios caracterizados para realizar las plantaciones se subdividen a su vez en parcelas experimentales, las cuales se diferencian por los tratamientos que reciben los plantones en terreno definitivo, inicialmente los tratamientos eran 3, pero en la marcha del proyecto se optó por implementar un cuarto tratamiento: biocarbón puro, biocarbón enriquecido con biol, NPK y EM (microorganismos eficientes), control y solo fertilizantes (biol, NPK, EM).

Dentro del grupo de sitios caracterizados para plantaciones se tiene 02 tipos en particular en donde se han implementado plantaciones forestales bajo un modelo de restauración ecológica particular denominado “líneas de cobertura y líneas de diversidad”, tomado de la experiencia en Brasil de Rodrigues et al, 2009. La siguiente gráfica describe este modelo de restauración.

Gráfica 9: Modelo de restauración ecológica “Líneas de cobertura y líneas de diversidad”.
Fuente: Rodríguez et al, 2009.



En el sitio ubicado dentro de la Concesión Minera “Fortumil” se implementó este modelo de restauración ecológica con una modificación en su distribución, con 2 líneas de cobertura y 1 líneas de diversidad, esto con el objeto de mejorar de forma más rápida las condiciones del sotobosque y dar mejores condiciones a la regeneración natural del bosque, esto también por las condiciones de degradación del suelo.

Los sitios que tienen estos modelos de restauración ecológica se han implementado en alianza con la organización Pure Earth, quienes mostraron interés en la metodología de restauración de áreas degradadas por minería implementada en el proyecto.

Foto 19: Reforestación en el sector de Inambari.
Fuente: WWF Perú, 2018.



Resultados

Se han logrado instalar 42.5 Ha de parcelas experimentales en 4 distritos de la región Madre de Dios, Laberinto, Tambopata, Inambari y Huepetuhe, y 140 hectáreas promovidas a través de los gobiernos locales que corresponden a áreas degradadas por minería aurífera aluvial en concesiones mineras, comunidades nativas, predios agrícolas y un área natural protegida. El siguiente mapa de distribución se muestra la ubicación de los 19 sitios con parcelas instaladas con sus respectivas coordenadas de referencia, se puede observar la distribución de estos sitios en el corredor minero de la región.



Mapa 5: Distribución de sitios del Programa de reforestación y restauración de áreas degradadas por minería. Fuente: CINCIA, 2019.

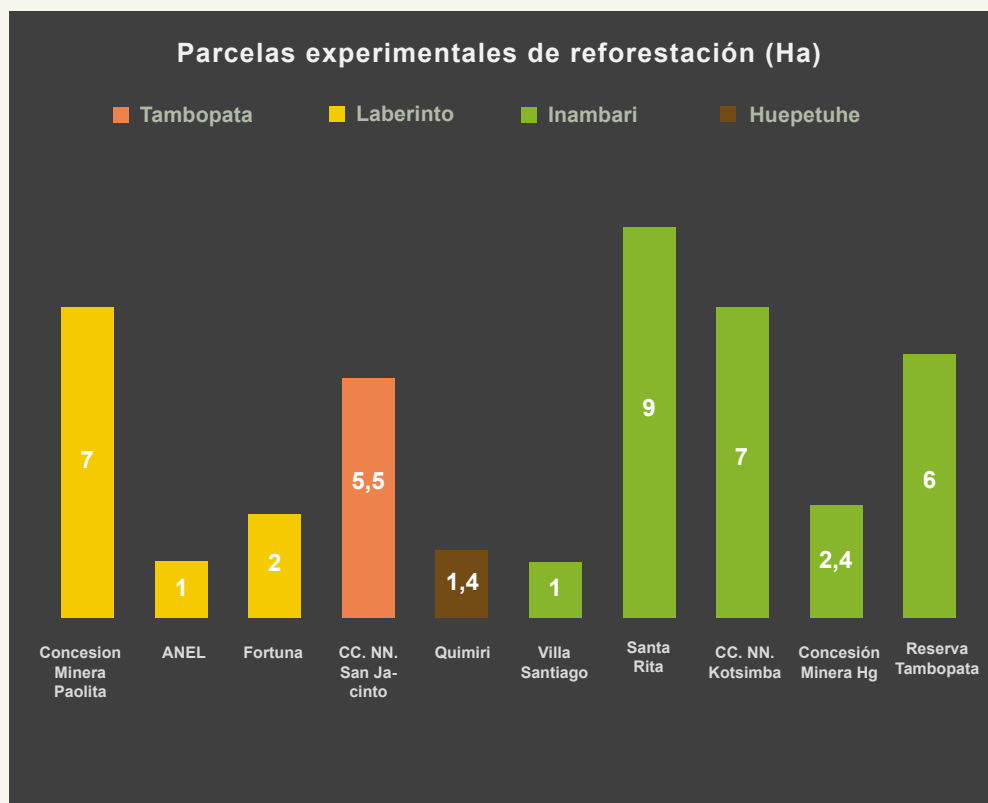
Para la implementación de los 19 sitios se han utilizado un total de 74 especies forestales, de las cuales el 85% son especies nativas y el 15% exóticas. Estas especies también se han clasificado según su valor económico y ecológico. El total de individuos plantados en los 19 sitios es de 45,829 plantones forestales.

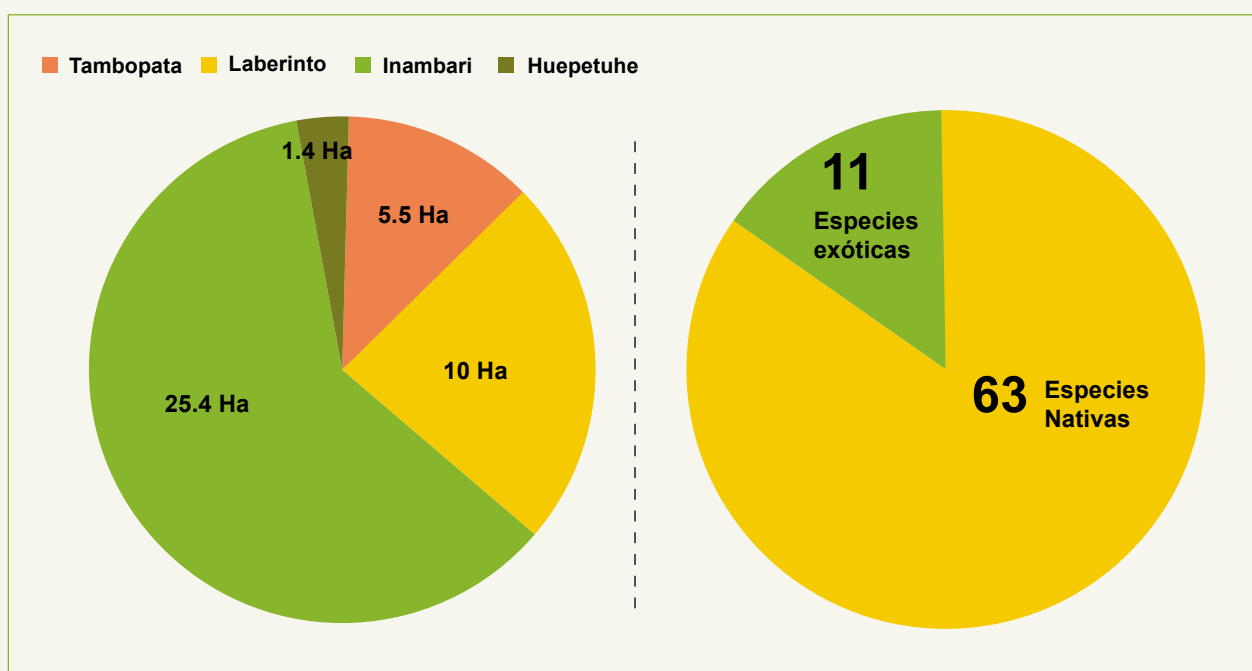
La base de datos siguiente muestra los sitios según su ubicación, beneficiario y cantidad de especies plantados.

Tabla 10: Sitios, ubicación y beneficiarios de las plantaciones del PRRADM.
Fuente: CINCIA, 2019

Sitio	Ubicación	Beneficiario	Área (Ha)	Especies
01	C.M. Paolita II	Sr. Pedro Ynfantes	1.5	30
02	C.M. Paolita II	Pure Earth	2.5	6
03	C.M. Fortumil	Asoc. Fortumil	1.0	12
04	C.M. Paolita II	Sr. Pedro Ynfantes	1.0	30
05	C.M. Paolita II	Sr. Pedro Ynfantes	3.0	30
06	C.M. Anel	Sr. Policarpio Monzón	1.0	29
07	P.A. Villa Santiago	Sr. José Flores	1.0	30
08	P.A. Santa Rita	Sr. Juan Velásquez	2.9	28
09	P.A. Santa Rita	Sr. Juan Velásquez	3.6	28
10	CC.NN. San Jacinto	CC.NN. San Jacinto	4.7	29
11	CC.NN. Kotsimba	CC.NN. Kotsimba	5.5	29
12	C.M. Mercurio	Sr. A. Montesinos	1.2	33
13	C.M. Mercurio	Sr. A. Montesinos	1.2	33
14	CC.NN. Kotsimba	CC.NN. Kotsimba	1.6	34
15	CC.NN. Kotsimba	CC.NN. Kotsimba	1.6	34
16	C.C. Quimiri	C.C. Quimiri	1.5	30
17	R.N. Tambopata	P.C.V. Azul	3.0	14
18	R.N. Tambopata	P.C.V. Azul	2.5	14
19	P.A. Santa Rita	Sr. Juan Velásquez	2.2	28
TOTAL			42.5	74

Gráfica 10: Sectores donde se instalaron las parcelas experimentales.
Fuente: CINCIA, 2019.





