

Guía Práctica

RECUPERACIÓN DE LA SALUD DEL SUELO PARA LA RESTAURACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS POR LA MINERÍA AURÍFERA ALUVIAL EN LA AMAZONÍA PERUANA



Manuel Gabriel Velásquez Ramírez • Ronald Corvera Gomringer
Juan Antonio Guerrero Barrantes • Evert Thomas • Ricardo Russo • Edgar Cusi Auca
Edwin Becerra Lira • Pedro Romel Nascimento Herbay • Adenka Muñoz Ushñahua
Joel Vásquez Bardales • Dennis del Castillo Torres

GUÍA PRÁCTICA

RECUPERACIÓN DE LA SALUD DEL SUELO
PARA LA RESTAURACIÓN DE ÁREAS
DEGRADADAS POR LA MINERÍA AURÍFERA
ALUVIAL EN LA AMAZONÍA PERUANA

© Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC)
Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA)

© Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP)
Proyecto Recuperación de Áreas Degradadas y Manejo sistémico del bosque
www.iiap.gob.pe

© Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)

Autores:

Manuel Gabriel Velásquez Ramírez
Investigador Proyecto Recuperación de Áreas Degradadas (IIAP)

Ronald Corvera Gomringer
Director Regional Madre de Dios (IIAP)

Juan Antonio Guerrero Barrantes
Docente especialista en suelos (UNALM)

Evert Thomas
Investigador (Bioversity International)

Ricardo Russo
Docente Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible (Universidad ULASALLE)

Edgar Cusi Auca
Investigador Proyecto Castaña (IIAP)

Edwin Becerra Lira
Especialista agroforestal (IIAP)

Pedro Romel Nascimento Herbay
Magister en Biotecnología Industrial de la Universidad de São Paulo (USP)

Adenka Muñoz Ushñahua
Especialista laboratorista (IIAP)

Joel Vásquez Bardales
Investigador entomólogo DIBA (IIAP)
Docente e Investigador, Facultad de Ciencias Forestales (UNAP)

Dennis del Castillo Torres
Director Programa Bosques (IIAP)

Revisores científicos:

Dr. Luiz Fernandes Silva Dionisio
Universidade do Estado do Pará (UEPA)

Dr. Walmer Bruno Rocha Martins
Universidade do Estado do Pará (UEPA)

Ministerio del Ambiente:

Modesto Edilberto Montoya Zavaleta
Ministro del Ambiente del Perú (MINAM)

Elizabeth Silvestre Espinoza
Viceministra de Gestión Ambiental (VMGA-MINAM)

Fey Yamina Silva Vidal
Viceministra de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales (VDERN)

Javier Alcides Olivas Valverde
Director General de Calidad Ambiental (DGCA-MINAM)

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP)

Carmen Rosa García Dávila
Presidenta Ejecutiva del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP)

Coordinación, edición de contenidos:

Rocío Marlene Santiváñez Acosta
Directora de Control de la Contaminación y Sustancias Químicas (DCCSQ-MINAM)

Dallas Noelia Gonzales Malca
Especialista en Contaminación de Suelos (DCCSQ-MINAM)

Vicente Gustavo Espinoza Villanueva (DCCSQ-MINAM)
Especialista en Manejo de Ecosistemas Perturbados

Revisión y cuidado de edición:

Ronald Corvera Gomringer
Evert Thomas
Dennis del Castillo Torres
Manuel Martín Brañas

Diseño y diagramación:

Angel Gerardo Pinedo Flor

Ilustración:

Jaime Choclote Martínez

Fotografía:

Pavel Martiarena Huamán
Mariano Agudo Blanco
Betzy Muñoz Días

Primera edición
Junio, 2022

ISBN: 978-612-00-6536-5
Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2021-08035

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – Av. Abelardo Quiñonez 2.5 s/n Maynas Iquitos

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implica, por parte del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), juicio alguno que reemplace guías, manuales u otros instrumentos de gestión ambiental dedicados al manejo de áreas degradadas en el Perú.

Todos los derechos reservados. El IIAP fomenta la reproducción y difusión del material contenido en este producto informativo. Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación bajo la condición de que se cite la fuente.

Citar como: Velásquez, M., Corvera, R., Guerrero, J., Thomas, E., Russo, R., Cusi, E., Becerra, E., Nascimento, P., Muñoz, A., Bardales, J. y Del Castillo, D. (2022). *Guía práctica Recuperación de la salud del suelo para la restauración de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en la Amazonía peruana*. Editorial Barreto.

© IIAP 2022

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE ANEXOS	11
BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES	12
PRESENTACIÓN	17
AGRADECIMIENTOS	19
OBJETIVO	21
CAPÍTULO 1. Degradación de bosques por la minería de oro aluvial en la Amazonía	23
CAPÍTULO 2. La restauración de áreas degradadas y recuperación de la salud del suelo	31
CAPÍTULO 3. Reconocimiento y caracterización de áreas degradadas	39
CAPÍTULO 4. Evaluación del nivel de degradación del área	53
CAPÍTULO 5. Recuperación de la salud del suelo con la siembra de cultivos de cobertura de leguminosas	73
CAPÍTULO 6. Reforestación con especies de alto valor económico y ecológico	97
CAPÍTULO 7. Monitoreo y mantenimiento de plantaciones	115
CAPÍTULO 8. Costo de recuperación de la salud de un suelo degradado por minería aurífera aluvial	127
ANEXO	137
GLOSARIO	147
BIBLIOGRAFÍA	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa conceptual del proceso de obtención de oro en la Amazonía	24
Figura 2. Minería mínimamente mecanizada	25
Figura 3. Minería altamente mecanizada	25
Figura 4. La degradación del ecosistema amazónico por la minería aurífera aluvial	28
Figura 5. Modelo conceptual de degradación del ambiente causada por la minería aurífera aluvial	29
Figura 6. Modelo conceptual de restauración de áreas	33
Figura 7. Modelo conceptual sobre la función del suelo	35
Figura 8. La importancia del suelo en el cumplimiento de los ODS	36
Figura 9. La macrofauna y microbiología del suelo, parte esencial de la salud del suelo	37
Figura 10. Ejemplo de reconocimiento de áreas degradadas para su caracterización en un mapa, tomando en cuenta el área seleccionada y caminos	41
Figura 11. Paisaje degradado por la minería aurífera aluvial en Madre de Dios	42
Figura 12. Subpaisaje cultural (SPC) - <i>Sustrato</i> descubierto (SD)	43
Figura 13. Subpaisaje cultural (SPC) - Suelo cubierto (SC)	43
Figura 14. Subpaisaje cultural (SPC) - Montículos de fragmentos gruesos descubierto (MFGD)	44
Figura 15. Subpaisaje cultural (SPC) - Montículos de fragmentos gruesos con cobertura (MFGC)	44
Figura 16. Mapa de zona de vida en 200 ha de área seleccionada para la restauración	48
Figura 17. Mapa geológico en 200 ha de área seleccionada para la restauración	48
Figura 18. Mapa fisiográfico en 200 ha de área seleccionada para la restauración	49
Figura 19. Mapa de Sub Paisajes Culturales (SPC) en 200 ha de área seleccionada para la restauración	49
Figura 20. Mapa de base en 200 ha de área seleccionada para la restauración en la Reserva Nacional Tambopata. Se muestran las unidades geomorfopedológicas y la ubicación para elaborar de calicatas	51
Figura 21. Materiales para la evaluación de la fertilidad de las áreas degradadas	54
Figura 22. Cuarteo de muestras de suelo como un proceso de homogenizar muestras para obtener una muestra compuesta representativa para análisis de fertilidad	55
Figura 23. Procedimiento para obtención de muestra para determinar la densidad aparente	56
Figura 24. Procedimiento de evaluación de calicatas en el perfil del suelo e identificación de horizontes	57
Figura 25. Perfil del suelo con horizontes, lo que permitirá identificar el mejor tratamiento de recuperación de áreas degradadas	58
Figura 26. Materiales para la evaluación de la calidad del suelo	61
Figura 27. Reconocimiento del área degradada con el objetivo de recuperarla	62
Figura 28. Muestreo sistemático al azar, para identificación de sitios contaminados	63
Figura 29. Selección del área potencial donde realizar el estudio de calidad del suelo	64
Figura 30. Distribución de puntos de muestreo al azar en el área a restaurar	64
Figura 31. Proceso de toma de muestra y preparación para envío al laboratorio	65

Figura 32. Niveles de mercurio (Hg) en suelos no degradados de bosque (BR) y suelos degradados en el SPC como Sustrato descubierto (SD), Suelo cubierto (SC), Montículo de fragmentos gruesos descubierto (MGFD) y Montículo de fragmentos gruesos cubierto (MFGC)	67
Figura 33. Incremento de niveles de mercurio en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial debido al aumento de la materia orgánica y acidez del suelo causada por la vegetación. Se aprecia los cambios en SPCA de Sustrato descubierto (SD) a Suelo cubierto (SC)	68
Figura 34. Mapeo geoestadístico de niveles de mercurio en un área degradada por la minería aurífera aluvial en el distrito de Laberinto, característico por el tipo de Minería mínimamente mecanizada	69
Figura 35. Mapeo geoestadístico de niveles de mercurio en un área degradada por la minería aurífera aluvial en la Comunidad nativa de Kotzimba, característico por el tipo de Minería altamente mecanizada	69
Figura 36. Niveles de mercurio (Hg) en suelos no degradados de bosque (BR) y suelos degradados en el SPC como Sustrato descubierto (SD) y Suelo cubierto (SC) que incluye sedimentos (SED) de pozas de agua artificial, en estación de lluvia y seca	70
Figura 37. La caracterización y planeamiento de las áreas degradadas a recuperar se realizan de mejor manera con el uso de equipo RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) también llamado DRON, el cual toma fotos con alta precisión y resolución.	71
Figura 38. Beneficios de los cultivos de cobertura con leguminosas en suelos degradados por la minería en la Amazonía	75
Figura 39. Planta de la leguminosa <i>Centrosema macrocarpum</i> con una gran formación radicular sobre suelos degradados por la minería aurífera aluvial; el objetivo es recuperar estos suelos	76
Figura 40. Fijación de nitrógeno por las leguminosas en beneficio de la salud del suelo	77
Figura 41. Elaboración de hoyos para la siembra de coberturas con leguminosas	78
Figura 42. Siembra de cultivos de cobertura con leguminosas	79
Figura 43. Kudzu (<i>Pueraria phaseoloides</i>)	81
Figura 44. Centrosema (<i>Centrosema macrocarpum</i>)	83
Figura 45. Stylosanthes (<i>Stylosanthes guianensis</i>)	85
Figura 46. Canavalia (<i>Canavalia ensiformis</i>)	87
Figura 47. Crotalaria (<i>Crotalaria spectabilis</i>)	89
Figura 48. Kudzu (<i>Pueraria phaseoloides</i>) a un año de siembra sobre suelo degradado por la minería aurífera aluvial	92
Figura 49. Centrosema (<i>Centrosema macrocarpum Benth</i>) a un año y medio de siembra sobre suelo degradado por la minería aurífera aluvial	92
Figura 50. Alfalfa tropical (<i>Stylosanthes guianensis</i>) a un año de siembra sobre suelo degradado por la minería aurífera aluvial	93
Figura 51. Canavalia (<i>Canavalia ensiformis</i>) a un año de siembra sobre suelo degradado por la minería aurífera aluvial	93
Figura 52. Dioclea (<i>Dioclea virgata</i>) a un dos sobre montículos de fragmentos gruesos en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial	94

Figura 53. Dioclea (<i>Dioclea virgata</i>) en proceso de floración y creciendo exitosamente sobre áreas degradadas por la minería aurífera aluvial	94
Figura 54. La alfalfa tropical (<i>Stylosanthes guianensis</i>) es un gran atrayente de abejas en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial; estas últimas son las más importantes polinizantes de la naturaleza	95
Figura 55. Plantación de planta forestal <i>Jacaranda copaia</i> (Achiagua) sobre un suelo degradado en proceso de recuperación con <i>Pueraria phaseoloides</i> (Kudzu).	99
Figura 56. Diseño de vivero tipo túnel	102
Figura 57. Construcción del Vivero tipo túnel	103
Figura 58. Techado del vivero tipo túnel	103
Figura 59. Cama de germinación	104
Figura 60. Cama de repique	105
Figura 61. Preparación del sustrato y bolsas de almácigo	106
Figura 62. Vista de planta del vivero	106
Figura 63. Riego de los almácigos	107
Figura 64. Jabas para el transporte de plántones al campo definitivo	108
Figura 65. Transporte de plántones al campo definitivo	109
Figura 66. Marcado del área a reforestar	110
Figura 67. Preparación del hoyo que recibirá el plánton o estaca	111
Figura 68. Cortado y retiro de la bolsa	112
Figura 69. Trasplante en campo definitivo	113
Figura 70. Poda de mantenimiento de los cultivos de cobertura con leguminosas como <i>Centrosema macrocarpum</i> para evitar que trepen sobre los árboles en crecimiento	116
Figura 71. Planta de <i>Stylosanthes guianensis</i> de hábito erecto y que no trepa sobre otras plantas	117
Figura 72. Deshierbe de la plantación en proceso de recuperación	118
Figura 73. Labores para evitar incendios forestales	119
Figura 74. Principales síntomas de deficiencias en plantas	120
Figura 75. Mulching de kudzu (<i>Pueraria phaseoloides</i>) sobre la plantación	121
Figura 76. Poda de árboles en el campo de restauración de áreas degradadas	122
Figura 77. Raleo y beneficio de plantas	123
Figura 78. Recalce de plántones	124
Figura 79. Árbol de amasisa (<i>Erythrina ulei</i>) con dos años de trasplante en campos degradados por la minería aurífera aluvial, creciendo vigorosamente sobre la leguminosa <i>Centrosema macrocarpum</i>	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de pequeña minería y minería artesanal	26
Tabla 2. Categorías de los Subpaisajes Culturales de las áreas degradadas por la minería aurífera aluvial	42
Tabla 3. Las especificaciones técnicas para ejecutar el levantamiento semidetallado	46
Tabla 4. Unidades geomorfológicas en el área de estudio	50
Tabla 5. Características de los Subpaisajes Culturales de las áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en la Comunidad Nativa de San Jacinto, Reserva Nacional Tambopata y la comunidad de Fortuna	59
Tabla 6. Algunos perfiles de suelos no degradado de bosque (BR) y suelos degradados en el SPC Suelo cubierto (SC) y Montículo de fragmentos gruesos cubierto (MGFC), clasificados bajo el sistema Soil Taxonomy 2014 y WRB 2015	60
Tabla 7. Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de suelo para mercurio	66
Tabla 8. Cartilla de información sobre <i>Pueraria phaseoloides</i> (Kudzu)	80
Tabla 9. Cartilla de información sobre <i>Centrosema macrocarpum</i>	82
Tabla 10. Cartilla de información sobre <i>Stylosanthes guianensis</i> (Alfalfa Tropical)	84
Tabla 11. Cartilla de información sobre <i>Canavalia ensiformis</i>	86
Tabla 12. Cartilla de información sobre <i>Crotalaria spectabilis</i> (Crotalaria)	88
Tabla 13. Significativa mejora de la fertilidad física, química y biológica del suelo en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en suelos de SPC Sustrato descubierto, en la Comunidad Nativa de San Jacinto, Madre de Dios	91
Tabla 14. Especies de alto valor económico y ecológico para la restauración de áreas degradadas	100
Tabla 15. Reconocimiento, caracterización, y evaluación del nivel de degradación del área degradadas	128
Tabla 16. Recuperación de la salud del suelo con la siembra de cultivos de cobertura leguminosas	129
Tabla 17. Reforestación con especies de alto valor económico y ecológico	130
Tabla 18. Monitoreo y mantenimiento de plantaciones	132
Tabla 19. Costo total de la restauración de 100 ha de áreas degradadas	133
Tabla 20. Costo total y por hectárea en la restauración con cultivos de cobertura leguminosas y especies de alto valor económico y ecológico de 100, 500 y 1000 ha	133
Tabla 21. Comparación de la restauración con cultivos de cobertura leguminosas y especies de alto valor económico y ecológico con la reforestación convencional	134
Tabla 22. Costo total del estudio especializado del área a recuperar, con la recuperación de la salud de suelo con cultivos de cobertura y la reforestación con especies de alto valor ecológico y económico	139
Tabla 23. Cartilla de interpretación	140
Tabla 24. Modelo de cadena de custodia	144
Tabla 25. Número de puntos de muestreo	146

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Normas	137
Anexo 2. Parámetros para analizar muestras de suelo	139
Anexo 3. Interpretación de análisis de caracterización de suelo	140
Anexo 4. Índice del informe de sitios contaminados	142
Anexo 5. Modelo de cadena de custodia	144
Anexo 6. Estándares de Calidad Ambiental para Suelos	145
Anexo 7. Número de puntos de muestreo de identificación	146

BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES



Manuel Gabriel Velásquez Ramírez

Magister Especialista en suelo e Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Responsable del proyecto recuperación de áreas degradadas y manejo sistémico del bosque y co-responsable del Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA) y Laboratorio de Análisis de Fertilidad es Suelos y Plantas (LAFES), del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Investigador dedicado al estudio de protección del suelo y bosques, especialmente de los ecosistemas amazónicos. Ha implementado diferentes proyectos de investigación participativa enfocados en la restauración ecológica de la tierra, la calidad del suelo y el manejo forestal sistemático de áreas degradadas, todos involucrados con comunidades humanas, financiados por el estado peruano y los fondos del Banco Mundial.

Ronald Corvera Gomringer

Nacido en Puerto Maldonado, departamento de Madre de Dios (Perú). Ingeniero agrónomo con grado de maestría en Agronomía y suelos. Investigador senior calificado por CONCYTEC-RENACYT con más de 20 años de experiencia. Director del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana - filial Madre de Dios. Involucrado en temas de mejoramiento genético forestal, diversidad genética, manejo y conservación de recursos naturales en la Amazonía, recuperación de áreas degradadas por actividades antropogénicas y modelamiento e inventario de gases de efecto de invernadero. Condecorado el 2013 con la Orden de la Ingeniería Peruana, máxima distinción otorgada por el Colegio de Ingenieros del Perú.



Juan Guerrero Barrantes

Ingeniero Agrónomo, especialista en suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Master en Fertilizantes y Medio Ambiente en la Universidad Autónoma de Madrid-España. Experiencia docente e investigador desde 1982 en manejo y recuperación de suelos degradados por contaminación y erosión, reciclaje de residuos orgánicos, infraestructura natural y adaptación de los cultivos al cambio climático. Asesor de instituciones del Estado: MINAGRI, MINAM, MINEM Cooperación Internacional: FAO, IICA, Unión Europea, COTESU, PNUD y CAN.



Evert Thomas

Científico de Bioversity International, su investigación se centra en mejorar la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos forestales y su aplicación en proyectos de restauración de árboles en América latina y Caribe. Con desarrollo de modelado de distribución, el análisis de la diversidad espacial, genética de poblaciones, la arqueología y la ciencia sociales. Actualmente su actividad se centra en la restauración de bosques tropicales estacionalmente secos en Colombia y Perú.

Ricardo Russo

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, con Maestrías en Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y de Administración de Empresas de la Universidad Autónoma de Centro América. Tiene Doctorado Forestal de la Universidad de Yale, Estados Unidos y en Educación de la Universidad de La Salle, Costa Rica. Fue Profesor de la Universidad EARTH, Costa Rica, por dos décadas. Actualmente es Profesor-Investigador ad honórem de Agricultura y Cambio Climático, en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica, en Ochomogo, Cartago. Ha tenido una activa participación en agroforestería y restauración de áreas degradadas.