Gráfica 11: Hectáreas plantadas por distrito y especies utilizadas según su origen. Fuente: CINCIA, 2019.

En las siguientes páginas se muestra información específica solo de los sitios 01, 02, 11, 17 y 19 por su representatividad en relación al tipo de diseño empleado, densidad, tipo de actividad minera y tratamientos.

SITIO 1 CONCESIÓN MINERA “PAOLITA II”

PLANTACIÓN

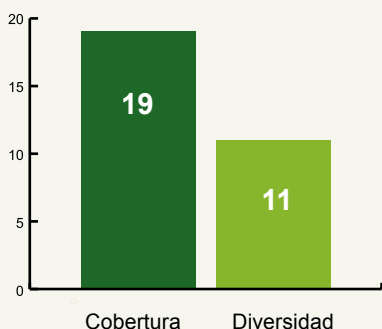
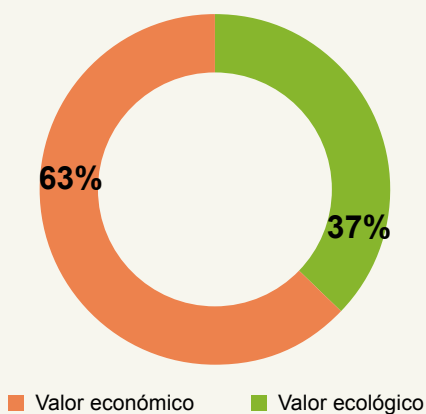
- Plantación en macizo con 30 especies / 1,304 individuos.
- Densidad 3 x 3.
- Instalación en diciembre – 2016.
- Tipo de extracción minera: bombas de succión.

TRATAMIENTOS

T1: Control

T2: Biocarbón puro

T3: Biocarbón enriquecido

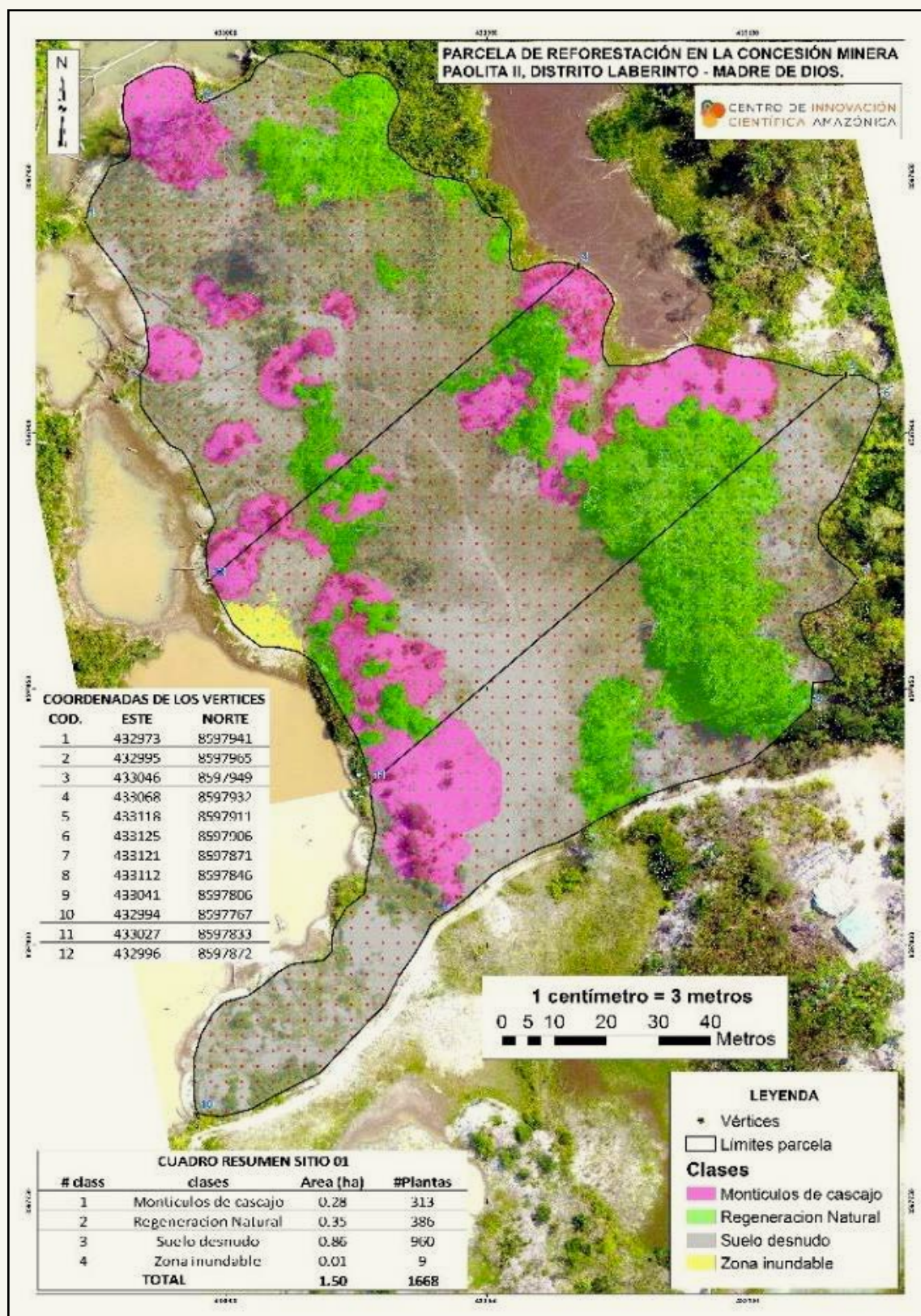


Grafica 12: Especies del Sitio 01 según su importancia ecológica/económica y categoría de cobertura/ diversidad. Fuente: CINCIA, 2019.

#	Especies	CONCESIÓN MINERA PAOLITA		
		SITIO 1		
		P1T2*	P2T3	P3T1
1	<i>Euterpe oleracea</i>	14	14	142
2	<i>Hymenaea courbaril</i>	15	16	15
3	<i>Calliandra angustifolia</i>	19	19	19
4	<i>Theobroma cacao</i>	15	15	15
5	<i>Theobroma speciosum</i>	12	12	12
6	<i>Myrciaria dubia</i>	18	18	18
7	<i>Swietenia macrophylla</i>	12	12	12
8	<i>Hura crepitans</i>	17	17	17
9	<i>Cedrela fissilis</i>	10	9	10
10	<i>Copaifera sp.</i>	14	14	14
11	<i>Tithonia diversifolia</i>	8	8	8
12	<i>Inga edulis</i>	8	8	8
13	<i>Amburana cearensis</i>	16	16	16
14	<i>Ceiba insignis</i>	19	19	19
15	<i>Anacardium occidentale</i>	11	11	11
16	<i>Aniba sp.</i>	11	11	11
17	<i>Salix humboldtiana</i>	16	16	16
18	<i>Dipteryx micrantha</i>	15	14	15
19	<i>Inga sp.</i>	16	16	16
20	<i>Mauritia flexuosa</i>	17	17	17
21	<i>Morus nigra</i>	12	12	12
22	<i>Bixa orellana</i>	16	16	16
23	<i>Guazuma crinita</i>	18	18	18
24	<i>Pouteria caimito</i>	17	17	17
25	<i>Averrhoa carambola</i>	15	15	15
26	<i>Theobroma grandiflora</i>	14	14	14
27	<i>Annona muricata</i>	15	15	15
28	<i>Ficus insípida</i>	20	20	20
29	<i>Syzygium malaccense</i>	14	14	14
30	<i>Matisia cordata</i>	11	11	11
TOTAL POR PARCELA		435	434	435
TOTAL POR SITIO		1304		

Tabla 11: Lista de especies Sitio 01. Fuente: CINCIA, 2019.