Edgar Cusi Auca

Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD) y responsable del Proyecto Castaña del IIAP, con 30 años de experiencia en manejo de bosques, domesticación y propagación de especies forestales, diseño y establecimiento de plantaciones forestales y agroforestales en la Amazonía peruana.



Edwin Becerra Lira

Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios y Magister en Ciencias con mención: Ecología y Gestión Ambiental, de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Es especialista agroforestal en la recuperación de áreas degradados por la minería aurífera aluvial, con experiencia en muestreo de suelo y monitoreo ambiental con el uso de RPAS y herramientas de Sistemas de Información Geográfica.

Adenka Estela Muñoz Ushñahua

Ingeniera Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Trabaja en temas ambientales y forestales como, muestreo y análisis de la calidad del agua y suelo. Actualmente es asistente laboratorista del Laboratorio de Análisis de Fertilidad y Análisis de Suelo y Planta (LAFES) y Laboratorio de Mercurio y química Ambiental (LAMQA) en el Centro experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana en Madre de Dios.



Joel Vásquez Bardales

Biólogo, maestro en desarrollo agrario sostenible por la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Cuenta con más de veintitrés años de experiencia en entomología amazónica. Especialista en entomología. Con investigaciones sobre biología, adaptación reproductiva y manejo sostenible de mariposas con fines de bionegocios, prospección, caracterización y aspectos biológicos de insectos plagas, y controladores biológicos de frutales amazónicos, especies forestales, vectores de enfermedades humanas, evaluación de macrofauna del suelo con énfasis en fertilización bio-orgánica y servicios ecosistémicos.



Pedro Romel Nascimento Herbay

Magister en Biotecnología Industrial de la Universidad de São Paulo (USP) en Brasil e Ingeniero Agroindustrial de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD). Especialista en desarrollar bioprocesos que permiten el uso integral de la materia prima, utilizando principalmente los residuos agrícolas e agroindustriales para el desarrollo de cultivos microbianos y tratamiento de biomasa con el objetivo de obtener bioproducto de alto valor agregado.

Dennis Del Castillo Torres

Director del programa BOSQUES del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Tiene más de veinticinco años de experiencia implementando proyectos integrales de desarrollo rural, manejo de bosques y suelos, conservación de la biodiversidad, domesticación y mejoramiento de especies amazónicas, y uso sostenible de recursos naturales en la Amazonía peruana, Madagascar (África Oriental), Cabo Verde (África Occidental) y Bolivia. Amplia experiencia en dirección de instituciones de investigación, pago por servicios ambientales y transferencia tecnológica.





Río Las Piedras, Madre de Dios

PRESENTACIÓN

Esta guía práctica denominada ***Recuperación de la salud del suelo para la restauración de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en la Amazonía peruana***, pretende ilustrar de forma sencilla y práctica el proceso y los fundamentos de restauración de áreas degradadas por la minería de oro aluvial en la Amazonía.

En este aspecto, es necesario destacar que la guía no reemplaza los diversos instrumentos de gestión ambiental del Perú, como manuales, guías y leyes dedicadas a la gestión de áreas degradadas; sino, por el contrario, se las sistematiza y adecúa para lograr la restauración de áreas degradadas mineras aluviales bajo las condiciones tropicales, húmedas y de alta biodiversidad en Madre de Dios.

Ahora bien, el objetivo de la guía es atender las inquietudes de comunidades nativas, mineros formales e informales, institutos de investigación, autoridades, fiscales especializados en materia ambiental, organismos públicos, organismos privados y ciudadanía en general, interesada en saber los pasos efectivos para restaurar bosques en las zonas mineras de oro ubicadas en la Amazonía peruana.

Debido a esto, la guía hace énfasis, fundamentalmente, en la recuperación de la salud del suelo con la siembra de cultivos de cobertura leguminosas y la posterior reforestación con plantas con alto valor ecológico y económico, con un enfoque ecosistémico y brindando las orientaciones para la restauración efectiva de bosques.

Por otra parte, dado que el sector ambiental se encuentra integrado por varios organismos públicos ejecutores tales como el Instituto Geofísico del Perú (IGP), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI); por organismos públicos técnicos especializados como el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP)

y Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) es que, la propuesta de esta guía, cobra importancia, ya que pretende extender el enfoque de restauración de bosques degradados por la minería aurífera bajo un criterio sistémico y en sucesiones, con la finalidad de garantizar la productividad de estas áreas degradadas a mediano y largo plazo.

En efecto, esta guía es de gran importancia, puesto que, al mostrar el proceso de restauración, es posible garantizar la recuperación de la salud del suelo afectado y devolver a su estado inicial a los ecosistemas que fueron dañados.

La guía se encuentra dividida en 8 capítulos, los cuales son descritos a continuación de manera detallada:

1. Degradación de bosques amazónicos por la minería de oro aluvial en la Amazonía; 2. La restauración de áreas degradadas y recuperación de la salud del suelo; 3. Reconocimiento y caracterización de áreas degradadas; 4. Evaluación del nivel de degradación del área; 5. Recuperación de la salud del suelo con la siembra de cultivos de cobertura de leguminosas; 6. Reforestación con especies de alto valor económico y ecológico; 7. Mantenimiento de plantaciones con cultivos de cobertura de leguminosas; 8. Costo de recuperación de la salud de un suelo degradado por minería aurífera aluvial.

Por último, esta guía es un esfuerzo conjunto del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) junto al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT) y la comunidad nativa de San Jacinto, bajo el proyecto de investigación científica “Recuperación de suelos en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial mediante la sucesión de cultivos de cobertura y plantas de uso potencial agroforestal en la región Madre de Dios” Convenio 141 – 2017 FONDECYT.



Aguajales, Madre de Dios

AGRADECIMIENTOS

De manera especial, se reconoce la colaboración estrecha de la comunidad nativa de San Jacinto, la cual brindó un espacio en su territorio para el desarrollo de este proyecto, empezando, de este modo, la recuperación ambiental de su territorio; conjuntamente, se agradece a la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada, Los Rebeldes de Madre de Dios, por su predisposición a trabajar juntos y al Gobierno Regional de Madre de Dios por su apoyo institucional.

Asimismo, en la elaboración y revisión de este documento se agradece muy especialmente a la profesional Vilma Morales Quillama, Juan Antonio Guerrero Barrantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Evert Thomas de la organización científica Bioversity International, a Ricardo Russo de la Universidad La Salle (ULaSalle) y a Ulises Roman Montalban de la Universidad Nacional de Piura (UNP), quienes aportaron con su rigor científico en la presente publicación. Adicionalmente, se reconoce el soporte de Rocío Marlene Santiváñez Acosta, directora de Control de la Contaminación y Sustancias Químicas del MINAM y a los especialistas ambientales Dallas Noelia Gonzales Malca y Vicente Gustavo Espinoza Villanueva, quienes fortalecieron los aspectos normativos y de gestión ambiental.



Lago Tres Chimbadas, Madre de Dios

OBJETIVO

La guía Recuperación de la salud del suelo para la restauración de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en la Amazonía peruana, tiene como finalidad proporcionar información confiable, útil y de fácil comprensión para que pueda ser utilizada en programas y proyectos de reforestación, con fines de restauración de ecosistemas degradados en la Amazonía.

Esta guía busca ser una fuente de consulta para comunidades nativas, mineros formales e informales, institutos de investigación especializados, fiscales especializados en materia ambiental, asesores, técnicos, propietarios de concesiones de reforestación, estudiantes, organismos públicos y privados, y ciudadanía, que necesiten saber los pasos consecutivos y efectivos para restaurar los bosques en las zonas mineras de oro ubicadas en la Amazonía peruana y que se encuentren comprometidos con la conservación de la biodiversidad.



Bosques degradados en Madre de Dios a causa de la minería aurífera aluvial

CAPÍTULO 1

DEGRADACIÓN DE BOSQUES POR LA MINERÍA DE ORO ALUVIAL EN LA AMAZONÍA

Entiéndase la degradación de bosques amazónicos por la minería de oro aluvial en la Amazonía, como pérdida de la fertilidad del suelo, el proceso consecutivo de deforestación y de biodiversidad, aumento de emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI), alteración de los cursos de agua y su calidad como resultado del mercurio utilizado en la amalgamación de oro, entre otros contaminantes ambientales que signifiquen alto riesgo para la salud del hombre y el ambiente.

La minería de oro, pese a ser una fuente importante de riqueza, ha generado graves conflictos socioambientales en diversos países amazónicos de Latinoamérica, Asia y África. Además, ha agravado problemas a nivel mundial como el cambio climático, el riesgo de contaminación por mercurio y la pérdida de biodiversidad.

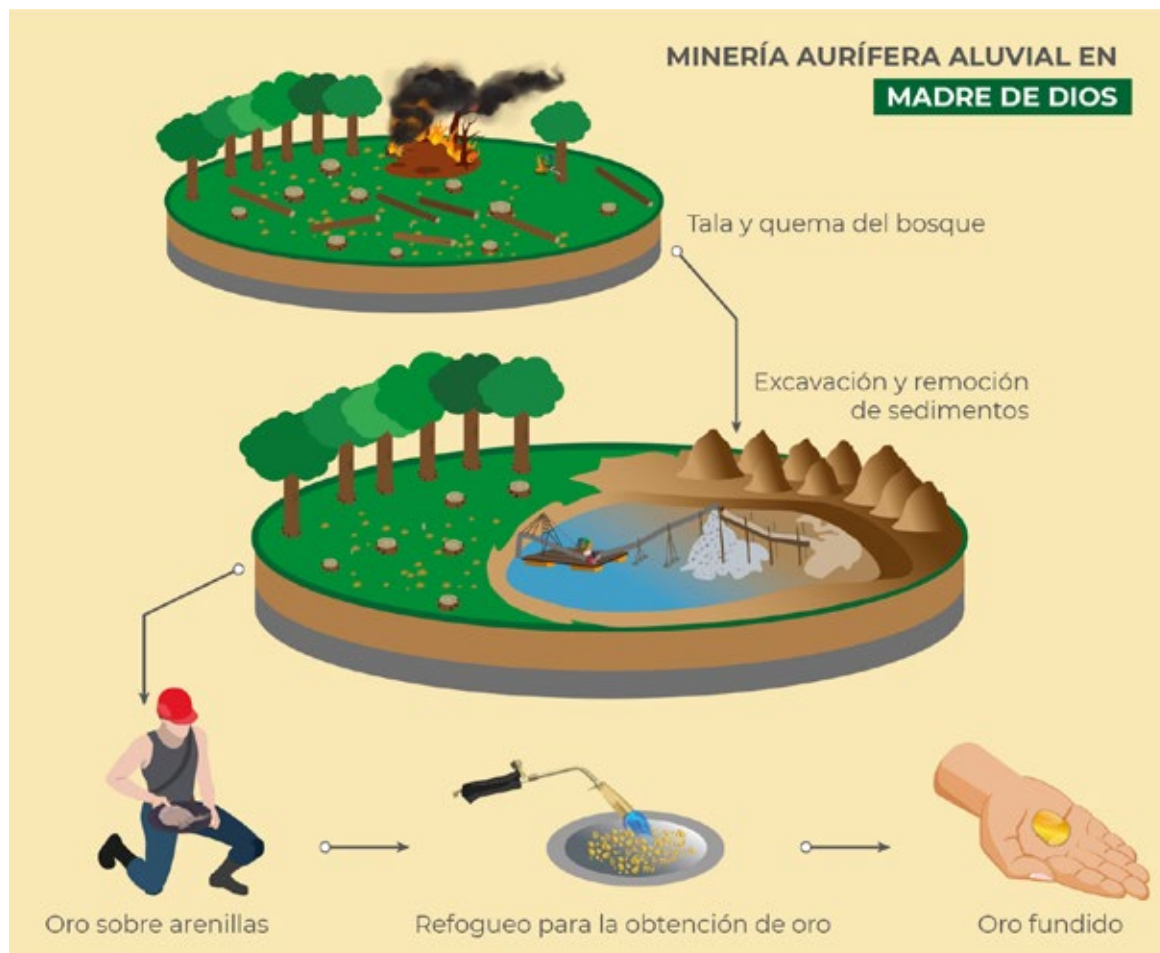
¿Qué es la minería aurífera aluvial?

Es una minería de tipo aluvial, que se encuentra dedicada a la extracción de oro, la cual está situada debajo de la superficie, es decir, en el fondo de los ríos, lechos antiguos de ríos y quebradas. Cabe resaltar que los depósitos de oro aluvial son formados con el paso del tiempo cuando un río corre; en otros términos, el poder erosivo del agua elimina la roca circundante con oro, adoptando la forma de polvo o escamas muy finas como resultado de este proceso.

En el caso de Madre de Dios, el oro procede de la cordillera de los Andes, en el límite con el departamento de Cusco (Palacios *et al.*, 1996). La extracción de oro aluvial implica excavación y remoción de sedimentos, la tala y quema de bosque, empleo continuo de fuentes de agua, amalgamación de mercurio con oro sobre arenillas auríferas y quema o “refogado” para la adquisición de oro (Salinas, 2007).

Figura 1

Mapa conceptual del proceso de obtención de oro en la Amazonía



Existen dos tipos de minería aurífera aluvial. La primera alude a la minería altamente mecanizada en la cual se utiliza maquinaria pesada (cargadores frontales, excavadoras y camiones de volteo); la segunda es la minería mínimamente mecanizada, donde se usan bombas de succión, motores diésel y cañones de agua de alta presión, siendo esta última la más común en el Amazonas (Caballero, 2018).

Figura 2

Minería mínimamente mecanizada (2019)



Figura 3

Minería altamente mecanizada (2016)



La minería aurífera aluvial, adicionalmente, también ha sido clasificada en pequeña minería o minería artesanal, de acuerdo a su dimensión máxima de derechos y capacidad instalada, como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 1

Clasificación de pequeña minería y minería artesanal

RUBRO	PEQUEÑA MINERÍA	MINERÍA ARTESANAL
Titular	Persona natural, conjunto de personas naturales, personas jurídicas formadas por personas naturales, cooperativas mineras o centrales de cooperativas mineras.	
Tipo de actividad	Actividad de explotación o beneficio directo de minerales desarrollada de forma habitual por sus titulares.	Actividad de explotación o beneficio directo de minerales desarrollada de forma habitual y como medio de sustento de sus titulares, que se realiza con métodos manuales o equipos básicos.
Dimensiones máximas del derecho minero	Hasta 2000 ha entre denuncios, petitorios y concesiones mineras.	Hasta 1000 ha, entre denuncios, petitorios y concesiones mineras; o mediante la suscripción de acuerdos o contratos con los titulares mineros.
Capacidad instalada máxima	Minería metálica: 350 toneladas métricas por día.	Minería metálica: 25 toneladas métricas por día.
	Minería no metálica y materiales de construcción: 1200 toneladas métricas por día.	Minería no metálica y materiales de construcción: 100 toneladas métricas por día.
	Yacimientos metálicos tipo placer: 3000 m³	Yacimientos metálicos tipo placer: 200 m³.

Nota: Tomado de Congreso de la República (2002) y Ministerio del Ambiente (2017a)

¿Cómo la minería degrada el ecosistema amazónico?

La minería aurífera es una forma de degradación de los bosques, la cual incide de modo directo en la cobertura vegetal, el suelo, el agua y el paisaje.

La cobertura vegetal

- Deforestación de bosques nativos (prístinos) sin reposición.
- Libera carbono y otros gases de efecto de invernadero al ambiente, lo cual agrava el cambio climático.
- Provoca la pérdida de la diversidad biológica en especies de plantas y animales, hongos y microorganismos del suelo.

El suelo (Velásquez *et al.*, 2021; Velásquez *et al.*, 2020)

- Provoca la pérdida de materia orgánica, escorrentía y lixiviación de partículas pequeñas como la arcilla y el limo, formándose suelos arenosos con baja fertilidad.
- Promueve la pérdida de capacidad de retención de humedad del suelo, lo cual importante para el sustento de la biodiversidad, particularmente en épocas menos lluviosas.
- Promueve suelos descubiertos de vegetación expuestos a altas temperaturas.
- Eliminación casi totalmente los micro y macro organismos del suelo.
- Aumenta el riesgo de contaminación por mercurio y otros metales pesados.

El agua

- Incrementa la turbiedad del agua.
- Provoca el aumento de los coliformes fecales.
- Acumula sedimentos con altos niveles de mercurio.
- Altera las condiciones físico-químicas y microbiológicas de los ecosistemas acuáticos.
- Induce el proceso de eutrofización por bajos niveles de oxígeno.

El paisaje

- Altera la topografía por acumulación de montículos de cascajo (gravas y guijarros).
- Disminuye severa la biodiversidad.
- Genera bosques secundarios con ecosistemas altamente frágiles.
- Forma nuevos cuerpos de agua o lagunas artificiales.

Figura 4

La degradación del ecosistema amazónico por la minería aurífera aluvial (2015)



Figura 5

Modelo conceptual de degradación del ambiente causada por la minería aurífera aluvial





Siembra de leguminosas de rápido crecimiento en zonas impactadas por la minería aurífera aluvial en Comunidad Nativa de San Jacinto

CAPÍTULO 2

LA RESTAURACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS Y RECUPERACIÓN DE LA SALUD DEL SUELO

La restauración ecológica consiste en ayudar a la recuperación de un ecosistema, área o paisaje dañado, degradado o destruido, con la finalidad de retomar su trayectoria ecológica y servicios ecosistémicos, conservar la diversidad biológica, mantener la resiliencia y restablecer la funcionalidad de los paisajes y ecosistemas (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2018).

En este proceso, el suelo tiene un papel fundamental, puesto que si son saludables, ayudan a alcanzar el funcionamiento óptimo de los ecosistemas vivos, logrando la producción primaria y la calidad del agua y del aire.

El suelo, asimismo, permite cumplir los objetivos del Desarrollo Sostenible con el propósito de velar por el bienestar del planeta y las generaciones venideras

¿Cuáles son los principios de restauración ecológica?

Los principios de restauración ecológica de áreas degradadas son (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2018):

1. La restauración incrementa la integridad biótica y su funcionalidad en los paisajes y ecosistemas

La restauración permite recuperar áreas tomando en consideración la compleja relación entre los seres vivos, principalmente, las especies nativas, a fin de lograr sostener el nuevo ecosistema.

2. La restauración es sostenible a largo plazo

El nuevo ecosistema debe ser capaz de autosostenerse con la mínima intervención del hombre y en armonía con el ambiente actual y prácticas tradicionales de las comunidades.

3. La restauración se basa en conocimiento

La restauración incorpora el conocimiento cultural e histórico de las comunidades, además del científico en relación con las prácticas silviculturales con especies nativas, a fin de adquirir la información necesaria que permita mantener ecosistemas restaurados.

4. La restauración beneficia y compromete a la sociedad

La restauración debe incluir la participación directa de personas, de tal modo que la población pueda comprender a los ecosistemas y los beneficios que estos conllevan.