*P1T2: Parcela 1 Tratamiento 2



Mapa 6: Planificación Sitio 01. Fuente: CINCIA, 2016

SITIO 2

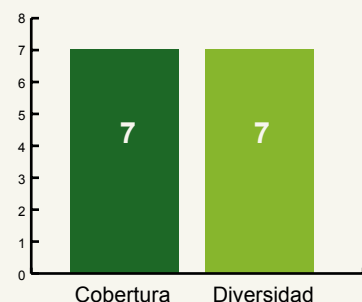
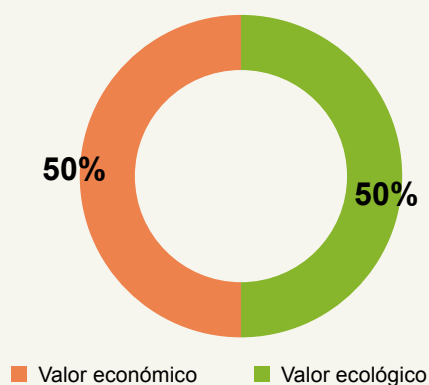
CONCESIÓN MINERA “PAOLITA II” EN ASOCIACIÓN CON LA ONG “PURE EARTH”

PLANTACIÓN

- Líneas de cobertura y líneas de diversidad con 14 especies / 2,825 individuos.
 - Densidad 2 x 3.
 - Instalación en noviembre – 2017.
- Tipo de extracción minera: bombas de succión.

TRATAMIENTOS

T4: Fertilizantes



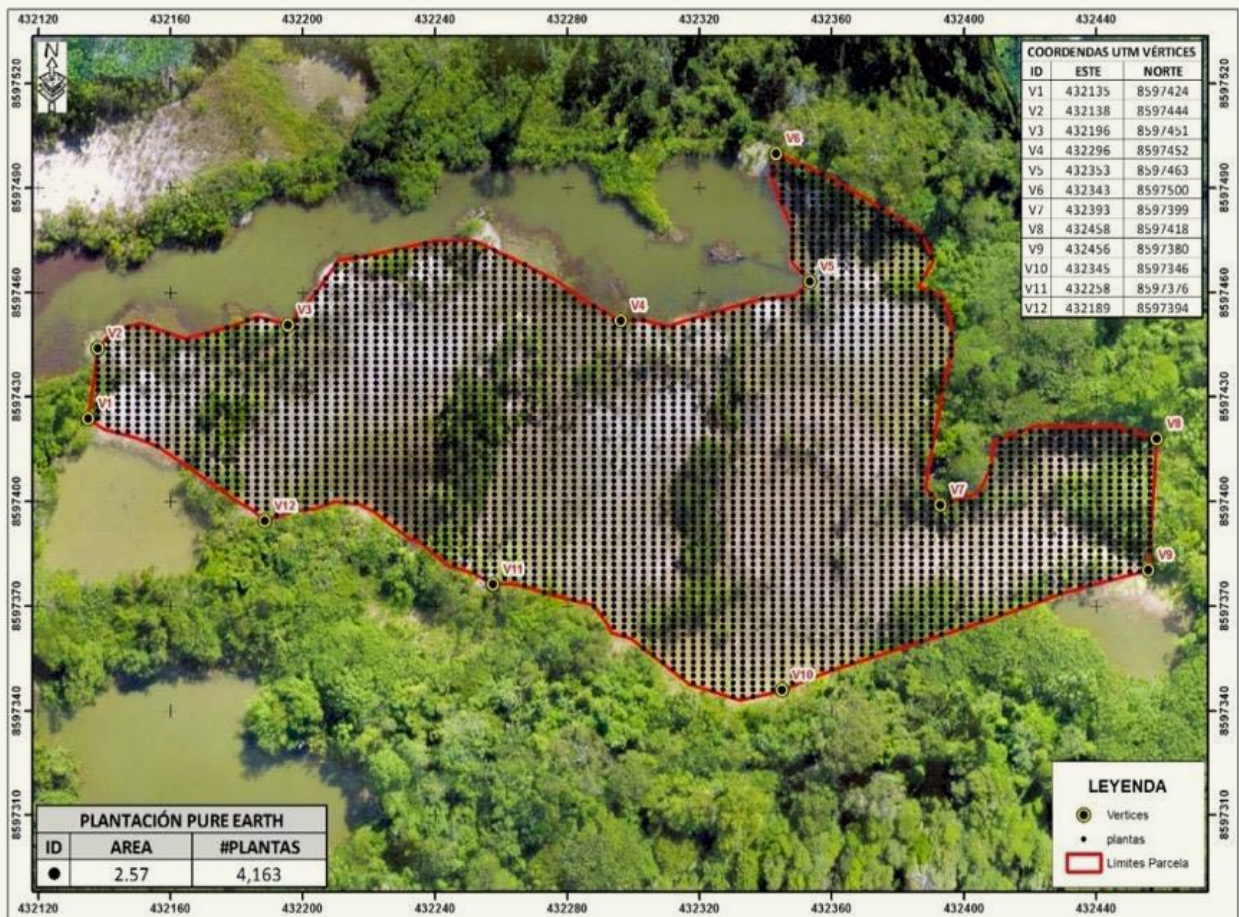
Grafica 13: Especies del Sitio 02 según su importancia ecológica/económica y categoría de cobertura/ diversidad. Fuente: CINCIA, 2019.

Item	Nombre científico	PURE EARTH LABERINTO
		SITIO 1
		P1T4
1	<i>Erythrina ulei</i>	242
2	<i>Hymenaea courbaril</i>	128
3	<i>Calliandra angustifolia</i>	261
4	<i>Hura crepitans</i>	193
5	<i>Copaifera sp.</i>	188
6	<i>Ceiba sp.</i>	4
7	<i>Ceiba insignis</i>	178
8	<i>Acacia mangium</i>	189
9	<i>Croton lechleri</i>	158
10	<i>Dipteryx micrantha</i>	678
11	<i>Schizolobium sp.</i>	242
12	<i>Genipa americana</i>	247
13	<i>Jacaranda copaia</i>	116
14	<i>Moringa oleífera</i>	1
TOTAL POR PARCELA		2825
TOTAL POR SITIO		2825

Tabla 12: Lista de especies Sitio 02. Fuente: CINCIA, 2019.



Foto 20: Especie *Dipteryx micrantha* plantada en el sitio 2. Fuente: Archivo CINCIA, 2018.



Mapa 7: Planificación Sitio 02. Fuente: CINCIA, 2017.

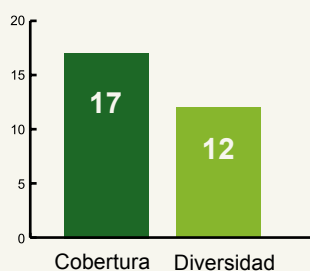
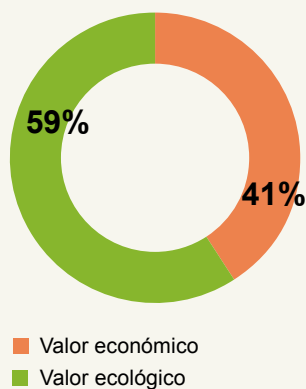
SITIO 11 COMUNIDAD NATIVA "KOTSIMBA"

PLANTACIÓN

- Plantación en macizo con 29 especies / 6,024 individuos.
- Densidad 3 x 3.
- Instalación en setiembre – 2017.
- Tipo de extracción minera: maquinaria pesada.

TRATAMIENTOS

T1: Control
T2: Biocarbón puro
T3: Biocarbón enriquecido
T4: Fertilizantes



Grafica 14: Especies del Sitio 11 según su importancia ecológica/económica y categoría de cobertura/ diversidad.
Fuente: CINCIA, 2019.



Mapa 8: Planificación Sitio 11. Fuente: CINCIA, 2017.

#	Nombre científico	CC.NN. KOTSIMBA											
		SITIO 11											
		P1T1	P2T2	P3T4	P4T3	P5T2	P6T1	P7T2	P8T4	P9T1	P10T3	P11T4	P12T3
1	<i>Erythrina ulei</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
2	<i>Calliandra angustifolia</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
3	<i>Theobroma cacao</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
4	<i>Myrciaria dubia</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
5	<i>Cedrela fissilis</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
6	<i>Tithonia diversifolia</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
7	<i>Ceiba insignis</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
8	<i>Apeiba membranacea</i>	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
9	<i>Croton lechleri</i>	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
10	<i>Salix humboldtiana</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
11	<i>Parkia multijuga</i>	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
12	<i>Bixa orellana</i>	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
13	<i>Guazuma crinita</i>	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
14	<i>Theobroma grandiflora</i>	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
15	<i>Ficus insípida</i>	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
16	<i>Clarisia racemosa</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	<i>Psidium guajava</i>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
18	<i>Eucalyptus urograndis</i>	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
19	<i>Guazuma ulmifolia</i>	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
20	<i>Ceiba samauma</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
21	<i>Genipa americana</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
22	<i>Jacaranda copaia</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
23	<i>Colubrina glandulosa</i>	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
24	<i>Artocarpus altilis</i>	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
25	<i>Enterolobium sp.</i>	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
26	<i>Parkia sp.</i>	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
27	<i>Pinus caribaea</i>	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
28	<i>Cecropia sp.</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
29	<i>Moringa oleífera</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
TOTAL POR PARCELA		502	502	502	502	502	502	502	502	502	502	502	502
TOTAL POR SITIO		6024											

Tabla 13: Lista de especies Sitio 11. Fuente: CINCIA, 2019.