5. La restauración interactúa con el paisaje circundante

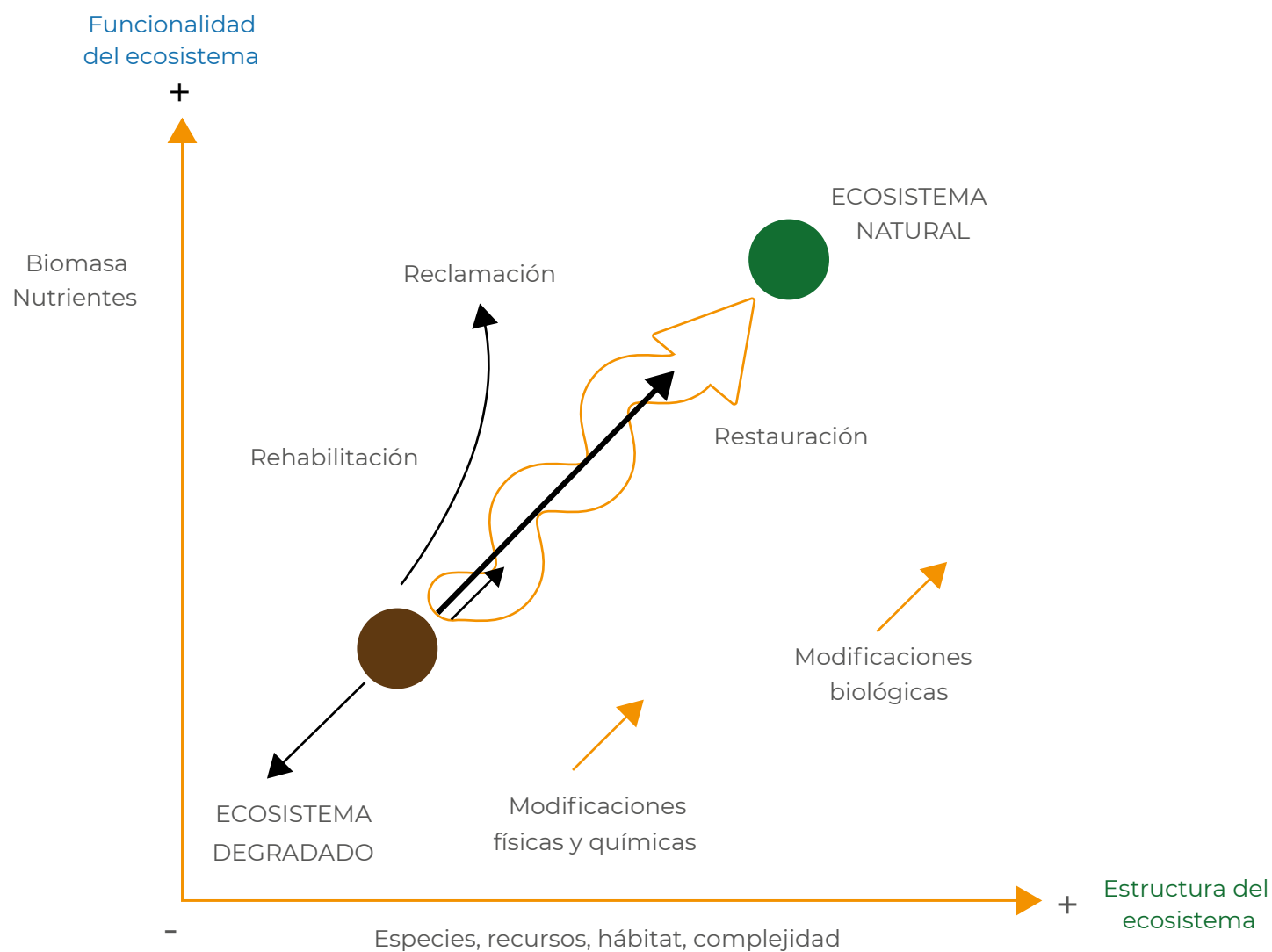
La restauración del área se acopla a la recuperación y mantenimiento de la conectividad de paisajes en armonía con las prácticas de las comunidades.

6. La restauración contribuye a mitigar los efectos y reducir la vulnerabilidad del cambio climático.

La restauración apunta a disminuir los efectos del cambio climático a nivel mundial, para lo cual aumenta la capacidad de adaptación con ecosistemas resilientes.

Figura 6

Modelo conceptual de restauración de áreas



Nota: Adaptado de Hobbs y Harris (2001); Bradshaw (1987); Whitmore (2010)

¿Qué es la salud del suelo?

La salud del suelo es una condición que permite un adecuado y continuo funcionamiento de un ecosistema vivo, dentro de los límites de uso del paisaje, debido a que sostiene la producción biológica, promueve la salud de plantas, animales y el ser humano, y mantiene la calidad del agua y del aire, los cuales son de gran importancia para todo el planeta y para las generaciones futuras (Doran y Safley, 1997; Acton y Gregorich, 1995; Roming *et al.*, 1995; Karlen *et al.*, 1997).

¿Cuáles son las funciones del suelo?

El suelo tiene cinco funciones esenciales para el ambiente (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2020):

1. Regulación hídrica

El suelo ayuda a controlar el flujo de la lluvia, el agua de riego y el deshielo. Así también, una vez que el contenido del agua fluye sobre o hacia la tierra y por medio del suelo, ocurren todos los procesos del ciclo hidrológico, esto es, infiltración, percolación, escorrentía superficial, evaporación y evapotranspiración.

2. Soporte de la vida de plantas y animales

La productividad y diversidad de los seres vivos depende del suelo.

3. Filtrado y reducción del efecto de contaminantes potenciales

La materia orgánica y los minerales en el suelo son responsables de amortiguar, filtrar, degradar, desintoxicar e inmovilizar contaminantes orgánicos e inorgánicos, además de los subproductos provenientes de los municipios, industrias y los depósitos de la atmósfera, protegiendo, de este modo, la calidad de las agua superficiales y subterráneas.

4. Reciclaje de nutrientes

El carbono, el fósforo, el nitrógeno, entre otros nutrientes esenciales para la vida se almacenan, transforman y reciclan en el suelo.

5. Estabilidad y soporte físico

La estructura del suelo brinda un medio para el crecimiento de las raíces de las plantas, además de servir como apoyo para las estructuras humanas.

Figura 7

Modelo conceptual sobre la función del suelo

Funciones del SUELO



Los suelos aportan servicios ecosistémicos que permiten la vida en la Tierra

LEYENDA

01. Purificación del agua y reducción de contaminantes del suelo.
02. Regulación del clima.
03. Ciclo de nutrientes.
04. Hábitat para organismos.
05. Regulación de inundaciones.
06. Fuente de productos farmacéuticos y recursos genéticos.
07. Base para las infraestructuras humanas.
08. Suministro de materiales de construcción.
09. Herencia cultural.
10. Suministro de alimentos, fibras y combustibles.
11. Retención de carbono.

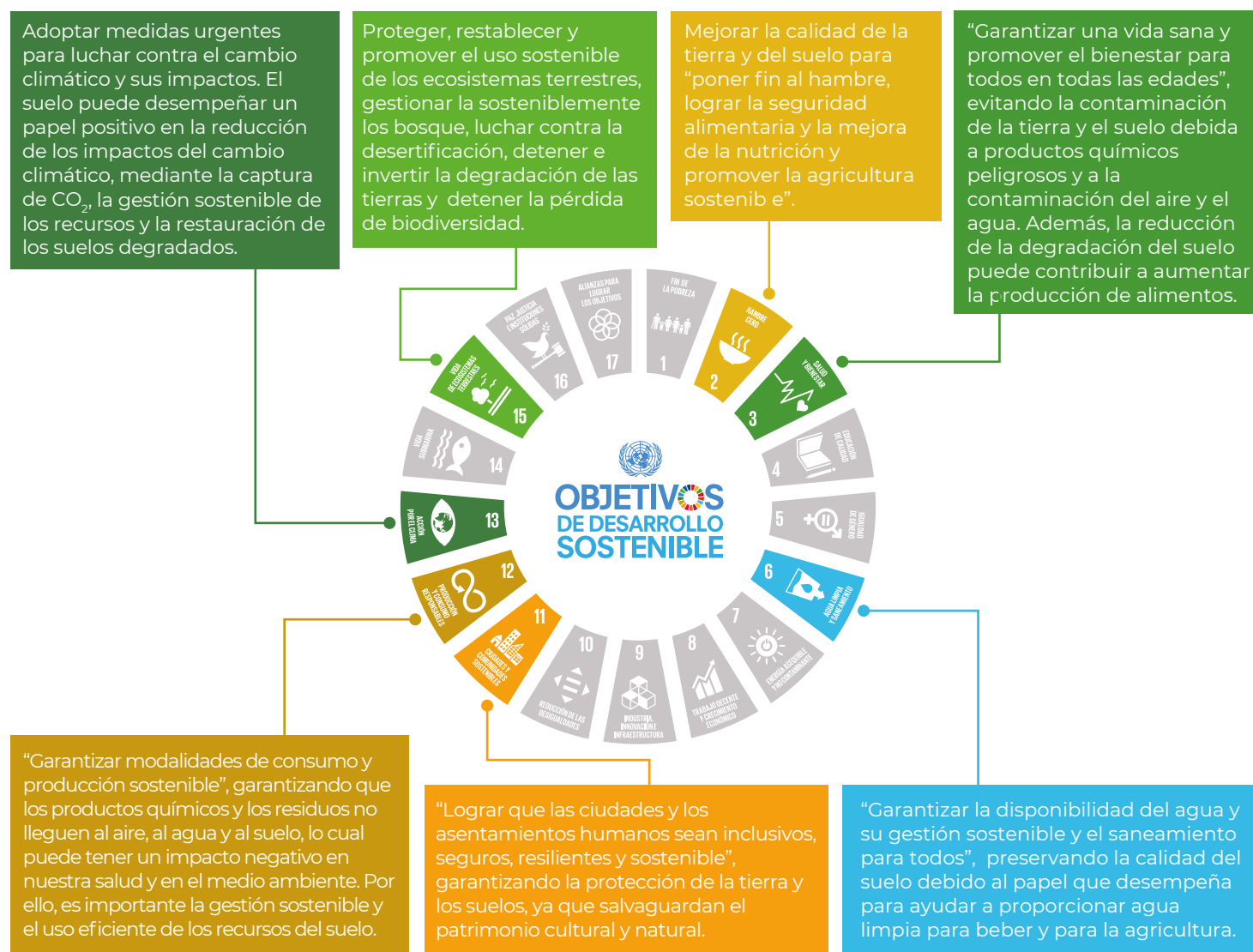
Nota: Adaptado de Food and Agriculture Organization of United Nations (2015)

¿Cómo el suelo contribuye al desarrollo sostenible?

Los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se encuentran enfocados en proteger el planeta, eliminar la pobreza y garantizar la prosperidad para todos. Para ello, en el 2015 y con la participación de líderes mundiales, estos temas fueron tratados en el marco de la “Agenda 2030” con la finalidad de transformar el mundo en 15 años, tomando en consideración la salud de la tierra y el suelo, que son necesarios para garantizar su uso sostenible a través del tiempo.

Figura 8

La importancia del suelo en el cumplimiento de los ODS



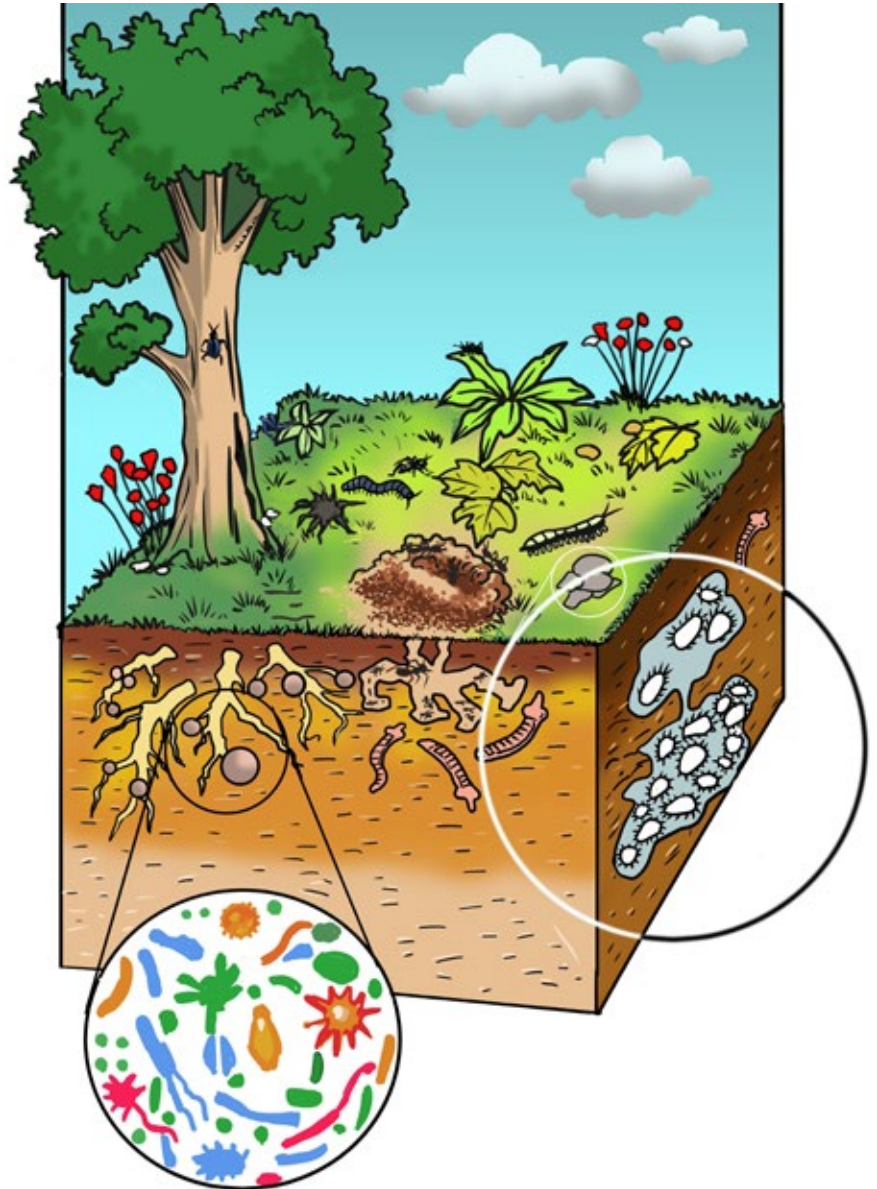
Nota: Adaptado de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2021)

¿Qué es la macrofauna del suelo?

En el suelo vive una de las comunidades biológicas más importantes y diversas del planeta, denominada *macrofauna del suelo*, la cual cumple numerosas funciones edáficas como facilitar nutrientes a las raíces de las plantas; así también, se encuentran los principales artrópodos e invertebrados denominados *ingenieros del ecosistema*, los cuales son las lombrices, termitas y hormigas que forman agregados biológicos en el suelo. En relación con las lombrices, estos son anélidos invertebrados y excelentes aradores naturales que se alimentan de la materia orgánica del suelo, cuyos excrementos (turrículos) están cargados de nutrientes y hormonas de crecimiento que favorecen el desarrollo de las plantas. Las hormigas, por su parte, favorecen, con anidamientos, a la fertilidad del suelo y, por último, las termitas ayudan a descomponer la materia orgánica que proporciona nutrientes al suelo para el desarrollo de los vegetales. En este sentido, la macrofauna es prestadora de servicios ecosistémicos al suelo porque facilita la provisión de nutrientes, la regulación y el almacenamiento del agua, además de mantener la estructura del suelo, regular la temperatura, preservar la biodiversidad del suelo y actividad biológica. Así también, sus galerías permiten la entrada de oxígeno y del agua que se depositan en sus nidos e influyen en el ciclo de la materia orgánica y en la disponibilidad de nutrientes asimilables por las plantas (Giller *et al.*, 1997; Jiménez *et al.*, 2003; Lavelle *et al.*, 2014; Lobry de Bruyn y Conacher, 1990; Sanabria, Lavelle y Fonte, 2014; Farji, 1992).

Figura 9

La macrofauna y microbiología del suelo, parte esencial de la salud del suelo





Reconocimiento de áreas impactadas por la minería aurífera aluvial en la Reserva Nacional Tambopata

CAPÍTULO 3

RECONOCIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS

Antes de recuperar un área degradada es fundamental conocer bien sus características, es decir, su ubicación, facilidad de acceso, presencia de pozas de agua, tipo de plantas aledañas, montículos de gravas, zonas regeneradas por la naturaleza, bosque virgen cercano y espacios desnudos del área degradada, que requiera iniciar las acciones para recuperar la salud del suelo.

Así también, resulta necesario reconocer que el proceso de restauración de áreas degradadas implica cumplir con las normativas vigentes para este tipo de minería y atender problemas usuales, como la tenencia de tierra y conflictos de territorio. En este aspecto, el lector debe tomar en cuenta estos puntos para poder iniciar el proceso de restauración.

¿Cuáles son las características del mapa del área a restaurarse?

Para el reconocimiento y caracterización del área degradada a ser recuperada, se recomienda hacer un plan siguiendo los siguientes pasos:

1. Elaboración de un mapa referencial del área degradada

Se debe comenzar recorriendo el área degradada con el objetivo de ubicar cada detalle en un mapa en el que se encontrarán los siguientes elementos:

- Accesibilidad de caminos y trochas cercanas
- Presencia de aguajales, quebradas y ríos
- Pozas de agua
- Zonas inundables
- Montículos de gravas
- Espacio sin vegetación destinada a la restauración
- Zonas de operaciones mineras en ejecución
- Infraestructura de operaciones mineras (campamentos y almacenes cercanos)
- Bosque virgen y bosque secundario (purma)
- Concesiones mineras y estatus de formalización
- Territorio de comunidades

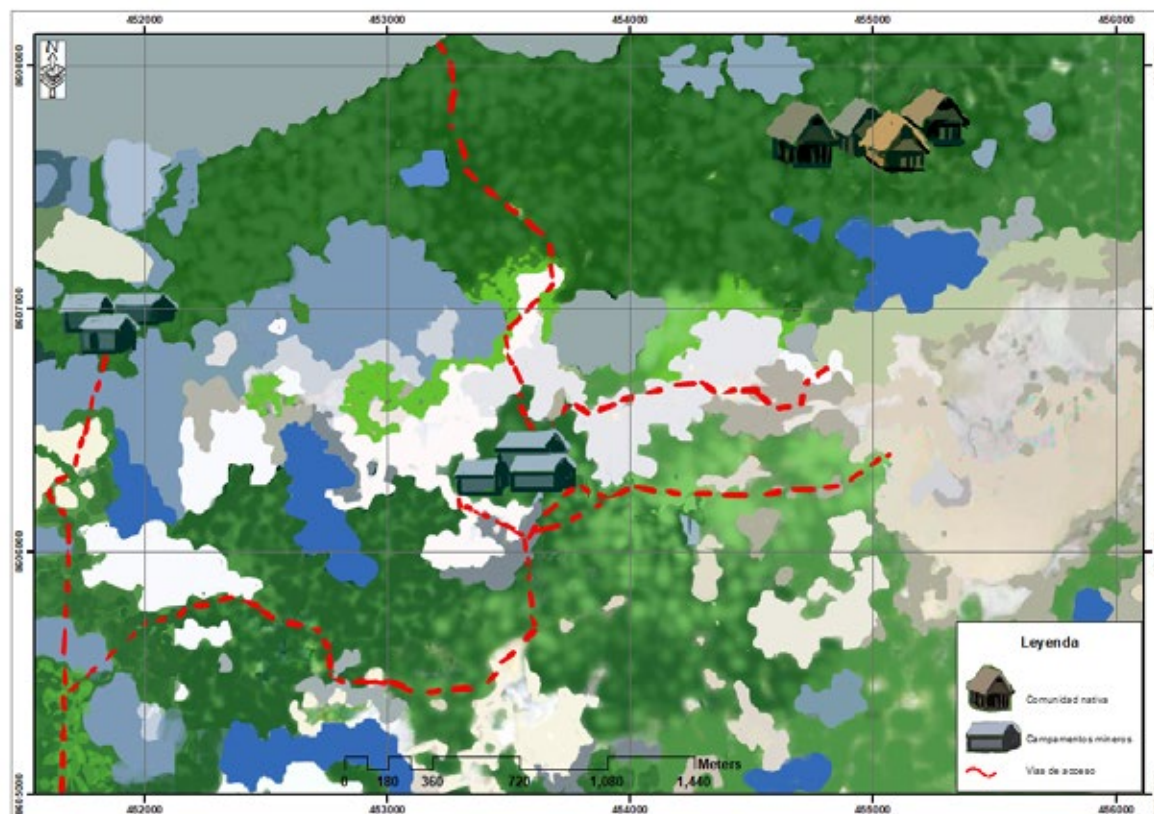
Ahora bien, en el recorrido del área se puede utilizar el equipo de ubicación GPS (Global Positioning System), lápiz y papel. También se puede emplear un equipo DRON o también denominado *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) para obtener fotografías aéreas de varias hectáreas en corto tiempo. Cabe destacar que, en caso de que haya facilidad de asesoramiento, se podrá elaborar un mapa topográfico con programas computacionales.

Los mapas deben tener, como mínimo, la siguiente información:

- Distrito, provincia, departamento
- Datos personales del profesional encargado de la información
- Nombre del territorio comunal, concesión minera o el titular del área
- Localización exacta de la concesión en coordenadas UTM Datum WGS84
- Norte magnético legible
- Escala gráfica y numérica del plano
- Curvas de nivel y de cota de elevación
- Leyenda

Figura 10

Ejemplo de reconocimiento de áreas degradadas para su caracterización en un mapa, tomando en cuenta el área seleccionada y caminos



2. Selección de las áreas potenciales a restaurarse

Luego de identificar y caracterizar la zona, se prioriza el área degradada que va a restaurarse, para ello, es necesario que el área elegida ya no sea utilizada para fines mineros, puesto que será reservada por la formación de un nuevo bosque con fines económicos o ecológicos.

¿Cómo es el paisaje degradado por la minería aurífera aluvial?

El paisaje alude a la realidad ambiental de un sitio, en el cual se integran diversos aspectos del medio (clima, geología, suelos, biología, entre otros) y la acción del hombre sobre el lugar (agronómicas, políticas, urbanísticas, económicas, sociales) (Porta, López y Roquero, 1999).

Sin embargo, el paisaje, esencialmente de los bosques amazónicos, ha sido modificado por la minería aurífera aluvial, dando como resultado un paisaje antrópico con características particulares, el cual se encuentra compuesto por diversos subpaisajes a los que el IIAP ha denominado como “subpaisaje cultural (SPC)”.

El criterio de categorización de los SPC se encuentra sustentado, sobre todo, en la cobertura vegetal y en la presencia de fragmentos gruesos, siendo estas categorías las que se muestran a continuación:

Tabla 2

Categorías de los subpaisajes culturales de las áreas degradadas por la minería aurífera aluvial

CATEGORÍAS DE SUBPAISAJE CULTURAL (SP)					
Parámetro	Sustrato descubierto (SD)	Suelo cubierto (SC)	Montículo de fragmentos gruesos descubierto (MFGD)	Montículo de fragmentos gruesos cubierto (MFGC)	Bosque de referencia (BR)
Cobertura vegetal (%)	No	Sí	No	Sí	Sí
Fragmentos gruesos (%)	0 - 40	0 - 40	40 - 100	40 - 100	0

Nota: Tomado de Velásquez (2020a); Velásquez (2017) y Food and Agriculture Organization of United Nations (2009)

En el SD se denomina sustrato y no suelo debido a que falta el efecto de los organismos vivos en su formación, que es un factor de formación de suelos (Jenny, 1941).

Figura 11

Paisaje degradado por la minería aurífera aluvial en Madre de Dios (2020)



Figura 12

Subpaisaje cultural (SPC) - Sustrato descubierto (SD) (2019)



Figura 13

Subpaisaje cultural (SPC) - Suelo cubierto (SC) (2019)



Figura 14

Subpaisaje cultural (SPC) - Montículos de fragmentos gruesos descubiertos (MFGD) (2019)



Figura 15

Subpaisaje cultural (SPC) - Montículos de fragmentos gruesos con cobertura (MFGC) (2019)



¿Cómo realizar la caracterización para proyectos de restauración a mayor escala?

Los pasos previos descritos en el presente capítulo ayudan a planear una restauración a menor escala; sin embargo, ante proyectos superiores a 500 ha, implica obtener mayor conocimiento del área, a fin de conocer la variabilidad del ambiente.

1. Evaluación de tierras en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial a nivel semidetallado

La evaluación de tierras es un proceso de valoración del comportamiento de la tierra, que es aplicado para explicar y predecir el uso potencial de la tierra. Para esta evaluación se puede tomar como referencia el Reglamento de Ejecución de Levantamiento de Suelo de Perú (Ministerio de Agricultura, 2010).

Por ejemplo, para áreas entre 500 a 1000 ha seleccionadas, un estudio de nivel semidetallado permite el planeamiento de uso y manejo de bosques, además del planeamiento comunal y evaluación de impacto ambiental semidetallado; es muy útil para proyectos de factibilidad.

Por otro lado, para proyectos superiores a 1000 ha se opta por un nivel de estudio de reconocimiento, empleado para localizar, seleccionar y comparar áreas apropiadas para distintos usos de tierra como producción forestal, agroforestal, entre otros.

Asimismo, para el planeamiento y ejecución de este tipo de estudios se recomienda recibir la asesoría de un especialista en suelos. Para más detalles se recomienda revisar el Anexo 1.

Cabe señalar que el nivel de estudio semidetallado requiere de la siguiente información:

Tabla 3

Las especificaciones técnicas para ejecutar el levantamiento semidetallado

MATERIALES	
Cartografía y teledetección	<ul style="list-style-type: none">• Ortofotomapa a escala 1:25 000 a 1:10 000También se puede emplear:• Fotografías aéreas recientes, pancromática o colores, normales, verticales a escala 1:10 000 o mayor• Imágenes de satélite de alta resolución espacial (menor de 1m), a escala 1:10 000 o mayor.
Unidad fisiográfica, de suelos y cartográfica	<ul style="list-style-type: none">• Fisiografía hasta elemento de paisaje• Taxonomía de suelos hasta orden, suborden, grupo, subgrupo, familia.• Se determinará áreas misceláneas cuando exista.• Se representarán consociaciones y asociaciones
Mapa base	<ul style="list-style-type: none">• Se empleará como espacio homogénea lugares con zonas de vida, geología, topografía y paisaje semejantes. El resultado es la determinación de unidades geomorfopedológicas. El mapa será de una escala 1:25 000 o mayor
PROCEDIMIENTO	
Método de mapeo	<ul style="list-style-type: none">• En espacios homogéneos se utilizará la red rígida, junto a travesías y transectos si fueran necesarios.• Los suelos serán identificados en campo, principalmente.• Se utilizará un área muestra del 30% como mínimo del área seleccionada para restaurar,
Intensidad de observaciones	<ul style="list-style-type: none">• Por lo menos 2 calicatas y 6 chequeos cada 100 ha, que procede del 30 % del área seleccionada previamente.
Análisis	<ul style="list-style-type: none">• Se realizarán análisis, como se muestra en el Anexo 2, en el que se muestre el parámetro y el método empleado.
Mapa publicado	<ul style="list-style-type: none">• La escala del mapa publicado debe ser 1:50 000 o mayor

2. Construcción del mapa base para la restauración de áreas degradadas

Para la construcción del mapa base se interpolarán los siguientes mapas:

- Zona de vida

Los datos de biotemperatura, precipitación y evapotranspiración potencial (EPT) dan como resultado las Zona de Vida (Holdridge, 1967). La zona de vida proporciona información sobre el clima y organismos como las plantas, que son importantes factores de formación de suelos.

- La geomorfología

La geología brinda información sobre el material parental sobre el cual se forman los suelos. Se puede tomar información del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), el cual es un organismo del Estado peruano dedicado a brindar información a nivel nacional sobre la geología básica, los recursos del subsuelo, los riesgos geológicos y el geoambiente.

- Fisiografía y topografía

Proporciona información de paisajes, relieve y curvas de nivel, lo que permite conocer movimientos eventuales de tierras que afectan la formación de suelos. Se puede tomar información del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Cabe señalar que el IGN es un organismo del Estado peruano que se dedica a la elaboración de mapas oficiales del Perú, para apoyar las actividades concernientes al desarrollo y la defensa del país.

- Uso actual o cobertura

El IIAP ha propuesto los subpaisajes culturales (SPC), que es una categorización adecuada para caracterizar el paisaje degradado por la minería aurífera aluvial. Los detalles de los SPC se muestran más adelante.

Figura 16

Mapa de zona de vida en 200 ha de área seleccionada para la restauración

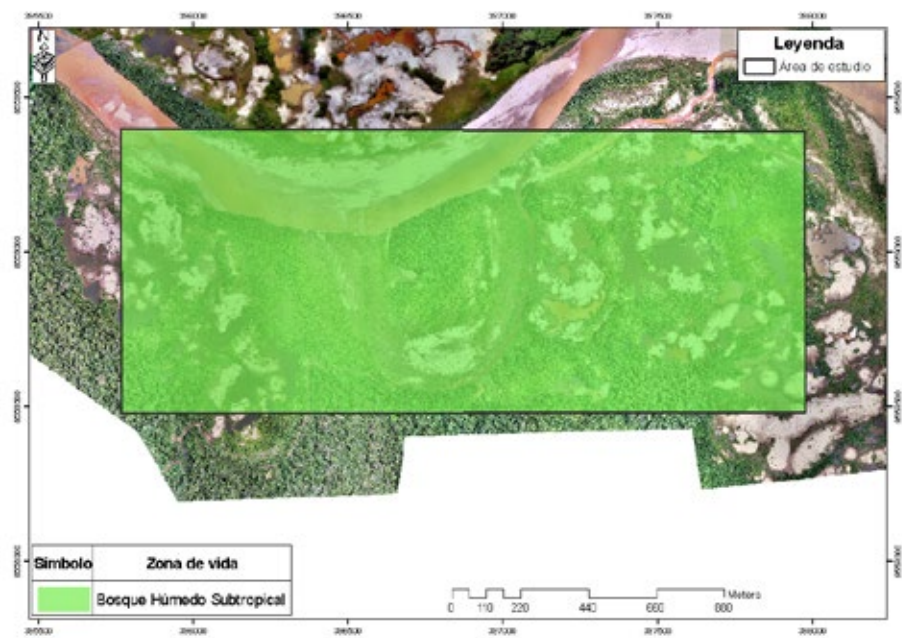


Figura 17

Mapa geológico en 200 ha de área seleccionada para la restauración



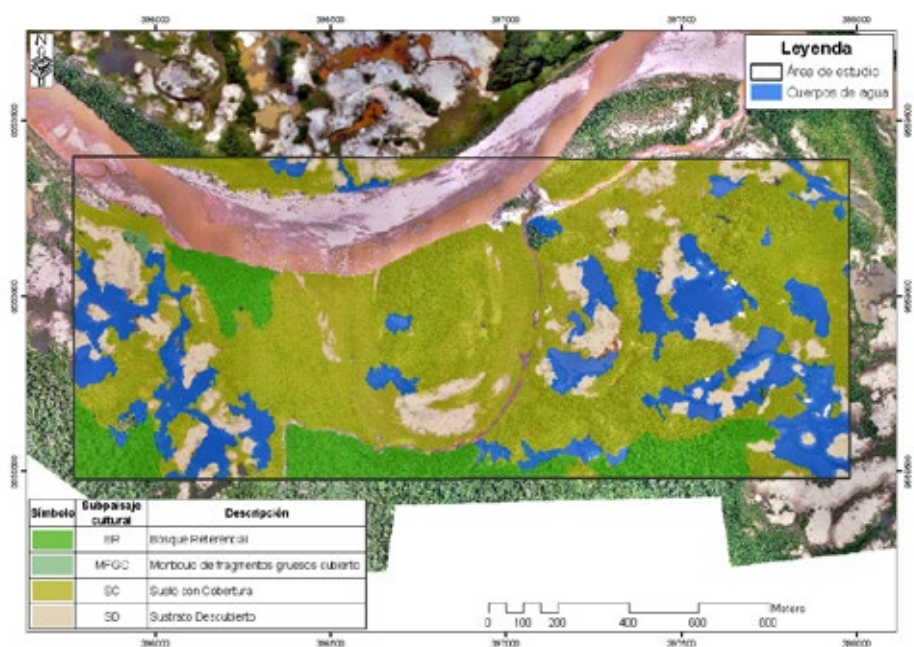
Figura 18

Mapa fisiográfico en 200 ha de área seleccionada para la restauración



Figura 19

Mapa de subpaisajes culturales (SPC) en 200 ha de área seleccionada para la restauración



De acuerdo al área seleccionada de 200 ha, se ha elaborado un mapa base donde se establecen las unidades geomorfopedológicas y las de mayor tamaño, las cuales fueron ubicadas en determinados lugares para elaborar calicatas. De este modo se lograron obtener los datos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4

Unidades geomorfopedológicas en el área de estudio

Zona de vida		Geología		Fisiografía		Uso actual		Unidades Geomorfopedológicas	Área (Ha)	Calicatas (N°)
Descripción	Abrev.	Descripción	Abrev.	Descripción	Abrev.	Descripción	Abrev.			
Bosque húmedo subtropical	Bh-st	Depósito aluvial	Qh-al	Terrazas bajas con drenaje bueno a moderado	Tb-dbm	Bosque referencia (BR)	BR	Bh-st/Qh-al/Tb-dbm/BR	19.58	1
Bosque húmedo subtropical	Bh-st	Depósito aluvial	Qh-al	Terraza media con drenaje imperfecto a pobre	Tb-dbm	Bosque referencia (BR)	BR	Bh-st/Qh-al/Tm-dip/BR	0.20	0
Bosque húmedo subtropical	Bh-st	Depósito aluvial	Qh-al	Terrazas bajas con drenaje bueno a moderado	Tb-dbm	Montículo de fragmentos gruesos cubierto (MFGD)	MFGC	Bh-st/Qh-al/Tb-dbm/MFGC	0.37	1
Bosque húmedo subtropical	Bh-st	Depósito aluvial	Qh-al	Terrazas bajas con drenaje bueno a moderado	Tb-dbm	Sustrato descubierto (SD)	SD	Bh-st/Qh-al/Tb-dbm/SD	20.88	1
Bosque húmedo subtropical	Bh-st	Depósito aluvial	Qh-al	Terrazas bajas con drenaje bueno a moderado	Tb-dbm	Sustrato cubierto (SC)	SC	Bh-st/Qh-al/Tb-dbm/SC	105.56	1

Figura 20

Mapa de base en 200 ha de área seleccionada para la restauración en la Reserva Nacional Tambopata. Se muestran las unidades geomorfopedológicas y la ubicación para elaborar calicatas





Evaluación a profundidad de las características físicas y químicas de suelos degradados en calicatas en áreas impactadas por la minería aurífera aluvial

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DEGRADACIÓN DEL ÁREA

Luego de reconocer y caracterizar el paisaje del área seleccionada, es importante determinar cuál es el nivel de degradación, con el objetivo de tomar medidas que garanticen el adecuado proceso de restauración. En esta etapa se podrá conocer el nivel de fertilidad del suelo, a fin de determinar el mejor manejo y asegurar nutrientes que permitan el desarrollo de la vegetación en restauración; también se conocerá el nivel de contaminación por metales pesados como el mercurio. Esta información será la línea base para el proceso de restauración de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial.

Evaluación del nivel de fertilidad del área degradada seleccionada

¿Qué es la fertilidad del suelo?

La fertilidad del suelo es la capacidad para recibir, almacenar y transmitir energía para el crecimiento adecuado de plantas, asimismo, determina su productividad con base en su nivel de nutrientes y habilidad de brindarlos a las plantas.

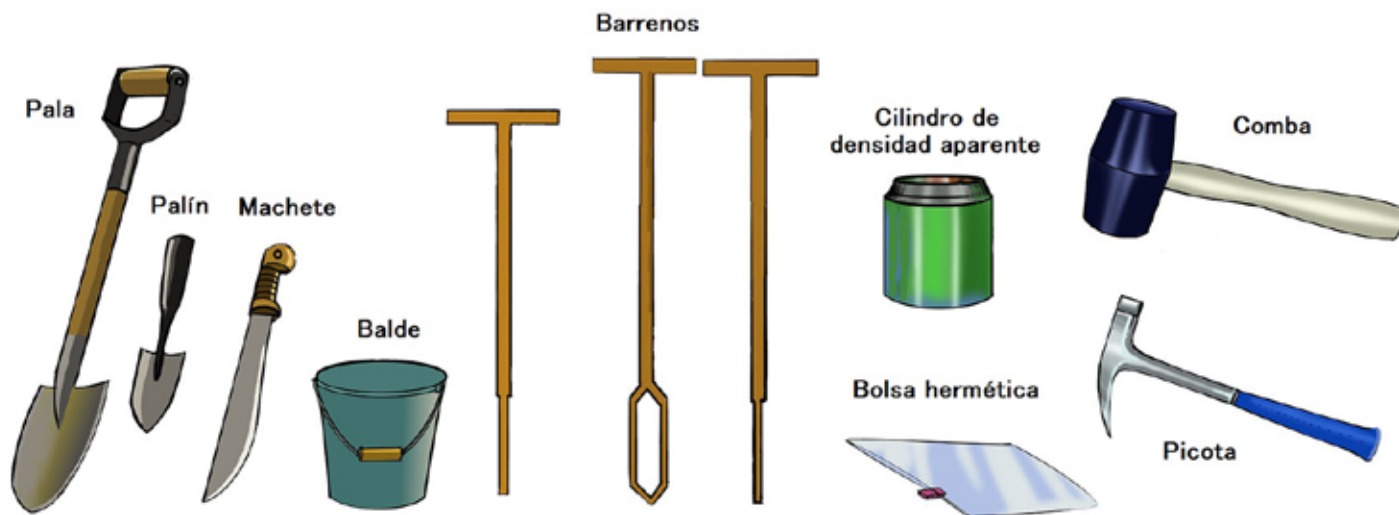
Estos nutrientes pueden proceder de la reserva del suelo o de aplicación externa (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2020). La fertilidad está formada por tres componentes: físico, químico y biológico (Abbott y Muphy, 2007; Benton, 2012).

¿Cuáles son los materiales a emplearse?

Para la evaluación de la fertilidad del suelo se efectúa un muestreo superficial o en calicatas con pala, machete, palín, comba, picota, cilindro de densidad aparente, balde, barreno y bolsa hermética; como se evidencia en la figura:

Figura 21

Materiales para la evaluación de la fertilidad de las áreas degradadas



¿Cómo se realiza el muestreo?