SITIO 17

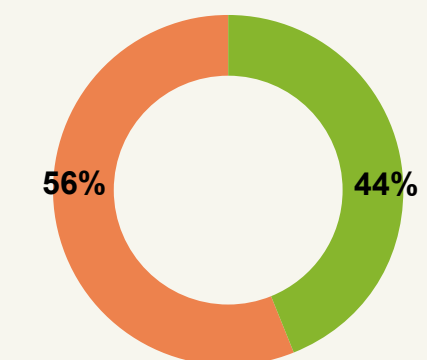
R.N. TAMBOPATA PUESTO DE CONTROL Y VIGILANCIA “AZUL”

PLANTACIÓN

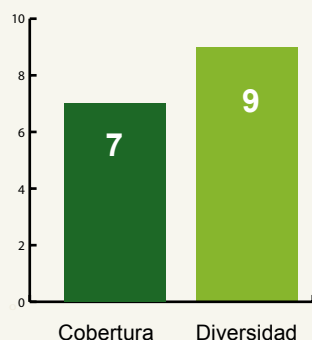
- Dos líneas de cobertura y líneas de diversidad con 18 especies / 3,329 individuos.
- Densidad 3 x 2.
- Instalación en diciembre – 2018.
- Tipo de extracción minera: bombas de succión.

TRATAMIENTOS

T4: Fertilizantes



Valor económico Valor ecológico



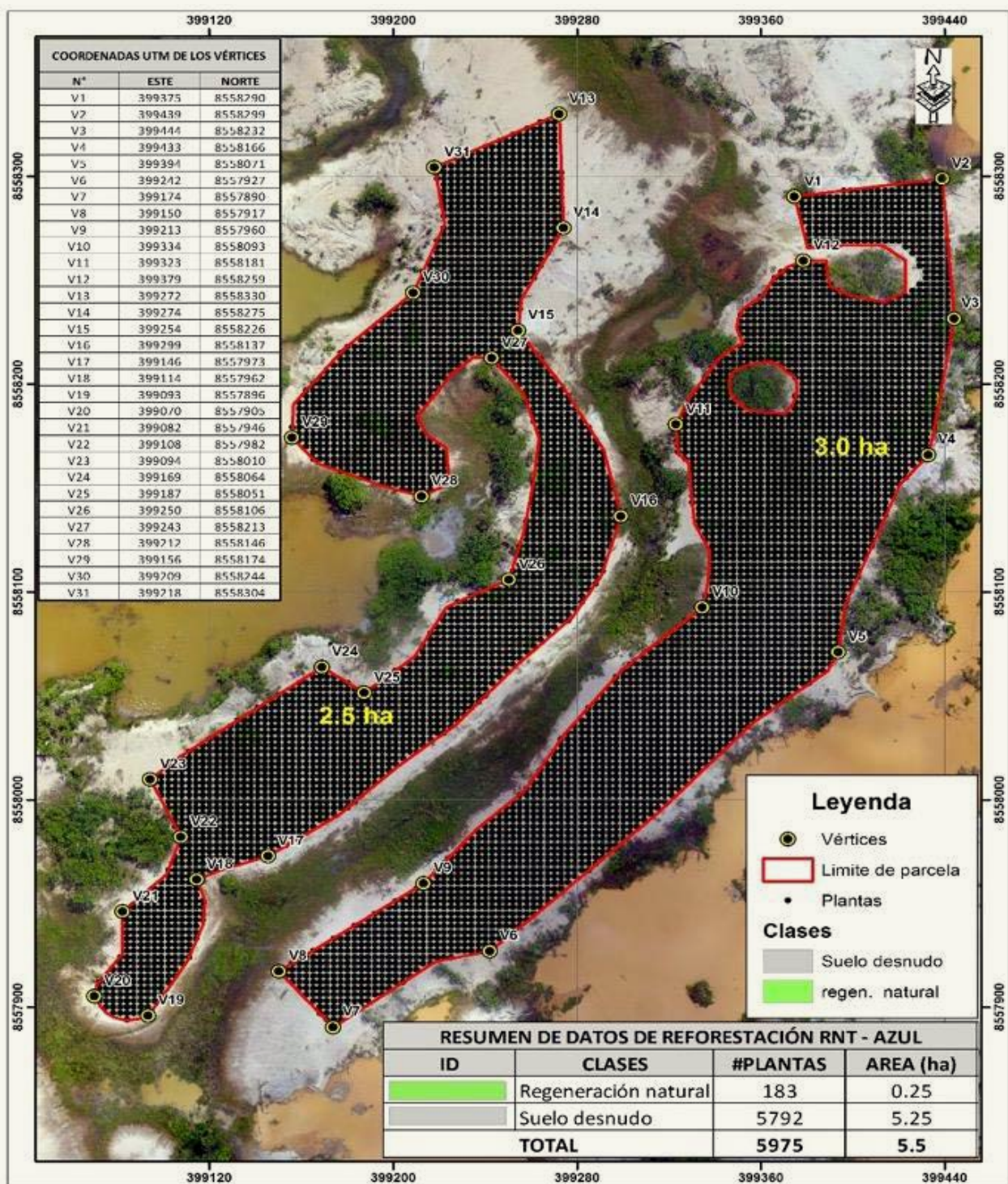
Grafica 15: Especies del Sitio 17 según su importancia ecológica/económica y categoría de cobertura/ diversidad. Fuente: CINCIA, 2019.

#	Nombre científico	RNT
		SITIO 17
		P1T4
1	<i>Calliandra angustifolia</i>	263
2	<i>Hura crepitans</i>	213
3	<i>Inga edulis</i>	489
4	<i>Ceiba insignis</i>	217
5	<i>Apeiba membranacea</i>	249
6	<i>Dipteryx micrantha</i>	107
7	<i>Schizolobium sp.</i>	1
8	<i>Tabebuia serratifolia</i>	190
9	<i>Bixa orellana</i>	223
10	<i>Guazuma crinita</i>	437
11	<i>Ficus insípida</i>	21
12	<i>Genipa americana</i>	127
13	<i>Brosimum rubescens</i>	2
14	<i>Abarema sp.</i>	197
15	<i>Leucaena leucocephala</i>	348
16	<i>Guarea sp.</i>	245
TOTAL POR PARCELA		3329
TOTAL POR SITIO		3329

Tabla 14: Lista de especies Sitio 17. Fuente: CINCIA, 2019.



Foto 21: Parcela Modelo líneas de cobertura y diversidad. Fuente CINCIA, 2018.



Mapa 9: Planificación Sitio 17. Fuente: CINCIA, 2018

2.2.6 Monitoreo y evaluación

Es una actividad crítica donde se centran esfuerzos para dar seguimiento al desarrollo de los plántones y generar el conocimiento científico necesario para la toma de decisiones en cuanto a las mejores alternativas de reforestación y/o restauración ecológica.

Los trabajos de monitoreo y evaluación consisten en la limpieza y fertilización (monitoreo) del terreno con el fin de lograr las mejores condiciones posibles para el desarrollo de las plantaciones instaladas en los sitios y realizar las mediciones (evaluación) de supervivencia y crecimiento en diámetro y altura, según los tratamientos establecidos, de acuerdo a las categorías de degradación en los sitios. La tabla 17 resume los parámetros considerados en la evaluación de las parcelas experimentales, los tratamientos aplicados y las categorías de degradación establecidas de acuerdo a las zonas identificadas durante los trabajos de caracterización con drones.

Foto 22: Evaluación dasométrica en parcelas experimentales instaladas en el sector de Paolita II. Fuente: WWF Perú, 2019.