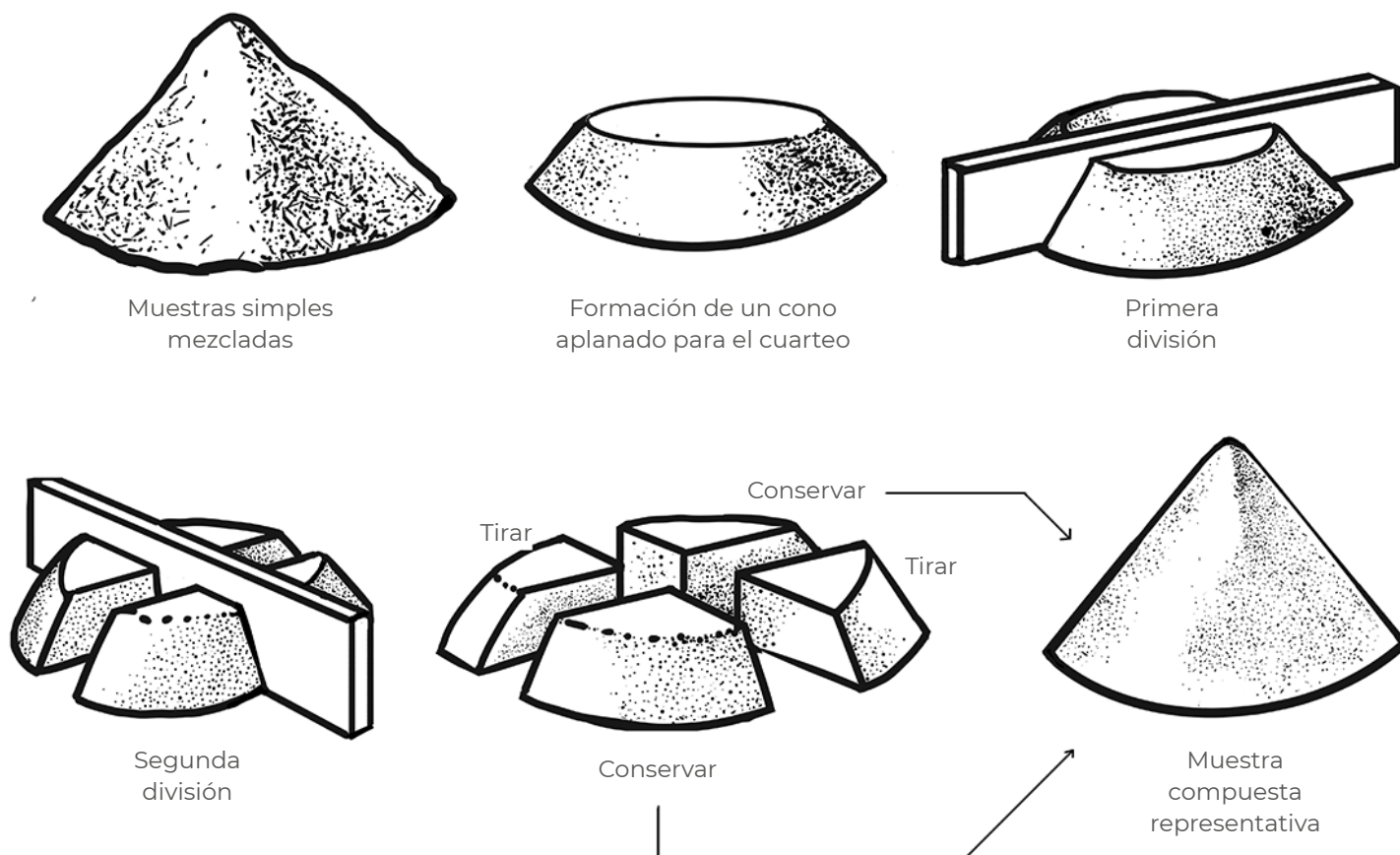
1. Muestreo superficial

Se obtiene una “muestra compuesta” tomando al azar de 15 o 20 submuestras de 500 g cada una a lo largo del área identificada, las cuales son colocadas dentro de un balde y mezcladas de forma homogénea, para, posteriormente realizar un cuarteo hasta que quede una muestra de 500 g, que debe ir al laboratorio.

Esta muestra compuesta puede ser representativa hasta una superficie de 5 ha del área degradada, adicionalmente, la profundidad del muestreo es de 0-30 cm.

Figura 22

Cuarteo de muestras de suelo como un proceso de homogeneizar muestras para obtener una muestra compuesta representativa para análisis de fertilidad

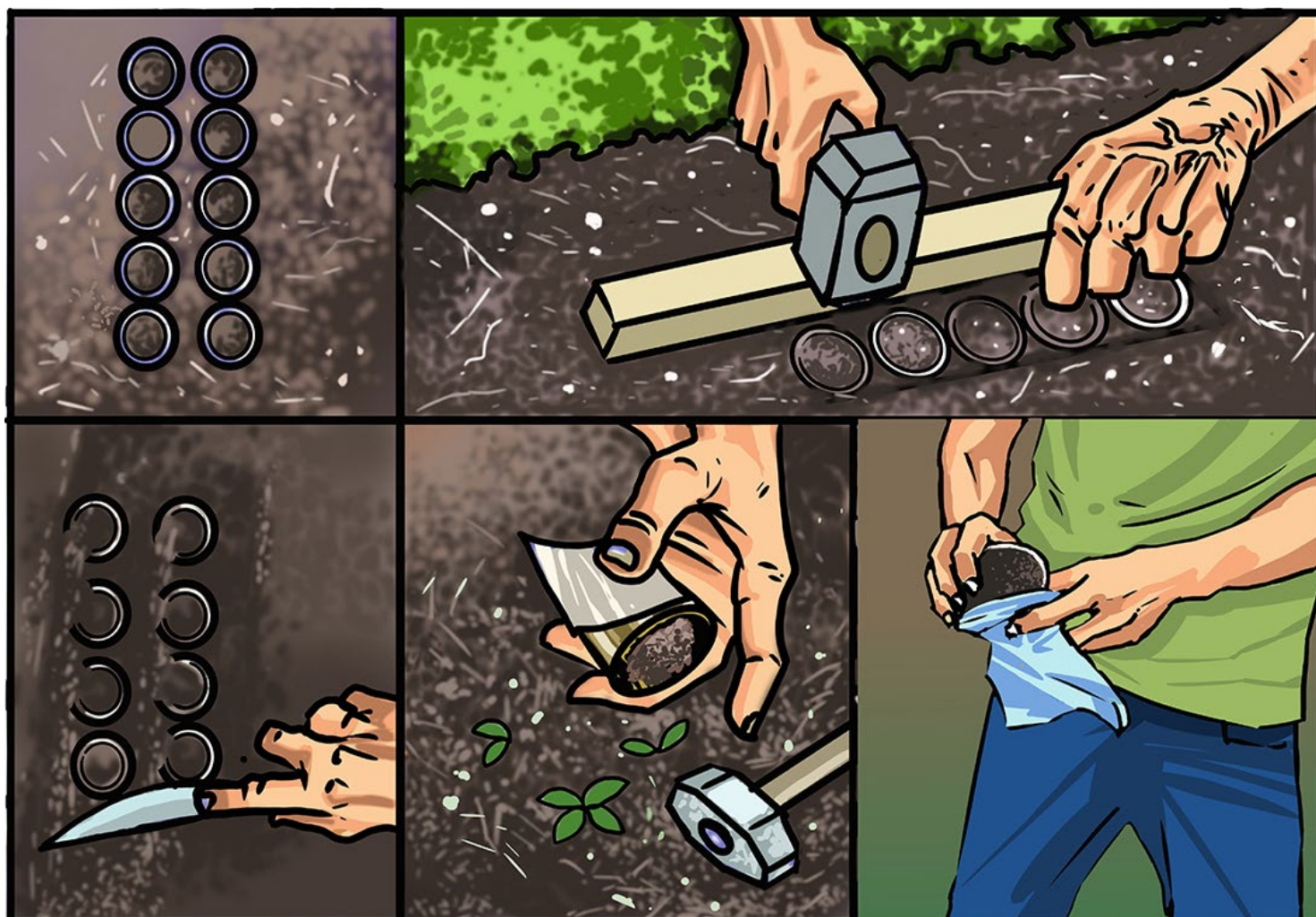


A la vez, se recomienda que en cada punto de muestreo se obtenga una muestra para determinar la densidad aparente. La densidad aparente (g/cm^3) es definida como la relación del peso (parte sólida) por el volumen (parte sólida, líquida y aérea) del suelo.

Un valor alto de densidad equivale a un suelo compacto o con alta presencia de arenas, mientras que valores bajos indican mejores condiciones para el crecimiento de plantas.

Figura 23

Procedimiento para obtención de muestra para determinar la densidad aparente



2. Muestreo en calicata

Solo se utilizan calicatas para la restauración de áreas degradadas a mayor escala. Para un estudio de reconocimiento en condiciones de la selva se elabora una calicata por cada 1000 ha del área seleccionada. Para esto se puede tomar como referencia el Reglamento de Ejecución de Levantamiento de Suelo de Perú del Ministerio de Agricultura.

Las calicatas permiten evaluar la capa de los suelos a profundidad, siguiendo estos pasos:

- Realizar una calicata de 50 a 100 cm de ancho y 150 cm de profundidad o hasta donde se encuentren clastos o presencia de agua (napa freática).
- Con la ayuda de una picota se procede a golpear ligeramente desde la superficie hasta la parte final de la calicata, de tal manera que se identifican capas u horizontes. Luego se obtendrán muestras para su respectivo análisis de características y propiedades.
- Tomar muestras mínimo 500 g de cada capa.
- Guardar adecuadamente cada muestra con su código y ubicación correspondiente en una bolsa de plástico.
- Llevar la muestra a un laboratorio.

Nota: Como referencia se emplean la norma reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos (D.S. 013-2010-AG). Asimismo, se recomienda la asesoría de un ingeniero agrónomo o especialista en suelos y la revisión del Anexo 1.

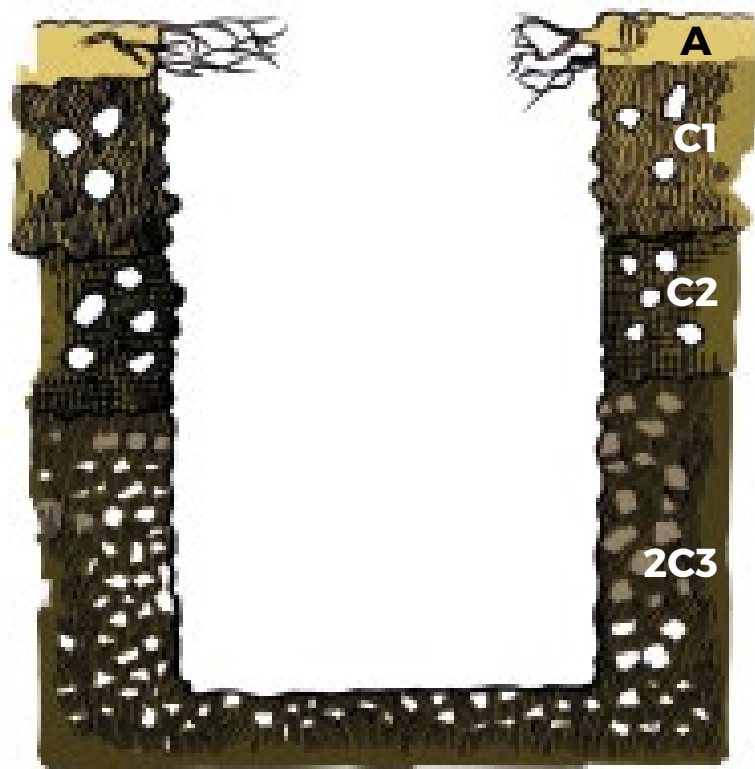
Figura 24

Procedimiento de evaluación de calicatas en el perfil del suelo e identificación de horizontes



Figura 25

Perfil del suelo con horizontes, lo que permitirá identificar el mejor tratamiento de recuperación de áreas degradadas



¿Qué análisis en laboratorio se deben realizar para conocer el nivel de fertilidad del área degradada?




































Se pueden solicitar análisis de caracterización físico y química del suelo como pH, salinidad (ds/m), carbonatos (%), materia orgánica del suelo (%), textura, fósforo y potasio disponibles (ppm), y capacidad de intercambio catiónico (Cmol(+)/kg). Además, para un estudio más detallado se puede optar por realizar análisis microbiológicos como la respiración del suelo (mgCO₂/g suelo) y biomasa microbiana (mg/g suelo). Más detalles sobre estos parámetros y sus respectivos métodos se pueden apreciar en el Anexo 2.

¿Cómo es el nivel de degradación de la fertilidad en los subpaisajes culturales en algunas zonas de Madre de Dios?

Los subpaisajes culturales (SPC) brindan valiosa información para mejorar la orientación de procesos de restauración de áreas degradadas mineras, ya que nos indica las principales limitaciones para obtener una restauración exitosa; estas limitaciones se pueden apreciar en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 5


Características de los subpaisajes culturales de las áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en la comunidad nativa de San Jacinto, Reserva Nacional Tambopata y la comunidad de Fortuna

Parámetro	SUBPAISAJE CULTURAL (SPC)				Bosque de referencia (BR)
	Sustrato descubierto (SD)	Suelo cubierto (SC)	Montículo de fragmentos gruesos descubierto (MFGD)	Montículo de fragmentos gruesos cubierto (MFGC)	
Cobertura vegetal (%)	No	Sí	No	Sí	Sí
Fragmentos gruesos (%)	 0 - 40	 0 - 40	 40 - 100	 40 - 100	 0
Estructura superficial	No	Sí granular	No	Sí granular	Sí granular
Drenaje	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Imperfecto /moderado
Permeabilidad	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida	Moderada
Erosión	Severa	Ligera	Moderada	Ligera	Ligera
Compactación	No	No	Sí	Sí	No
Arena (%)	 94	 87	 86	 71	 57
Limo (%)	 3	 8	 8	 18	 30
Arcilla (%)	 3	 5	 6	 11	 13
Materia orgánica del suelo (%)	 0.2	 0.4	 0.8	 0.9	 3.0
Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol(+)/kg)	 4	 5	 7	 9	 17
pH	 5.0	 4.8	 5.0	 4.8	 4.7

Nota: Adaptado de Velásquez et al., (2021), Velásquez (2017) y Food and Agriculture Organization of United Nations (2009)

Tabla 6

Algunos perfiles de suelos no degradados de bosque (BR) y suelos degradados en el SPC Suelo cubierto (SC) y montículo de fragmentos gruesos cubierto (MGFC), clasificados bajo el sistema Soil Taxonomy 2014 y WRB 2015

Suelo de bosque de referencia (BR)	Suelo cubierto (SC)	Montículo de fragmentos gruesos cubierto (MGFC)
Aquic Udifluvents	Anthroportic Udorthents	Anthroportic Udorthents
Orthodistric Gleyic Orthofluvic Fluvisols (Loamic, Ochric)	Spolic Technosols (Hyperdystrict, Arenic, Ochric, Hyperartifactic, Raptic, Relocatic)	Hyperskeletal Spolic Technosols (Hyperdystrict, Arenic, Hyperartifactic, Raptic, Relocatic)
		

Las categorías más degradadas como SD y MFGD pasan por un proceso de transformación de sustratos a suelo por efecto del tiempo, el clima y los seres vivos (plantas y animales) hasta que se adquiere SC y MGC. La tabla 6 manifiesta la evolución del suelo, estructurándolo, incrementando los niveles de materia orgánica del suelo, capacidad de intercambio catiónico, fósforo y potasio disponible. Sin embargo, el proceso de recuperación de suelo toma más tiempo que en un bosque de referencia (BR).

Evaluación del nivel de contaminación de área degradada

¿Qué es la calidad del suelo?

La calidad del suelo es la capacidad de un tipo determinado de suelo de funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o tratado para sostener la productividad de animales y plantas, mantener o mejorar la calidad del aire y sustentar la salud humana y su ambiente (Karlen *et al.*, 1997). Usualmente este término es utilizado según el nivel de sustancias que puedan ser contaminantes.

¿Cuáles son los materiales a emplearse?

Para la evaluación de la calidad del suelo se pone énfasis en los niveles de metales pesados como mercurio, para lo cual se requiere el uso de guantes de seguridad, libreta de notas, marcadores indelebles, plumones de pizarra, pizarra, pala de mano, GPS, bolsas herméticas, gel pack refrigerante y cooler.

Figura 26

Materiales para la evaluación de la calidad del suelo



¿Cómo se realiza el muestreo para determinar el nivel de contaminación del área degradada?

El muestreo de identificación se efectúa de la siguiente manera:

1. Plan de muestreo (Ministerio del Ambiente, 2014b)

Se empieza por elaborar un plan de muestreo, el cual debe incluir las siguientes actividades:

- Identificar las actividades potencialmente contaminantes del suelo.
- Delimitación del sitio potencialmente contaminado o donde hay mayor indicio de contaminación dentro del área degradada seleccionada.
- Localización, distribución, profundidad y número de puntos de muestreo.
- Parámetros a evaluar (por ejemplo, metales pesados).
- Materiales y herramientas requeridas durante el muestreo.
- Protocolos para asegurar la calidad del muestreo.
- Medidas para asegurar la calidad del muestreo.
- Preservación de las muestras.
- Tipo de recipientes y volumen de las muestras.
- Plan de salud y seguridad en el trabajo de los operarios.
- Cadena de custodia (trazabilidad).

Nota: Se recomienda que estas evaluaciones se realicen con la asesoría de un ingeniero agrónomo o especialista de suelos.

Figura 27

Reconocimiento del área degradada con el objetivo de recuperarla (2021)

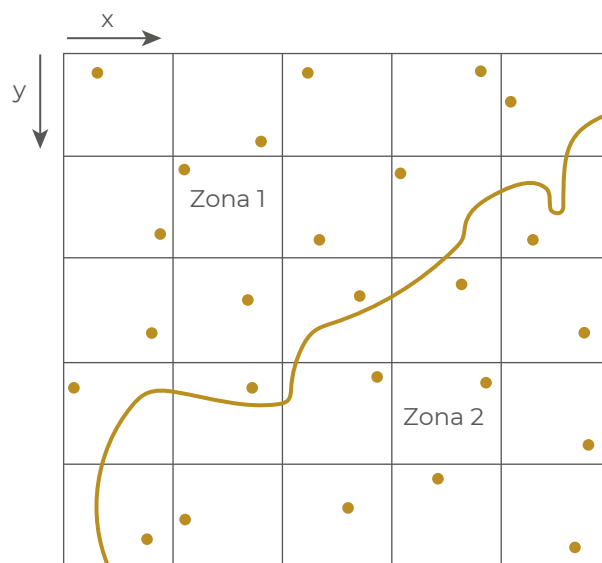


2. Proceso de muestreo

Se realizan los siguientes pasos:

Figura 28

Muestreo sistemático al azar, para identificación de sitios contaminados



- Determinar el número de muestreo según el tamaño del sitio de potencial contaminación. Se puede utilizar el Anexo 7 para mayor detalle.
- Distribuir el lugar de muestreo sistemático al azar.
- Muestrear a una profundidad de 10 cm, lo cual es ideal para la evaluación de industrias extractivas como la minería, para cada muestra individual (no se deben mezclar).
- Tomar la muestra de suelo con una pala de plástico y colocarla en una bolsa hermética (tipo Ziploc) totalmente limpia.
- Anotar los datos del punto de muestreo en la cadena de custodia como coordenadas, altitud (m. s. n. m.), fecha y hora de muestreo, nombre del responsable y hacer un registro fotográfico del punto de muestreo. El formato de la cadena de custodia se muestra en el Anexo 5.
- Sellar y etiquetar las muestras individuales y disponerlas en un cooler.
- Enviar las muestras individuales a un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

Figura 29

Selección del área potencial donde realizar el estudio de calidad del suelo



Figura 30

Distribución de puntos de muestreo al azar en el área a restaurar

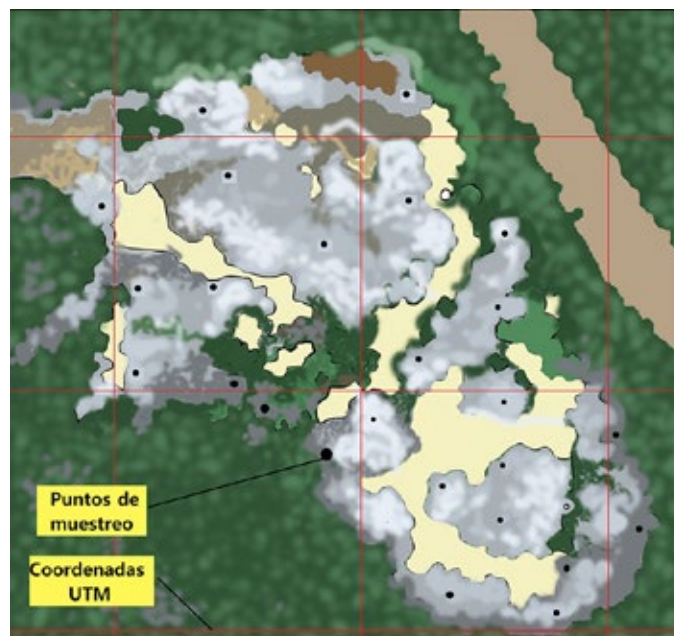


Figura 31

Proceso de toma de muestra y preparación para envío al laboratorio



¿Cómo se determina la contaminación de un sitio evaluado?

1. Parámetros evaluados en laboratorio

Los parámetros evaluados se determinan según el tipo de industria, insumos y materiales con los que trabaja. En el caso de minería aurífera aluvial, para los fines de recuperación ambiental se recomienda priorizar el análisis de mercurio total (mg/kg MS); opcionalmente se pueden analizar otros metales pesados como As (Anexo 6).

2. Determinación de la contaminación

Perú emplea los estándares de calidad ambiental (ECA) que determina un nivel óptimo para cada sustancia de interés (Ministerio del Ambiente, 2017b). Para el caso del suelo, el nivel máximo de mercurio es:

Tabla 7

Estándar de calidad ambiental (ECA) de suelo para mercurio

Suelo Agrícola	Suelo Residencial/Parques	Suelo Comercial	Método de evaluación
mg/kg MS)	(mg/kg MS)	(mg/kg MS)	(mg/kg MS)
6.60	6.60	24.00	EPA 7471 EPA 6020 o 200.8

Con base en los resultados se elabora el Informe de Identificación de Sitios Contaminados de acuerdo al índice propuesto por la *Guía de muestreo de suelo* (Ministerio del Ambiente, 2014b). El contenido mínimo del informe se muestra en el Anexo 4.

Si el resultado del análisis muestra que el nivel del mercurio es inferior al ECA de suelo, se descarta el riesgo de contaminación y se continúa a seguir con los pasos mostrados en la presente guía. Caso contrario, si el resultado del análisis evidencia que existe contaminación se deberá seguir los pasos del Plan de Descontaminación de Suelo, esto es, la R.M. 085-2014-MINAM (Ministerio del Ambiente, 2014a). Además, para obtener una mejor línea base del estado de la calidad ambiental, se recomienda realizar análisis complementarios en los sedimentos, ya que se ha evidenciado que tienden a acumular más mercurio.

Nota: Como referencia se emplean las siguientes normas que se detallan en el Anexo 1:

- Guía de muestreo de suelo (R.M. 085-2014- MINAM)
- Plan de Descontaminación de Suelos (R.M. 085-2014-MINAM)
- Estándares de Calidad Ambiental para Suelos (D.S. 011-2017- MINAM).

¿Cómo va el nivel de degradación por contaminación en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en Madre de Dios?

Niveles de mercurio en suelos de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial

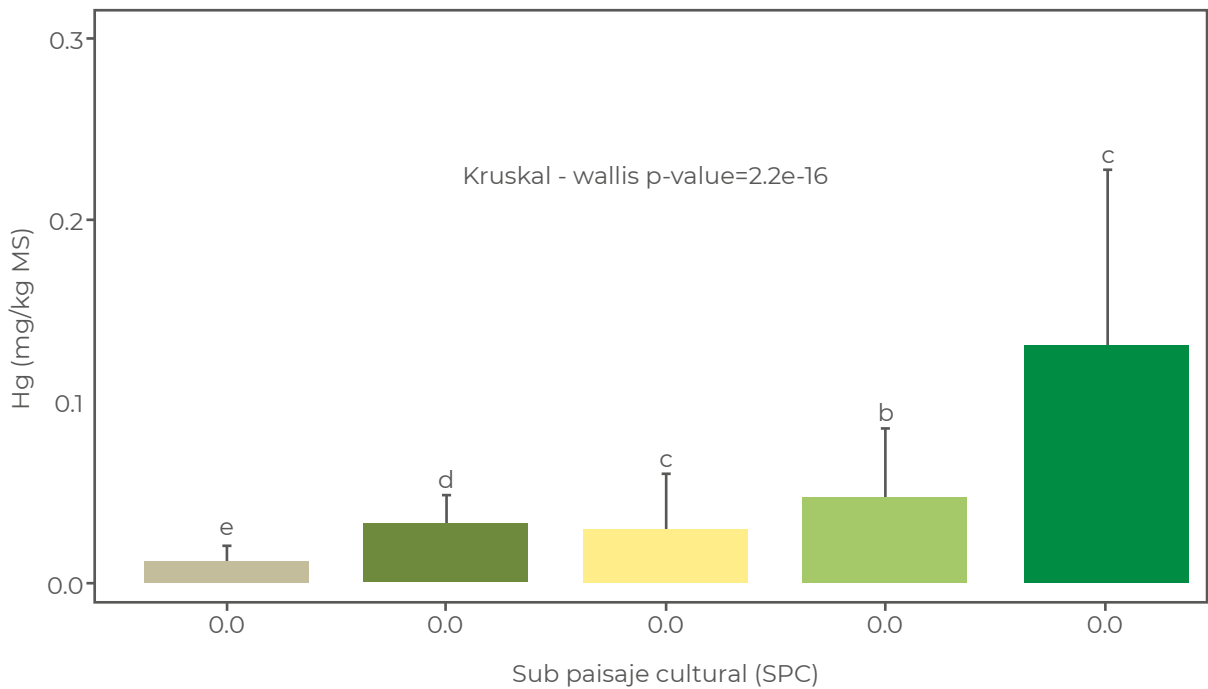
Se evaluaron los niveles de mercurio en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en la comunidad nativa de San Jacinto, distrito de Laberinto, centro poblado de Santa Rita, centro poblado de Villa Santiago y comunidad nativa de Kotzimba (Velásquez et al., 2021).

Los resultados revelaron que los niveles de mercurio en suelos debajo del Estándar de Calidad Ambiental para Suelos es 6.60 mg/kg MS. Asimismo, los SPC sin cobertura como Sustrato descubierto (SD) y Montículo de fragmentos gruesos descubierto (MFGD) se caracterizaron por tener bajos niveles de mercurio como 0.01 y 0.02 mg/kg MS, respectivamente.

Sin embargo, conforme se va formando la cobertura vegetal se incrementa significativamente el mercurio, por lo cual el Suelo cubierto (SC) y el Montículo de fragmentos gruesos cubierto (MFGC) pueden llegar a obtener niveles de 0.02 y 0.04 mg/kg MS de mercurio, respectivamente.

Figura 32

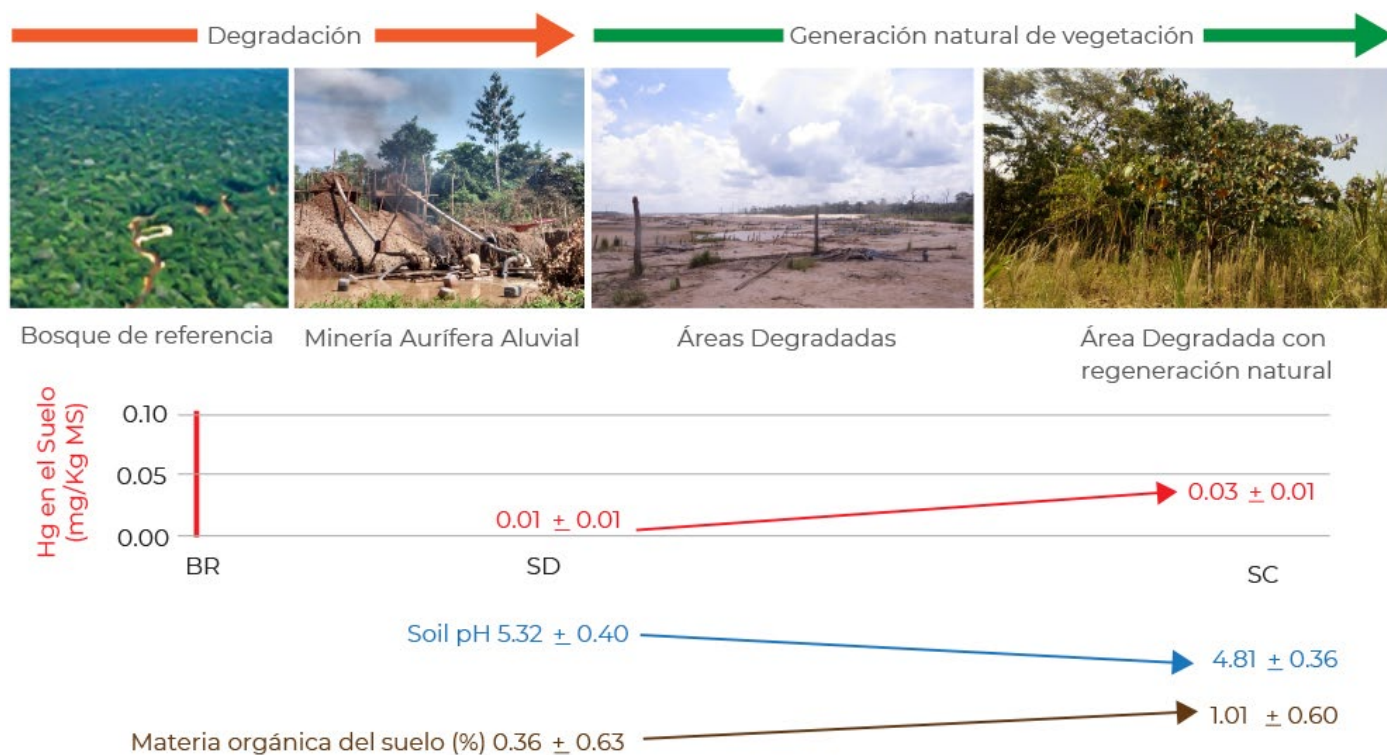
Niveles de mercurio (Hg) en suelos no degradados de bosque (BR) y suelos degradados en el SPC como Sustrato descubierto (SD), Suelo cubierto (SC), Montículo de fragmentos gruesos descubierto (MFGD) y Montículo de fragmentos gruesos cubierto (MFGC)



El estudio reveló que, a más materia orgánica y mayor acidez del suelo, se incrementa el nivel de mercurio; con este hallazgo, se entiende que los bosques de referencia (RF) pueden llegar a obtener mayores niveles de mercurio como 0.10 mg/kg MS: S; sin embargo, también se halló que los niveles son inferiores como para encontrarse riesgo a la salud y que, además, la intensa lluvia selvática provocaría el desplazamiento de mercurio a zonas más bajas.

Figura 33

Incremento de niveles de mercurio en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial debido al aumento de la materia orgánica y acidez del suelo causada por la vegetación. Se aprecia los cambios en SPCA de Sustrato descubierto (SD) a Suelo cubierto (SC)



En la investigación realizaron mapeos geoestadísticos de mercurio en dos áreas importantes de minería mínimamente mecanizada y minería altamente mecanizada, como en el distrito de Laberinto y comunidad nativa de Kotzimba, respectivamente. En las siguientes figuras se puede apreciar los diferentes niveles de mercurio en el suelo de acuerdo al Subpaisaje cultural (SD, SC, MFGD y MFGC) y Bosque de referencia (BR).

Figura 34

Mapeo geoestadístico de niveles de mercurio en un área degradada por la minería aurífera aluvial en el distrito de Laberinto, característico por el tipo de minería mínimamente mecanizada

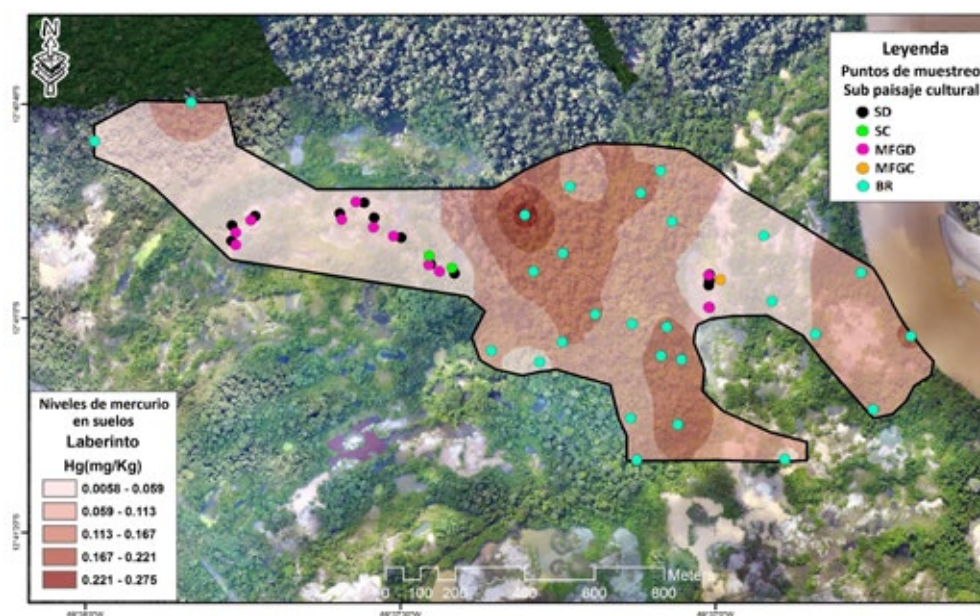
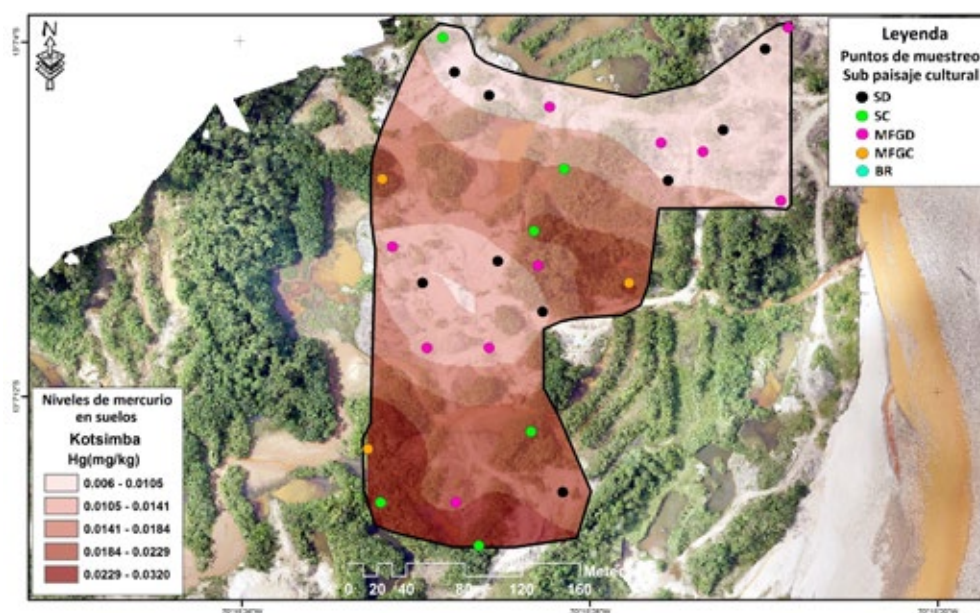


Figura 35

Mapeo geoestadístico de niveles de mercurio en un área degradada por la minería aurífera aluvial en la comunidad nativa de Kotzimba, característico por el tipo de minería altamente mecanizada



Cambios de niveles de mercurio en suelo, según la temporada en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial

En un estudio en áreas degradadas en la comunidad nativa de San Jacinto se evaluaron 40 ha para conocer los cambios de nivel de mercurio en estación lluviosa y seca. Los resultados revelaron que, en el periodo seco, los niveles de mercurio en los suelos degradados son más altos que en época de lluvia, los cuales aumentan en los sedimentos (SED) de cuerpos de agua.

El nivel de mercurio en sedimentos en época de seca fue 0.01 y se incrementó en 400 % en un año. En el SPC Sustrato descubierto (SD) el nivel de mercurio disminuyó notablemente de 0.03 a 0.02 mg/kg MS de mercurio, pero en Suelo con cobertura (SC) y Bosque de referencia (BR), los cambios fueron pequeños y se mantuvieron en 0.07 - 0.08 mg/kg MS.

Esto demostraría que el lavado o lixiviación es más intenso en áreas descubiertas y que los sedimentos son puntos de incremento de mercurio. Consecuentemente, los sedimentos de pozas de agua artificial deberían usarse como puntos de monitoreo ambiental de mercurio en este tipo de áreas (Becerra *et al.*, 2020).

Figura 36

Niveles de mercurio (Hg) en suelos no degradados de bosque (BR) y suelos degradados en el SPC como Sustrato descubierto (SD) y Suelo cubierto (SC) que incluye sedimentos (SED) de pozas de agua artificial, en estación de lluvia y seca

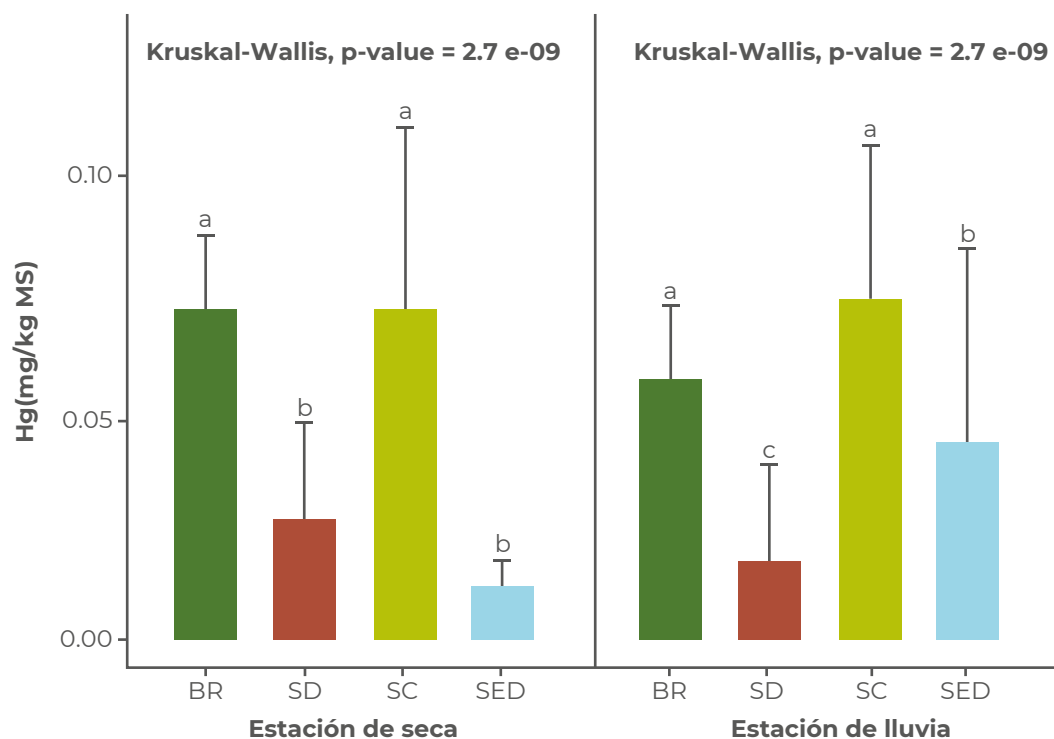


Figura 37

La caracterización y planeamiento de las áreas degradadas a recuperar se realizan de mejor manera con el uso de equipo RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) también llamado DRON, el cual toma fotos con alta precisión y resolución (2021)





Leguminosa *Stylosanthes guianensis*, una planta promisoría para recuperar la salud del suelo

CAPÍTULO 5

RECUPERACIÓN DE LA SALUD DEL SUELO CON LA SIEMBRA DE CULTIVOS DE COBERTURA DE LEGUMINOSAS

Luego de haber determinado el grado de degradación del área y la no existencia de riesgo de contaminación por metales pesados como mercurio, se procede a recuperar la salud del suelo con la siembra de especies de plantas leguminosas conocidas como “cultivos de cobertura”.