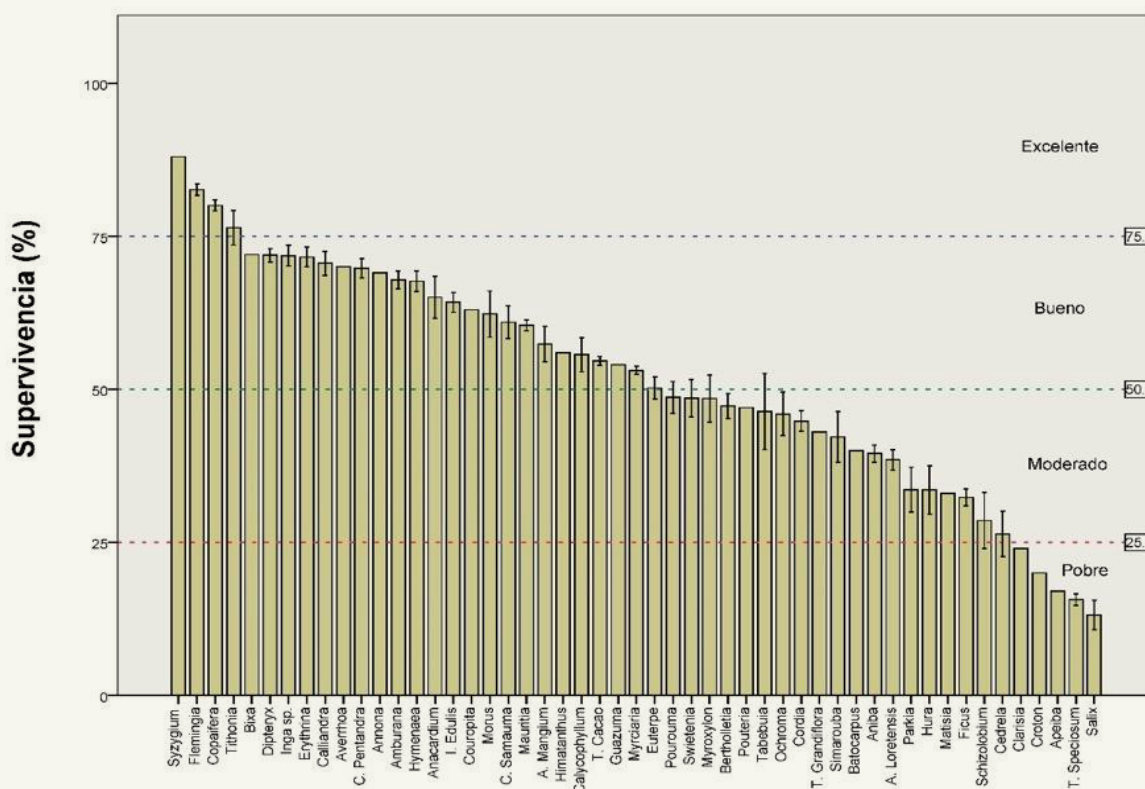
Tabla 15: Variables consideradas para los trabajos de evaluación de las parcelas experimentales. Fuente: CIN-CIA, 2019.

Parámetros	Tratamiento	Impactos en el paisaje		Categorías de degradación
		Maquinaria pesada	Bombas de succión	
Supervivencia	Control	Suelo desnudo	Suelo desnudo	Suelo desnudo
Crecimiento en diámetro	Biocarbón puro	Botaderos	Montículos de cascajo	Montículos de cascajo sin vegetación
Crecimiento en altura	Biocarbón enriquecido con fertilizantes orgánicos	Desmonte (materia orgánica)	Regeneración natural	Regeneración natural (situada en montículos de cascajo)
	Fertilizantes orgánicos	Pozos artificiales Regeneración natural	Pozos artificiales	Zonas inundables

Resultados del monitoreo y evaluación

Los trabajos de monitoreo y evaluación se programan de tal forma que se realice una primera medición de diámetros y altura durante los trabajos de plantación, luego entre los 3 y 6 meses siguientes se realiza un primer ingreso de limpieza del terreno que consiste en el corte de plantas que puedan generar competencia para los plántones a lo largo de las fajas y limpieza del área, este trabajo es realizado por una empresa que se encarga de la logística de campo y personal. Durante el primer ingreso de monitoreo se realiza una evaluación de mortandad y se procede al recalce en caso sea necesario. Luego se realizan dos ingresos más para limpieza del terreno y uno de evaluación de crecimiento en diámetro y altura y supervivencia que correspondería al tercer ingreso por monitoreo luego de un año de instalada la plantación.

Los resultados de evaluación se dividen anualmente, a la fecha se cuentan con el análisis de resultados del primer año del proyecto, esto incluye los sitios 01, 04 y 05 Concesión Minera “Paolita II”, 06 Concesión Minera Anel y 07 el Predio Agrícola Villa Santiago. También se cuenta con información del segundo año de parcelas experimentales sin embargo aún está en proceso de revisión y análisis.

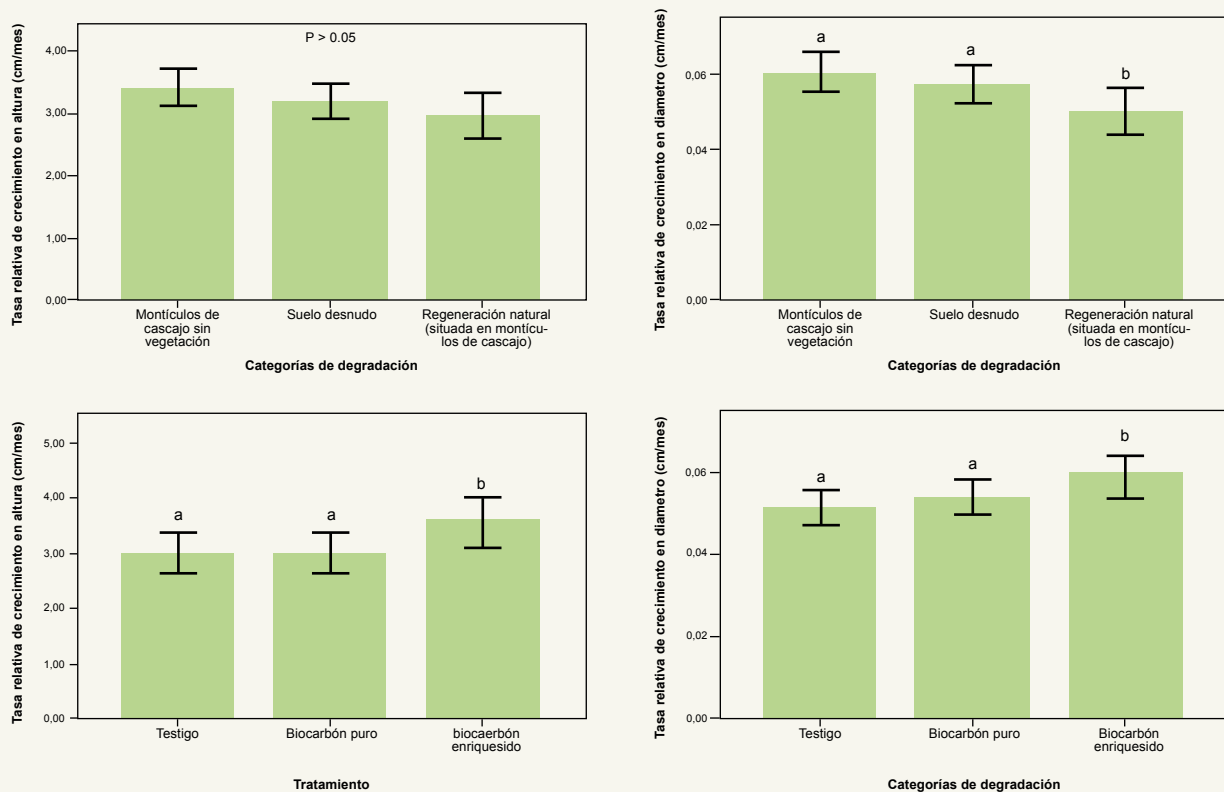


Grafica 16: Resultados de supervivencia del primer año de evaluaciones. Fuente: CINCIA, 2019a

La gráfica anterior muestra los resultados de supervivencia del primer año de parcelas experimentales, con 51 especies forestales y un total de 6,734 individuos plantados en los cinco sitios mencionados ubicados en las concesiones mineras Paolita II y Anel y el predio agrícola Villa Santiago.

Para evaluar este primer año de supervivencia se implementó y adaptó el criterio de categorías de supervivencia basado en el desarrollo de los plántones en campo de Elliot et al (2003) obteniendo una categoría de excelente o más del 75% de supervivencia para las especies *Syzygium malaccense* “Poma rosa”, *Flemingia macrophylla* “Flemingia”, *Copaifera* sp., “Copaiba” y *Tithonia diversiflora* “Girasol”.

Las especies *Bixa orellana* “Achiote”, *Dipteryx micrantha* “Shihuahuaco”, *Inga* sp. “Shimbillo”, *Erythrina ulei* “Amasisa”, *Calliandra angustifolia* “Bobinsana”, *Averrhoa carambola* “Carambola”, *Ceiba pentandra* “Huimba”, *Annona muricata* “Guanábana”, *Amburana cearensis* “Ishpingo”, *Hymenaea courbaril* “Azúcar hua-yo”, *Anacardium occidentale* “Marañón”, *Inga edulis* “Guaba”, *Couroupita guianensis* “Couroupita”, *Morus nigra* “Mora”, *Ceiba samauma*, “Huimba”, *Mauritia flexuosa* “Aguaje”, *Acacia mangium* “Mangium”, *Himatanthus succuba* “Bella-co caspi”, *Calycophyllum spruceanum* “Capirona”, *Theobroma cacao* “Cacao”, *Guazuma crinita* “Bolaina” y *Myrciaria dubia* “Camu camu” obtuvieron resultados de supervivencia entre el 50% y 75% obteniendo la categoría de buenas para las condiciones del terreno.