Estas plantas en poco tiempo mejorarán significativamente las características físicas, químicas y biológicas del suelo, optimizando la fertilidad del suelo en un plazo corto para el beneficio posterior de otras especies forestales seleccionadas con fines de restauración.

¿Qué son los cultivos de cobertura?

Es la instalación de cultivos que forman una cobertura vegetal de protección permanente o temporal, la cual se encuentra en asociación, rotación o relevo, y cuya finalidad es proteger al suelo de la erosión eólica, hídrica, incorporar materia orgánica y mejorar la fertilidad del suelo (Hurtado, 2003). Conjuntamente, se obtienen mejores resultados cuando estos cultivos de cobertura son plantas leguminosas con capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico.

¿Cuáles son los beneficios de los cultivos de cobertura en suelos degradados por la minería en la Amazonía?

- Aportan altas cantidades de biomasa vegetal al suelo.
- Incrementan el contenido de materia orgánica en el suelo debido a la caída de hojarasca y liberación de exudados por las raíces.
- Evitan altas temperaturas del suelo al disminuir la insolación del sol.
- Favorecen la proliferación de microorganismos y macrofauna benéfica en el suelo.
- Las raíces de las plantas y residuos vegetales contribuyen a mejorar la estructura del suelo al formar estructuras granulares.
- Reducen la erosión del suelo al proteger los agregados del suelo del impacto de la lluvia.
- Evitan la pérdida de suelo, debido a que las raíces de las plantas contribuyen a mantener fijo el suelo y estabilizan agregados superficiales.
- Incrementa la fertilidad del suelo reduciendo la necesidad de fertilizantes.

Nota: Se recomienda que estas evaluaciones se realicen con la asesoría de un ingeniero agrónomo.

Figura 38

Beneficios de los cultivos de cobertura con leguminosas en suelos degradados por la minería en la Amazonía



Los cultivos de cobertura de plantas leguminosas presentan beneficios adicionales.

- Sus raíces presentan nódulos. Estas son pequeñas proyecciones de las raíces con forma redonda que son creados por medio de la unión de mutuo beneficios o simbiosis entre bacterias del género *Rhizobium* y la planta leguminosa.
- Estas bacterias de las raíces se encargan de fijar el nitrógeno del aire para brindárselo a la planta leguminosa, siendo el nitrógeno un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas.
- Las plantas se benefician del nitrógeno proveniente de la bacteria y les brindan alimentos como azúcares, para que así sigan viviendo.
- El nitrógeno aportado por los cultivos de cobertura es capaz de evitar la necesidad de aplicar fertilizantes nitrogenados al suelo.

Cuando estas plantas hayan crecido significativamente en el área que se desea restaurar, se puede optar por cortar los biomas a superficial, incorporar y mezclarlo con el suelo, lo cual mejorará, de modo significativo, su fertilidad. A esta práctica se llama uso de abonos verdes.

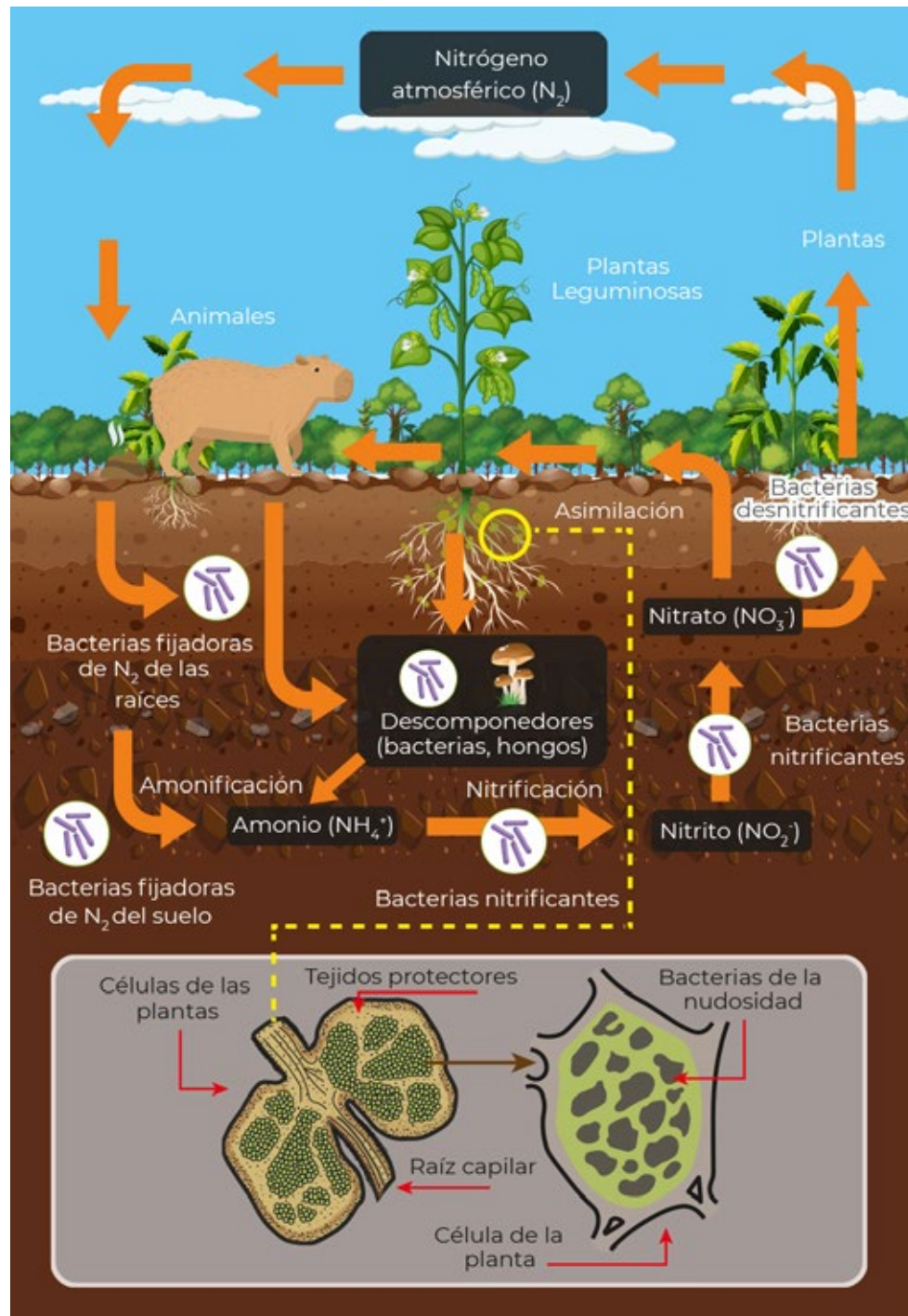
Figura 39

Planta de la leguminosa Centrosema macrocarpum con una gran formación radicular sobre suelos degradados por la minería aurífera aluvial; el objetivo es recuperar estos suelos (2020)



Figura 40

Fijación de nitrógeno por las leguminosas en beneficio de la salud del suelo



¿Cómo se realiza la siembra de los cultivos de coberturas leguminosas?

Por lo general, los cultivos de cobertura leguminosas se siembran de la siguiente manera:

- Esperar el inicio de la época de lluvia en la Amazonía para la ejecución de la siembra.
- Dejar remojar las semillas 24 horas antes de la siembra, lo que ayudará a que el agua inicie el proceso de germinación de las semillas, las que, una vez que estén hinchadas, podrán ser utilizadas para la siembra.
- Realizar un pequeño hoyo de 4 cm de profundidad.
- Depositar semillas en cada hoyo y taparlas con cuidado, presionando ligeramente la superficie.
- Dejar que crezcan las plantas hasta que cubran los suelos y tenga una salud óptima. Cabe destacar que, a partir de un año y medio se cubrirá todo el suelo de la zona de siembra.

Nota: Se puede emplear una sembradora para agilizar la siembra.

Figura 41

Elaboración de hoyos para la siembra de coberturas con leguminosas (2018)



Figura 42

Siembra de cultivos de cobertura con leguminosas



¿Qué especies son ideales para recuperar la salud del suelo en zonas mineras amazónicas?

En las experiencias de recuperación de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial han destacado las siguientes especies leguminosas:

1. Kudzu - *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth

Tabla 8

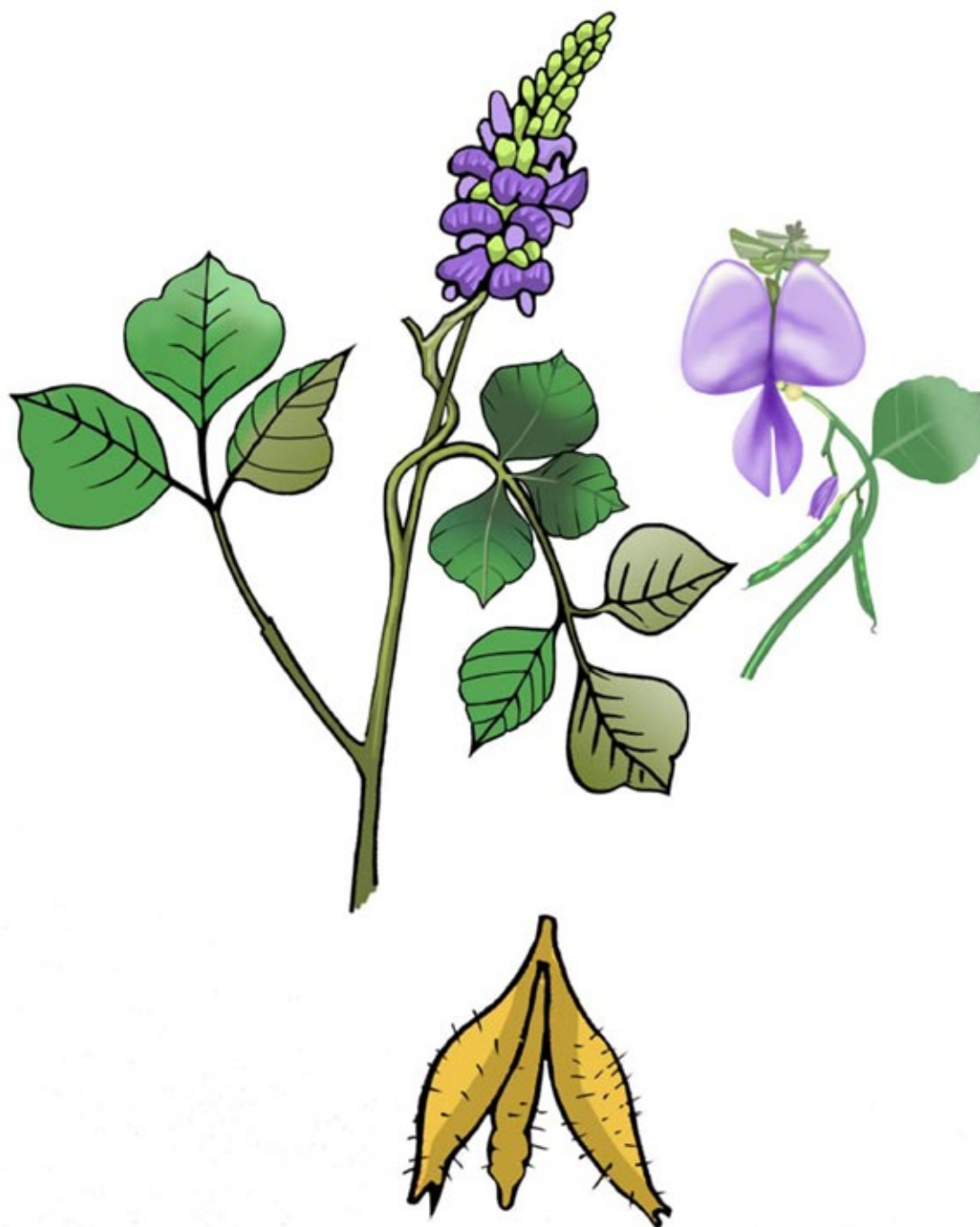
Cartilla de información sobre *Pueraria phaseoloides* (Kudzu)

Origen	Asia sudoriental (Malasia e Indonesia)
Hábito	Herbácea rastrera
Ciclo de vida	Perenne
Altitud	0 a 1600 m. s. n. m.
Tipo de siembra	Directa en franjas
Número de semillas sembradas por hoyo	5 semillas por hoyo o 5 a 7 kg /ha
Época de siembra	Inicio de lluvias
Clima	Trópico húmedo. Sobrevive al moderado sombramiento
Suelo	Moderadamente fértil, ácidos (pH 3.5 a 5.5), sin problemas de sales, buen drenaje, requiere fósforo y magnesio
Riego	Habitúa riegos intensos y frecuentes, con alta capacidad de sobrevivir de 4 a 5 meses en seco
Polinización	Cruzada
Propagación	Semilla y estolones
Rendimiento de semillas	400 a 500 kg /ha
Número de semillas por gramo	70
Aporte de biomasa al suelo	5 a 6 t/ha de materia seca en suelo no degradado
Uso alternativo	Cultivo de cobertura, abono verde, pasto y forraje, con alta palatabilidad.
Recomendación	Presenta alta capacidad invasora a otras plantas que requieren de labores de mantenimiento. No soporta sobre pastoreo.

Nota: Adaptado de Peters et al. (2011)

Figura 43

Kudzu (Pueraria phaseoloides)



2. Centrosema - Centrosema macrocarpum Benth

Tabla 9

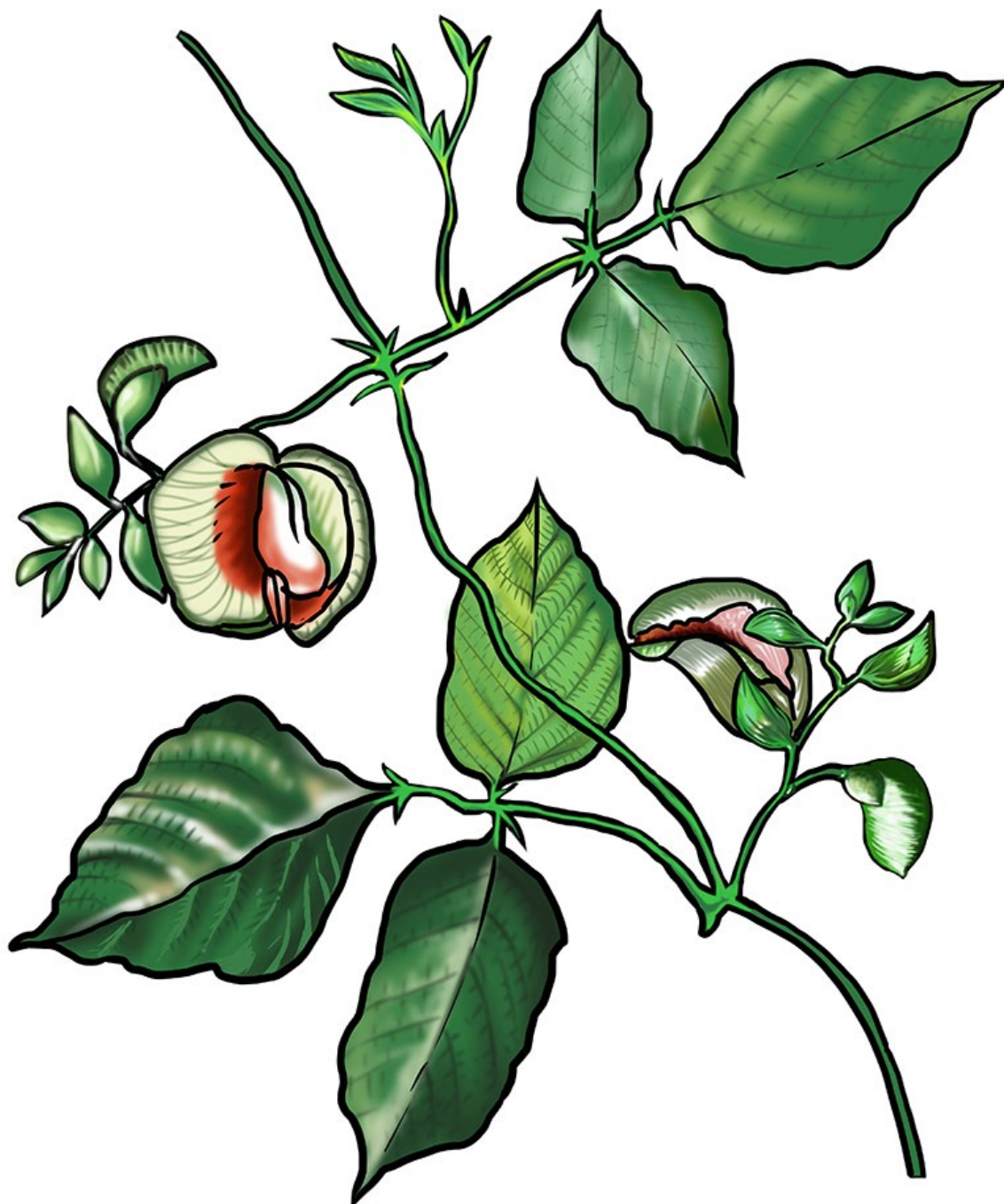
Cartilla de información sobre Centrosema macrocarpum

Origen	América del Sur y África tropical
Hábito	Herbácea rastrera
Ciclo de vida	Perenne
Altitud	0 a 1650 m s. n. m.
Tipo de siembra	Directa en franjas
Número de semillas sembradas por hoyo	4 semillas por hoyo o 5 a 7 kg /ha
Época de siembra	Inicio de lluvias
Clima	Trópico húmedo. Sobrevive al moderado sombramiento e incluso quemas.
Suelo	Baja a mediana fertilidad, ácidos (pH 4.0 a 7.5), sin problemas de sales, buen drenaje, adaptable a diferentes texturas de suelo, requiere fósforo y potasio
Riego	Habitúa riegos intensos y frecuentes, con alta capacidad de sobrevivir de 6 a 7 meses en seco
Polinización	Cruzada
Propagación	Semilla y estolones
Rendimiento de semillas	500 kg /ha
Número de semillas por gramo	20
Aporte de biomasa al suelo	10 a 15 t/ha de materia seca en suelos no degradados
Uso alternativo	Pastoreo, banco de proteína, abono verde, coberturas en plantaciones asociadas y para corte y acarreo
Recomendación	Presenta alta capacidad invasora a otras plantas que requieren de labores de mantenimiento. Soporta pastoreo continuo o rotacional.