Grafica 17: Resultados de crecimiento en altura y diámetro por categoría de degradación y tratamiento. Fuente: CINCIA, 2019a.

Cabe resaltar que estas especies si bien tienen buenos resultados, no son necesariamente las mejores en cuanto a crecimiento en diámetro y altura. Se deben determinar más factores además de la supervivencia para recomendar especies idóneas para implementación de programas de restauración ecológica.

Los resultados de crecimiento en altura y diámetro por tratamiento y categoría de degradación se resumen en la gráfica 21. Para estos primeros cinco sitios implementados durante el primer año de proyecto solo se aplicaron 3 tratamientos, biocarbón puro, biocarbón enriquecido y control o testigo.

Las gráficas indican que los mejores resultados de crecimiento se dieron en los montículos de cascajo bajo el tratamiento biocarbón enriquecido. Las especies con mayor crecimiento en diámetro son del género *Erythrina*, *Calliandra*, *Inga* y *Acacia*, estas especies al ser leguminosas tienen capacidad de mejorar el suelo y por su rápido crecimiento generar biomasa. Las especies con mayor crecimiento en altura son de los géneros *Tithonia*, *Flemingia*, *Erythrina*, *Salix* y *Calliandra* (capacidad de generar cobertura); *Inga*, *Syzygium*, *Morus*, *Apeiba* y *Ochroma* (atractivas para dispersadores de semillas y especies frugívoras); *Croton* (*medicinal*); *Ceiba* y *Calycophyllum* (maderables).

2.2.7 Análisis de costos

Se realizó un análisis de costos sobre la implementación en base a sus componentes principales según el flujograma del programa, drones, biocarbón vivero tecnificado, plantaciones de reforestación y restauración ecológica y monitoreo. Se determinaron partidas de acuerdo a las actividades realizadas en campo y gabinete de acuerdo a la experiencia de cada especialista en su área de trabajo. El resultado de este trabajo se resume en el siguiente cuadro de costos por Ha según concepto y componente (CINCA, 2019c).

Tabla 16: Costos por hectárea del PRRADM.
Fuente: CINCA, 2019c.

Componente	Concepto	Costos / Ha
DRONES	Campo	\$ 33.16
	Gabinete	\$ 196.38
	Mapa final	\$ 7.37
Costo por Ha		\$ 236.92
BIOCARBÓN	Material vegetal	\$ 167.78
	Producción	\$ 21.05
	Traslado	\$ 120.11
	Aplicación	\$ 229.47
Costo por Ha		\$ 538.41
VIVERO TECNIFICADO	Implementación y construcción	\$ 353.11
	Sustrato	\$ 9.86
	Tubetes	\$ 6.79
	Siembra y/o repique	\$ 37.00
	Producción de plántones	\$ 117.68
Costo por Ha		\$ 524.44
PLANTACIONES DE REFORESTACIÓN Y RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	Instalación de parcelas experimentales	\$ 1,146.58
Costo por Ha		\$ 1,146.58
MONITOREO		\$ 302.11
COSTO TOTAL POR Ha		S/ 9,097.40
		\$2,748.46

PARTE III

3.1 Sinergias público - privadas para la sostenibilidad de la restauración

La alianza institucional lograda a través de esta iniciativa ha sido el punto de partida del proyecto para asegurar acciones que sumen a lograr los objetivos planteados enfocados a generar investigación científica para obtener respuestas sobre cómo recuperar áreas altamente degradadas por la extracción minera aurífera aluvial. Este proceso ha permitido unir esfuerzos con actores del sector público a nivel nacional,

regional y local, sector privado como asociaciones, empresas privadas, productores agrícolas, concesionarios mineros en proceso de formalización, comunidades indígenas y de la academia a fin de asegurar el proceso de transferencia de conocimientos de la información técnica desarrollada y el involucramiento de medios de comunicación a fin de socializar los procesos e hitos del proyecto y mensajes claves sobre los resultados del proyecto y mostrar la evidencia de que si es posible restaurar paisajes altamente degradados.

A nivel del sector público ha sido clave la alianza establecida con el Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana – IIAP institución adscrita al Ministerio del Ambiente – MINAM, la sinergia lograda ha permitido sumar esfuerzos para la instalación del primer laboratorio de mercurio clave para el desarrollo de los estudios de línea base y el desarrollo de enmiendas como el biocarbon como alternativa para recuperar los suelos altamente degradados por la extracción minera, esta alianza permite garantizar que el sector público pueda apropiarse de la tecnología desarrollada y pueda continuar el proceso de transferencia de conocimientos hacia actores claves como universidades, institutos técnicos especializados, productores entre otros.

La alianza establecida con los gobiernos locales de Inambari, Camanti, Huaypetuhe y Manú, ha sido relevante para sumar esfuerzos y facilitar procesos para la implementación del proyecto en campo, los acuerdos de colaboración establecidos permitieron sumar esfuerzos para el desarrollo de infraestructura para producción masiva de plántones, los resultados del primer diagnóstico de la capacidad de infraestructura e insumos para reforestación a gran escala desarrollado por el proyecto permitió determinar que el distrito de Inambari representaba una zona clave para el desarrollo de este tipo de infraestructura debido a que esta zona es la más afectada por la extracción minera en la región de Madre de Dios, por ello en alianza con el gobierno local de Inambari se implementó el primer vivero municipal tecnificado, esta iniciativa permitió generar una propuesta de proyecto de inversión pública para que la Municipalidad Distrital de Inambari cuente con la capacidad y las herramientas para promover iniciativas de restauración a través de la implementación del proyecto de inversión pública PIP “Recuperación del ecosistema del bosque húmedo de la Cuenca de Inambari en el ámbito del distrito de Inambari, provincia de Tambopata en la región Madre de Dios”, esta experiencia fue replicada con la Municipalidad Provincial de Manú a través de la generación del proyecto de inversión pública PIP “Recuperación de ecosistemas de bosque degradado y deforestado en 10 comunidades nativas de la provincia del Manu, región de Madre de Dios”, el cual permitió la implementación de infraestructura como viveros municipales tecnificados en la zona de Madre de Dios y Villa Salvación y generar capacidades técnicas para promover iniciativas de restauración en territorios indígenas de la Provincia del Manú. Los gobiernos locales, tienen dificultades para desarrollar acciones concretas para mitigar la degradación ambiental, ya sea por falta de capaci-

dades técnicas para el desarrollo de las mismas, por falta de presupuesto y/o por falta de alianzas con socios estratégicos que permitan lograr estas acciones, y con esta sinergia y la identificación de mecanismos de financiamiento a través de los proyectos de inversión pública se ha logrado pasar estas barreras y se ha promovido la recuperación de 140 hectáreas aplicando la metodología del proyecto promovidas por los gobiernos locales, además de que con la ejecución de estos proyectos, los municipios suman a la meta del país para detener la deforestación y sientan las bases para recuperar la conectividad de paisajes en áreas altamente degradados.



Foto 23: Gestión de financiamiento para proyectos de restauración con los gobiernos locales. Fuente: WWF Perú, 2017.

El involucramiento del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR institución adscrita al Ministerio de Agricultura – MINAGRI, ha generado oportunidades para participar de procesos públicos como la generación de lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales, iniciativa 20x20, aportes para la generación de documentos técnicos para promover opciones de restauración de paisajes forestales, promover espacios como el primer simposio nacional de restauración a través del cual se logró compartir y conocer iniciativas de restauración a nivel nacional y como se articulan y contribuyen al cumplimiento de metas de restauración asumidas por el estado peruano. Ha sido relevante en este proceso contribuir en la articulación de acciones entre el SERFOR y el Gobierno Regional de Madre de Dios a través de la mesa forestal y el grupo técnico ROAM para identificar áreas prioritarias para restauración en la región de Madre de Dios donde se han registrado 165,104 hectáreas con alta prioridad para ser restauradas, este mapa ha sido incorporado al mapa nacional de áreas prioritarias para restauración publicado por el SERFOR y representa un instrumento clave para la formulación de propuestas de proyectos para promover iniciativas de restauración.

A nivel del sector privado ha sido estratégico articular esfuerzos con iniciativas empresariales que generan residuos como aserrín de madera, cascara de castaña, mazorcas de cacao, entre otras para abastecer la planta de producción de biocarbón, asimismo con las empresas que aportaron con la generación de capacidades para el manejo de viveros tecnificados en la zona de Madre de Dios.

Los diagnósticos generados del área de intervención del proyecto con información clave sobre infraestructura disponible y experiencias de plantaciones en Madre de Dios, y los acuerdos establecidos con entidades del sector público permitieron identificar potenciales actores para el establecimiento de parcelas demostrativas donde se priorizaron la evaluación de indicadores como condición legal de tenencia del área, tipo de afectación del terreno, participación en los procesos de fortalecimiento de capacidades y nivel de compromiso para mantener parcelas con enfoque de investigación, de esta manera se instaló la primera parcela demostrativa en el sector de Laberinto en la concesión minera Paolita y se continuo trabajando con concesionarios en proceso de formalización, así también con titulares de predios agrícolas afectados por la minería ilegal y comunidades indígenas como San Jacinto y Kotzimba. En este proceso se sumó un actor importante como el SERNANP para la instalación de parcelas demostrativas al interior de la Reserva Nacional Tambopata, lo cual ha permitido al proyecto registrar 42.5 hectareas de parcelas experimentales instaladas en los distritos de Tambopata, Laberinto, Huaypetuhe e Inambari, donde se han utilizado alrededor de 74 especies forestales, llegando a usar en promedio 30 especies por hectárea plantadas las cuales se mantienen en proceso de monitoreo y evaluación.

La articulación generada con la academia del sector público y privado ha permitido mostrar esta experiencia e incorporarlos en el proceso del monitoreo y evaluación para analizar los resultados de las parcelas establecidas, analizar las especies con mejor respuesta en campo definitivo, analizar los tipos de muestreo aplicado, entre otros temas que han fomentado la investigación para la recuperación de áreas altamente degradadas. El involucramiento de los medios de comunicación ha sido relevante para difundir los resultados del proyecto y dar a conocer opciones de restauración de áreas altamente degradadas.

Este proceso continúa y se mantendrá a través de la transferencia de conocimientos generados en el proyecto a fin de promover el desarrollo de iniciativas que aporten a mitigar los efectos generados por la extracción minera en la amazonia peruana.

Estas acciones son importantes porque buscan generar alianzas, principalmente con el sector público a través del GOREMAD cuya función es desarrollar programas a una escala mayor, generando condiciones para la inversión privada que aporte en la conservación de la biodiversidad y el aprovechamiento de recursos naturales de forma sostenible que contribuya a la mejora de la calidad de vida.

Tabla 17: Resumen de instituciones, asociaciones y universidades nacionales e internacionales ligadas al proyecto. Fuente: WWF, 2019.

Institución/Organización	Tipo	Descripción de la alianza
Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre SERFOR	Estatad	Alianza institucional para el desarrollo del mapa de áreas prioritarias para restauración de la región de Madre de Dios, organización del primer simposio de restauración y desarrollo de documentos técnicos para promover la restauración.
Gobierno Regional de Madre de Dios GOREMAD	Estatad	Sinergias para promover el proceso de desarrollo del mapa de áreas prioritarias para restauración a través de la mesa forestal y el grupo técnico ROAM. Transferencia de conocimientos a través del desarrollo de un plan de capacitación para formulación de proyectos de inversión pública.
Gobiernos locales: Inambari, Huetpetuhe, Manu, Madre de Dios, Camanti, Tambopata	Estatad	Sinergias para sumar esfuerzos para la implementación de las acciones del proyecto.
Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana IIAP	Estatad	Convenio de colaboración, para el desarrollo de Biocarbon y laboratorio de mercurio, soporte técnico para estudios de líneas base
Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado SERNANP – Reserva Nacional Tambopata RNTAMB	Estatad	Convenio para la instalación de parcelas piloto dentro de la RNTAMB, puesto de Control y Vigilancia Azul.
Centros educativos locales	Estatad	Transferencia de conocimientos, y campañas de reforestación, acciones de sensibilización a nivel rural y urbano.
Dirección Regional de Energía y Mina	Estatad	Transferencia de conocimientos del proceso para implementación de parcelas de recuperación.
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET	Estatad	Transferencia de conocimientos del proceso para implementación de parcelas de recuperación.
Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA	Estatad	Transferencia de conocimientos del proceso para implementación de parcelas de recuperación.
La Nuez, Candela	Privada	Aliados para proveer insumos como cascara de castaña para la elaboración de Biocarbon.

Institución/Organización	Tipo	Descripción de la alianza
Otorongo	Privada	Aliados para proveer insumos como aserrín de madera para la elaboración de Biocarbon.
Environmental Systems Research Institute ESRI	Privada	Soporte técnico en el uso de herramientas SIG para el proceso de caracterización de áreas.
Camino Verde	Privada	Asesoramiento para producción y provisión de plantones
Agrobosques	Privada	Transferencia de conocimiento, suministros de insumos para la producción de Biocarbon.
Grupo Alimenta	Privada	Asesoramiento para la transferencia de tecnología para producción de biocarbon.
Medios de comunicación local, nacional e internacional	Privada	Aliados para comunicar las experiencias del proyecto a nivel local, regional, nacional e internacional
Concesiones mineras en proceso de formalización.	Privada	Instalación de parcelas de recuperación demostrativas, capacitación y transferencia de conocimientos.
CCNN Kotsimba, CCNN San Jacinto	Productores	Zonas de implementación de parcelas pilotos
Asociación de Productores Mineros Artesanales de Huaypetuhe – APEMARHU.	Privados	Transferencia de conocimientos para producción de biocarbon y parcelas de recuperación.
Wake Forest University, Stanford, Universidad de Mexico, Zacatecas, Harvard	Academia	Transferencia de conocimientos de las metodologías desarrolladas dentro del programa de restauración.
Universidades: UNAMAD, UNSAAC	Academia	Transferencia de conocimientos de las metodologías desarrolladas dentro del programa de restauración.
UTEC	Academia	Transferencia de conocimientos de las metodologías desarrolladas dentro del programa de restauración.
USAID	Cooperación	Aliados estratégicos para brindar sostenibilidad financiera a los procesos del proyecto.



Foto 24: MSc. France Cabanillas, Coordinador del PRRADM exponiendo los resultados de los trabajos realizado ante funcionarios de la DREMH e INGEMMET. Fuente: Archivo CINCIA, 2019.



Foto 25: PhD. Francisco Román, Asesor Científico de CINCIA, presentando los resultados del PRRADM en el "Primer Simposio Nacional de Restauración de Ecosistemas Forestales con Enfoque de Paisajes". Fuente: Archivo CINCIA, 2018.

3.2 LECCIONES APRENDIDAS

Con la finalidad de identificar las lecciones aprendidas, se implementó la metodología visualización en programas participativos – VIIP, utilizando materiales de visualización, rotación de espacios entre los participantes, dinámicas, trabajos grupales, y plasmar los resultados a través de la dinámica “el árbol y el sembrador”.

Este proceso nos ha mostrado que es altamente relevante asegurar la seguridad jurídica de las áreas a restaurar a fin de garantizar el mantenimiento de las iniciativas de restauración, por ello para el caso de Madre de Dios es importante asegurar un proceso de formalización minera transparente y participativa. Asimismo, ha sido clave entender que el paisaje impactado por la extracción minera albergaba diferentes tipos de ecosistemas de bosque, humedales, aguajales, pacales, entre otros y cada uno de ellos necesita ser estudiado a diferentes escalas para ser recuperado, se ha evidenciado que en las zonas impactadas por la extracción minera se forman grandes cuerpos de agua que dan lugar a nuevos ecosistemas, donde es fundamental desarrollar evaluaciones hídricas.

La metodología desarrollada por el proyecto tiene base científica y ha estudiado los diferentes tipos de degradación, en este proceso se ha involucrado a instituciones públicas, privadas y de la academia, claves para asegurar la transferencia de conocimientos y el empoderamiento de equipos técnicos locales, lo cual muestra que esta metodología puede ser adaptada o usada para otros tipos de deforestación (agricultura, ganadería, monocultivos, etc).

El desarrollo de enmiendas como el biocarbon, representa una alternativa para la recuperación de áreas altamente degradadas, los resultados de uso de esta enmienda en las parcelas experimentales nos muestran los resultados favorables para especies nativas de rápido, mediano y largo crecimiento, asimismo representa un insumo que puede ser producido a través de diferentes métodos de bajo costo.

Ha sido estratégico identificar oportunamente espacios participativos, aliados públicos, privados y de la cooperación para lograr llegar a actores involucrados de manera tan diferente en la cadena de la minería artesanal, algunos afectados por la extracción minera ilegal, otros apostando por un proceso de formalización, algunos actores proyectándose a pasar por un proceso de reconversión de actividad productiva, entre otros, lo cual nos muestra que las acciones de restauración en áreas altamente degradadas deben contar con un componente social que aborde este tipo de escenarios que permita lograr compromisos de largo plazo para desarrollar y mantener iniciativas de restauración.

Sigue siendo un reto gestionar que los proyectos de restauración mantengan periodos largos que permitan garantizar acciones de mantenimiento y monitoreo del proceso de recuperación, evaluar el retorno de la inversión para periodos de corto, mediano y largo plazo.

Es importante promover mayor investigación sobre la regeneración natural, a fin de identificar otras opciones de restauración pasiva de menor inversión para áreas degradadas con bosques cercanos. Asimismo, es importante extender la investigación hacia los bosques de referencia a fin de mantener información de línea base para evaluar el éxito de la restauración.

Finalmente es importante promover alianzas con comunidades locales, sector privado e instituciones públicas para desarrollar iniciativas de restauración a gran escala en ecosistemas prioritarios.



Foto 26: Taller de lecciones aprendidas del proyecto. Fuente: Archivo CINCIA, 2019.

Siglas

- APEMARHU – Asociación de productores mineros de Huaypetuhe
- CEES – Center for Energy, Environment and Sustainability
- CIFOR – Center for International Forestry Research
- CINCIA – Centro de Innovación Científica Amazónica
- DRFFS – Dirección Regional Forestal y de Fauna Silvestre
- DREMH – Dirección Regional de Energía, Minas e Hidrocarburos
- ESRI – Environmental Systems Research Institute
- GOREMAD – Gobierno Regional de Madre de Dios
- ICRAF – World Agroforestry Center
- IIAP – Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana
- INGEMMET – Instituto Nacional Geológico, Minero y Metalúrgico
- MINAGRI – Ministerio de Agricultura y Riego
- MINAM – Ministerio del Ambiente
- MINEM – Ministerio de Energía y Minas
- PBI – Producto Bruto Interno
- PRRADM – Programa de Reforestación y Restauración de Áreas Degradadas por Minería
- RPAS – Remote Piloted Aircraft System
- SERFOR – Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
- SERNANP – Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
- SIRTOD – Sistema de Información Regional para la Toma de Decisiones
- USAID – United States Agency for International Development
- UTEC – Universidad de Tecnología e Ingeniería
- VAB – Valor Agregado Bruto
- WFU – Wake Forest University
- WWF – World Wildlife Fund

Citas bibliográficas

CINCIA, 2016. Diagnóstico de viveros existentes y operativos en las zonas de influencia del proyecto, estimación de la inversión necesaria para repotenciación y/o instalación de nuevos viveros. Informe técnico. Madre de Dios, Perú. 47 pp.

CINCIA, 2018a. Tres décadas de deforestación por minería aurífera en la amazonía suroriental peruana. Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), World Wildlife Fund (WWF), Wake Forest University (WFU), United States Agency for International Development (USAID). Serie de resúmenes de investigación, N°1. Madre de Dios, Perú. 8 pp.

CINCIA, 2018b. Biodiversidad acuática en pozas abandonadas por minería de oro. Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), World Wildlife Fund (WWF), Wake Forest University (WFU), United States Agency for International Development (USAID). Serie de resúmenes de investigación, N°3. Madre de Dios, Perú. 7 pp.

CINCIA, 2018c. Producción y utilización de biocarbón. Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), World Wildlife Fund (WWF), Wake Forest University (WFU), United States Agency for International Development (USAID). Nota técnica N°1. Madre de Dios, Perú. 7 pp.

CINCIA, 2019a. Análisis de potenciales especies y enmiendas para recuperación de áreas degradadas por minería. Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA). World Wildlife Fund (WWF). Wake Forest University (WFU). Serie de resúmenes de investigación. Madre de Dios, Perú. 8 pp.

CINCIA, 2019b. How to produce backyard biochar? Construction, use and applications of TLUD biochar producing system. Guía para construcción de sistemas TLUD de producción de biocarbón. Madre de Dios, Perú. 32 pp.

CINCIA, 2019c. Análisis de costos. Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA). World Wildlife Fund (WWF). Wake Forest University (WFU). Nota técnica. Madre de Dios, Perú. 9 pp.

Decreto Supremo N° 011-2017 MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. Diario oficial “El Peruano”. Lima, Perú, 01 de diciembre de 2017.

Elliot, S. et al, 2003. Selecting framework tree species for restoring seasonally dry tropical forests in northern Thailand base on field performance. *Forest Ecology and Management* 184 (2003) 177 – 191. 15 pp.

Glaser, B.; Lehmann, J. & Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biol. Fertil. Soils* 35, 219–230 (2002). 12 pp.

GOREMAD, 2014. Plan de Desarrollo Regional Concertado de Madre de Dios 2014 – 2021. Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD). Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial. Madre de Dios, Perú. 164 pp.

GOREMAD, 2015. Estrategia Regional de Diversidad Biológica de Madre de Dios al 2021. Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD). Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Madre de Dios, Perú. 91 pp.

Guariguata, M.; Rockwell, C. 2015. La producción de castaña (*Bertholletia excelsa*) en el contexto de la extracción de madera en Madre de Dios, Perú. Center for International Forestry Research (CIFOR). Info brief N° 126, 2015. 9 pp.

IIAP, 2014. Manual: vivero forestal para la producción de plántones de especies forestales nativas. Experiencia en Molinopampa, Amazonas, Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Amazonas, Perú. 19 pp.

INEI, 2018. Perú, perfil sociodemográfico. Informe nacional. Censos nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales. Lima, Perú. 642 pp.

Ley N°26311. Declaran capital de la biodiversidad del Perú al departamento de Madre de Dios. Diario oficial “El Peruano”. Lima, Perú, 19 de mayo de 1994.

Ley N°30740. Ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS). Diario oficial “El Peruano”. Lima, Perú, 21 de marzo de 2018.

Lefebvre, D.; Román, F.; Soete, J.; Cabanillas, F. et al. 2019. Biochar effects on two tropical tree species and its potential as a tool for reforestation. *Forests* 2019, 10, 678. 14 pp. <http://dx.doi.org/10.3390/f10080678>

Messinger, M.; Asner, G.; Silman, M. 2016. Rapid of amazon forest structure and biomass using small unmanned aerial systems. *Remote sens.* 8, N° 8: 615. 15 pp.

MINAM, 2011. Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio. Una bomba de tiempo. Ministerio del Ambiente (MINAM). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Lima, Perú. 103 pp.

MINAM, 2019a. Sexto informe nacional sobre diversidad biológica – La biodiversidad en cifras. Ministerio del Ambiente (MINAM). Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales, Dirección General de Diversidad Biológica, Dirección de Conservación Sostenible de Ecosistemas y Especies. Lima, Perú. 52 pp.

MINAM, 2019b. Mapa nacional de ecosistemas del Perú – Memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente (MINAM). Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales, Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental, Dirección General de Monitoreo y Evaluación de los Recursos Naturales del Territorio, Dirección General de Diversidad Biológica, Dirección de Conservación Sostenible de Ecosistemas y Especies. Lima, Perú. 124 pp.

MINEM, 2019. Anuario minero 2018 Perú. Ministerio de Energía y Minas (MINEM). Dirección de Promoción Minera. Lima, Perú. 99 pp.

NTC N° 001–2015. Requisitos para las operaciones de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia. Norma Técnica Complementaria. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Lima, Perú, 03 de noviembre del 2015.

Palansooriya, K.N.; Wong, J.T.F.; Hashimoto, Y. et al. 2019. Response of microbial communities to biochar-amended soils: a critical review. Shenyang Agricultural University. Biochar 1:3–22. 20 pp. <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00009-2>

Ráez, E. 2019. La amazonía peruana y el cambio climático. Movimiento Ciudadano frente al Cambio Climático (MOCICC), Rainforest Noruega. Lima, Perú. 49 pp.

RM N° 085-2014 MINAM. Guía para muestreo de suelos. Resolución Ministerial. Ministerio del Ambiente (MINAM). Diario oficial “El Peruano”. Lima, Perú, 31 de marzo del 2014.

Rodrigues, R., Lima, R., Gandolfi, S., Nave, A. 2009. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. Biological Conservation 142 (2009), 1242 – 1251. 10 pp.

SERFOR, 2018a. Lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vida silvestre. Servicio Nacional Forestal y Fauna Silvestre (SERFOR), aprobado mediante R.D.E. 083 – 2018 MINAGRI – SERFOR – DE. Lima, Perú. 47 pp.

SERFOR, 2018b. Experiencias de restauración en el Perú. Lecciones aprendidas. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF), Biodiversity – Perú. Lima, Perú. 130 pp.

SERFOR, 2018c. Primer simposio nacional de restauración de ecosistemas forestales con enfoque de paisajes. Memoria del simposio. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). Lima, Perú. 65 pp.

SERFOR S.R.L., 2017. Propuesta de servicios: consultoría, diagnóstico, validación de servicios, formulación e implementación de vivero forestal piloto tecnificado (biofábrica) y soporte técnico operativo en primera campaña de producción (20,000 plantas). Servicios Forestales & Ambientales (SERFOR S.R.L.). Junín, Perú. 10 pp.

Valencia, L. 2014. Madre de Dios: ¿podemos evitar la tragedia? Políticas de ordenamiento de la minería aurífera. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA). Lima, Perú. 200 pp.

Van Der Smissen, A. 2018. Mercury levels in soils or areas degraded by artisanal and small-scale gold mining in the Peruvian amazon. Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), programa mercurio. 66 pp.

RECUPERANDO EL VERDE DE LA AMAZONIA



 CENTRO DE INNOVACIÓN
CIENTÍFICA AMAZÓNICA

 WAKE FOREST
UNIVERSITY

 USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