Nota: Adaptado de Peters et al. (2011)

Figura 44

Centrosema (*Centrosema macrocarpum*)



3. Alfalfa tropical - *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. Var guianensis cv Pucallpa (CIAT184)

Tabla 10

Cartilla de información sobre *Stylosanthes guianensis* (Alfalfa Tropical)

Origen	México hasta Argentina, e introducida a varios países tropicales
Hábito	Herbácea erecta o postrada
Ciclo de vida	Perenne de ciclo corto que requiere una resiembra en 3 o 4 años
Altitud	0 a 2500 m s. n. m.
Tipo de siembra	Directa, en surcos o al voleo
Número de semillas sembradas por hoyo	5 semillas por hoyo o 3 a 5 kg /ha
Época de siembra	Inicio de lluvias
Clima	Sabanas tropicales y trópicos húmedos, tolerante a bajas temperaturas invernales y alta adaptabilidad a climas secos por 4 a 7 meses.
Suelo	Baja fertilidad, ácidos (pH de 3.5 a 6.5)
Riego	Soporta sequías como riegos intensos y frecuentes, pero sin condiciones de anegamiento.
Polinización	Cruzada
Propagación	Semilla
Rendimiento de semillas	100 a 200 kg /ha
Número de semillas por gramo	400
Aporte de biomasa al suelo	5 a 10 t/ha de materia seca en suelo no degradado
Uso alternativo	Cultivo de cobertura, abono verde, pasto y forraje.
Recomendación	Soporta el sobre pastoreo continuo y rotacional. Es susceptible a antracnosis.

Nota: Adaptado de Peters et al. (2011); Centro Internacional de Agricultura Tropical (1984); Mannetje (1977)

Figura 45

Stylosanthes (*Stylosanthes guianensis*)



4. Canavalia - Canavalia ensiformis (L) DC

Tabla 11

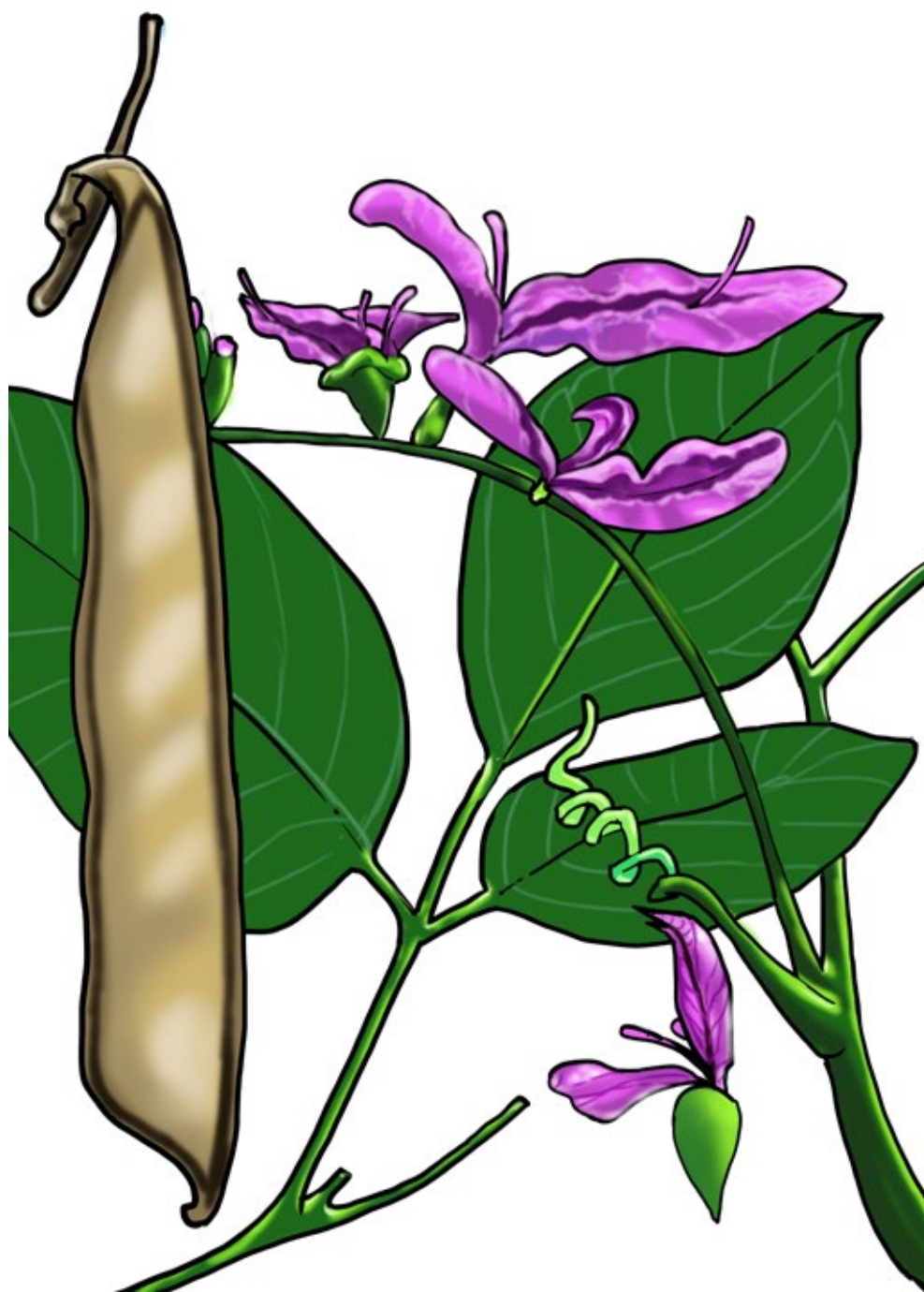
Cartilla de información sobre Canavalia ensiformis

Origen	Centroamérica
Hábito	Herbácea erecta a enredadera
Ciclo de vida	Anual a perenne
Altitud	0 a 900 m s. n. m.
Tipo de siembra	Directa, en surcos o al voleo
Número de semillas sembradas por hoyo	3 semillas por hoyo o 60 a 70 kg /ha
Época de siembra	Inicio de lluvias
Clima	De amplio rango de zonas templadas hasta las tropicales. Soporta sombra, encharcamiento y prolongados periodos de sequía
Suelo	Baja fertilidad, ácidos (pH de 4.3 a 8.0), con texturas franco arenosas a arcillosas
Riego	Soporta sequías como riegos intensos y frecuentes e incluso de condiciones de anegamiento.
Polinización	Cruzada
Propagación	Semilla
Rendimiento de semillas	1 a 4 t /ha
Peso de una semilla	1 a 1.5 g
Aporte de biomasa al suelo	3 a 7 t/ha de materia seca en suelo no degradado
Uso alternativo	Abono verde, cobertura e insecticida (hormiga arriera, babosa)
Recomendación	Después de la floración y fructificación, se recomienda realizar la soca para provocar el rebrote de la planta e iniciar otro ciclo de crecimiento.

Nota: Adaptado de Peters et al. (2011); Centro Internacional de Agricultura Tropical (1984)

Figura 46

Canavalia (*Canavalia ensiformis*)



5. *Crotalaria* - *Crotalaria spectabilis* Roth

Tabla 12

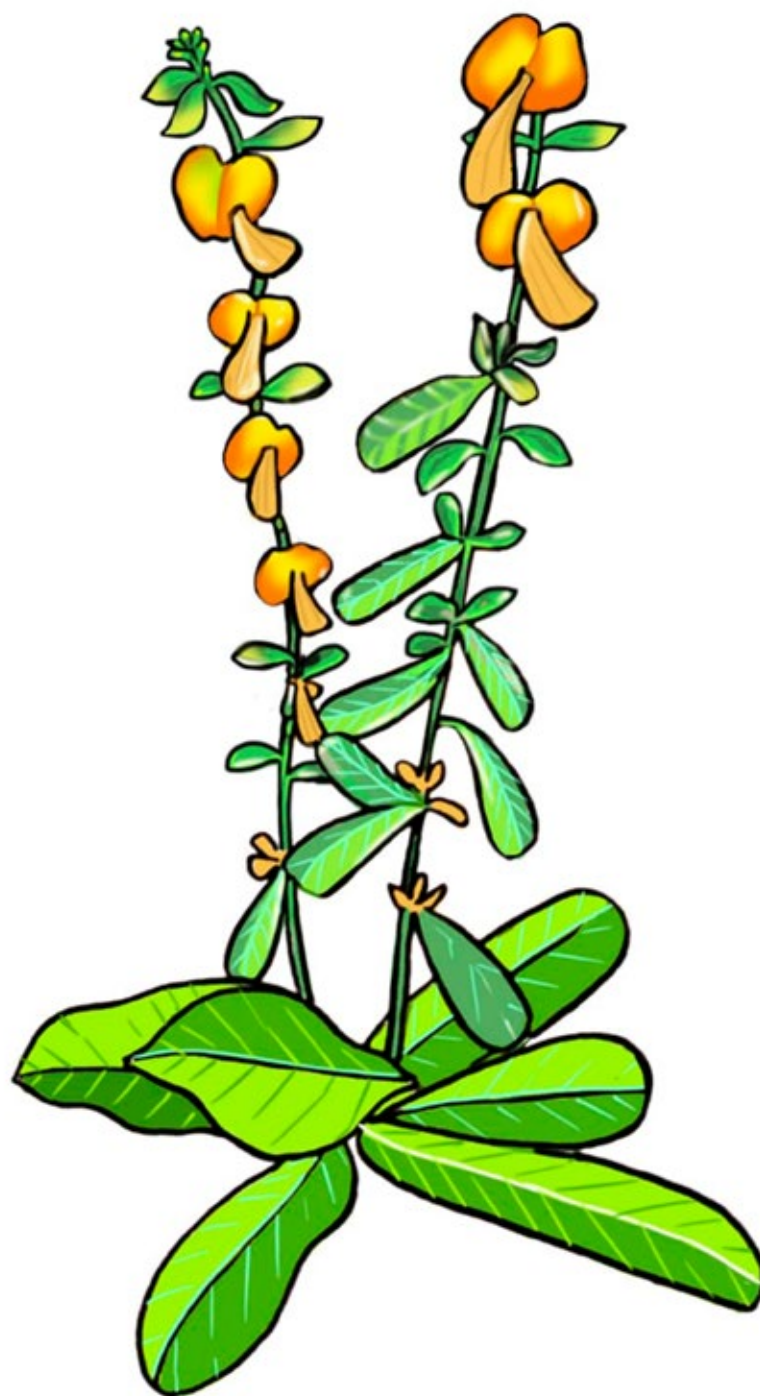
Cartilla de información sobre *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria*)

Origen	Asia y naturalizada en lugares con limas trópicos
Hábito	Herbácea erecta
Ciclo de vida	Anual, pero de alta liberación de semillas (dehiscencia) y generación de nuevos individuos.
Altitud	100 a 1500 m s. n. m.
Tipo de siembra	Directa, en surcos o al voleo
Número de semillas sembradas por hoyo	5 semillas por hoyo o 15 kg /ha
Época de siembra	Inicio de lluvias
Clima	Trópico y subtropical. Sobrevive al moderado sombramiento. Presenta tolerancia a climas secos.
Suelo	Baja fertilidad, moderadamente ácidos (pH de 6.0 a 6.5) reduce la población de nematodos.
Riego	Soporta sequías como riegos intensos y frecuentes, pero sin condiciones de anegamiento.
Polinización	Cruzada
Propagación	Semilla
Rendimiento de semillas	200
Número de semillas por gramo	50
Aporte de biomasa al suelo	20 a 30 t/ha de materia seca
Uso alternativo	Cultivo de cobertura, abono verde, pasto y forraje.
Recomendación	Cultivo de cobertura, abono verde, ornamental por su largo periodo de floración y atrayente de insectos polinizadores. No se debe emplear como alimento de ganado. Es considerada una planta invasora

Nota: Adaptado de Maddox, Westbrooks y Byrd (s.f.); Randall (2012); USDA-NRCS (2015); Fitoagrácola (2020); Francis (2004); Niyomdham (1997)

Figura 47

Crotalaria (Crotalaria spectabilis)



¿Cuál es el resultado de la recuperación de la salud del suelo en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial, usando los cultivos de cobertura leguminosa?

A continuación, se muestran los principales resultados del comportamiento de cultivos de cobertura leguminosa para la recuperación de la salud del suelo y en áreas impactadas por la minería aurífera aluvial en experiencias realizadas en la comunidad nativa de San Jacinto (Velásquez *et al.*, 2020b; Velásquez *et al.*, 2019a; Velásquez *et al.*, 2019b).

Las especies *Crotalaria spectabilis*, *Canavalia ensiformis*, *Pueraria phaseoloides*, *Centrosema macrocarpum* y *Stylosanthes guianensis* tienen una alta adaptabilidad a suelos degradados mineros, cubren el suelo al 100 % en 10, 10, 14, 15 y 11 meses, respectivamente; producen biomasa hasta 48 t/ha en solo 3 años y disminuyen efectos de erosión.

La fertilidad física del suelo se mejora notablemente al formar agregados con incremento en 100 %, fomentando la estructuración y estabilidad del suelo. Se comprueba que se disminuye la densidad aparente, lo que incrementa la porosidad del suelo y beneficiaría a las plantas con mayor retención de humedad.

Se incrementa notablemente la fertilidad química de suelos con las leguminosas, al acrecentar la materia orgánica del suelo hasta 0.53 %, lo que significaría un aumento del 1700 %. También, incrementa la disponibilidad de macronutrientes esenciales en 100 % como el fósforo (P) y potasio (K), registrándose hasta 8.88 mg/kg y 86.3 ppm, respectivamente.

Finalmente, la vida se establece en los suelos degradados. La respiración y biomasa microbiana se incrementa en 9000 y 1900 %, correspondientemente, con 1.04 mg CO₂/g suelo seco/día y 2.08 mg CO₂/g suelo seco respectivamente. A la vez, resalta el aumento de la biodiversidad de la macrofauna del suelo, al encontrarse más de 11 grupos taxonómicos a comparación del suelo degradado con solo 2 grupos, en el que se logra ampliar la densidad poblacional en 1000 % hasta obtener 137 individuos/m².

Estos resultados evidencian que en corto tiempo la fertilidad física, química y biológica se incrementan de manera significativa y, por ende, brindan mejores condiciones al establecimiento de plantas de alto valor económico y ecológico en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial.

Tabla 13

Significativa mejora de la fertilidad física, química y biológica del suelo en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en suelos de SPC Sustrato descubierto, en la Comunidad Nativa de San Jacinto, Madre de Dios

Parámetros de suelo y planta en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial		Testigo	Crotalaria spectabilis		Canavalia ensiformes		Pueraria phaseoloides		Centrosema macrocarpum		Stylosanthes guianensis	
		Año 0	Año 2	Año 2	Año 2	Año 4	Año 4	Año 4	Año 4	Año 4	Año 4	Año 4
Planta	Biomada seca (t/ha)	-	↑	28.84	↑	12.56	↑	7.91	↑	21.999	↑	42.87
	Textura	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena
Características físicas del suelo	Estabilidad de agregados (%)	3.10	↑	4.02	↑	3.85	↑	4.02	↑	4.29	↑	8.65
	Densidad aparente (cm³/g)	1.41	↓	1.18	↓	1.28	↓	1.28	↓	1.31	↓	1.34
	pH	5.46	↓	5.27	↓	5.35	↓	4.80	↓	5.20	↓	4.53
	Materia orgánica (%)	0.03	↑	0.09	↑	0.18	↑	0.47	↑	0.30	↑	0.53
Características químicas del suelo	Fósforo disponible (ppm)	4.47	↑	6.43	↑	8.33	↑	6.66	↑	8.88	↑	4.96
	Potasio disponible (mg/kg)	37	↑	86.3	↑	67.33	↑	81.78	↑	85.89	↑	61.84
	Capacidad de intercambio catiónico (Cmol(+)/kg)	3.31	↑	4.32	↑	4.53	↑	4.61	↑	5.03	↑	5.24
Características biológicas del suelo	Respiración del suelo (mgCO₂/g suelo seco/día)	0.01	↑	0.97	↑	1.04	↑	0.91	↑	0.49	↑	0.58
	Biomasa microbiana (mg CO₂/g suelo seco)	0.03	↑	0.11	↑	2.03	↑	0.95	↑	1.36	↑	2.08
Macrofauna	Grupo taxonómicos (N°)	2	↑	4	↑	4	↑	3	↑	9	↑	11
	Densidad poblacional (individuos/m²)	11	↑	35	↑	40	↑	25	↑	107	↑	137

Figura 48

Kudzu (Pueraria phasealoides) a un año de siembra sobre suelo degradado por la minería aurífera aluvial (2020)



Figura 49

Centrosema (Centrosema macrocarpum Benth) a un año y medio de siembra sobre suelo degradado por la minería aurífera aluvial (2020)



Figura 50

Alfalfa tropical (Stylosanthes guianensis) a un año de siembra sobre suelo degradado por la minería aurífera aluvial (2020)



Figura 51

Canavalia (Canavalia ensiformis) a un año de siembra sobre suelo degradado por la minería aurífera aluvial (2020)



Figura 52

Dioclea (*Dioclea virgata*) a un dos sobre montículos de fragmentos gruesos en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial (2020)



Figura 53

Dioclea (*Dioclea virgata*) en proceso de floración y creciendo exitosamente sobre áreas degradadas por la minería aurífera aluvial (2020)

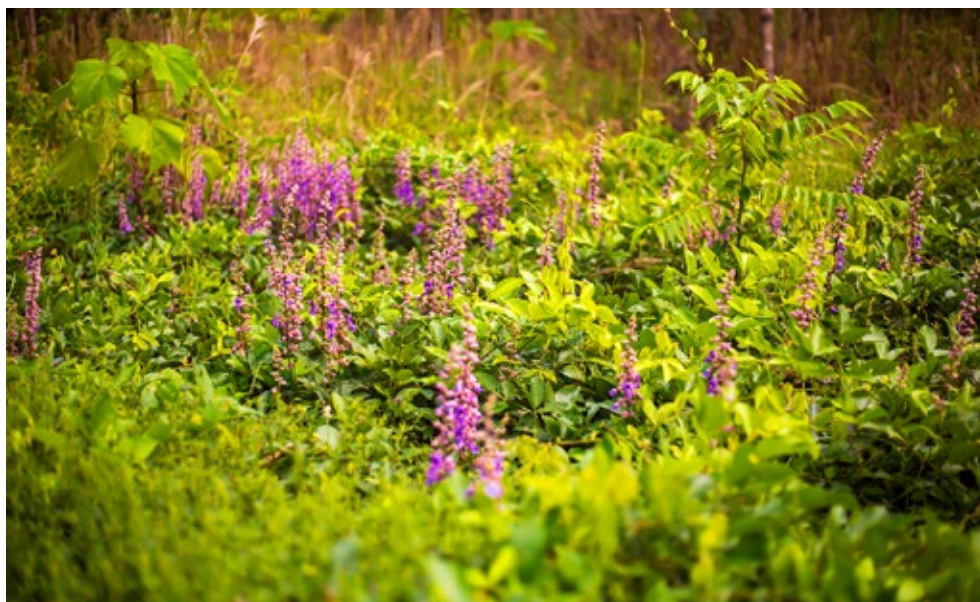
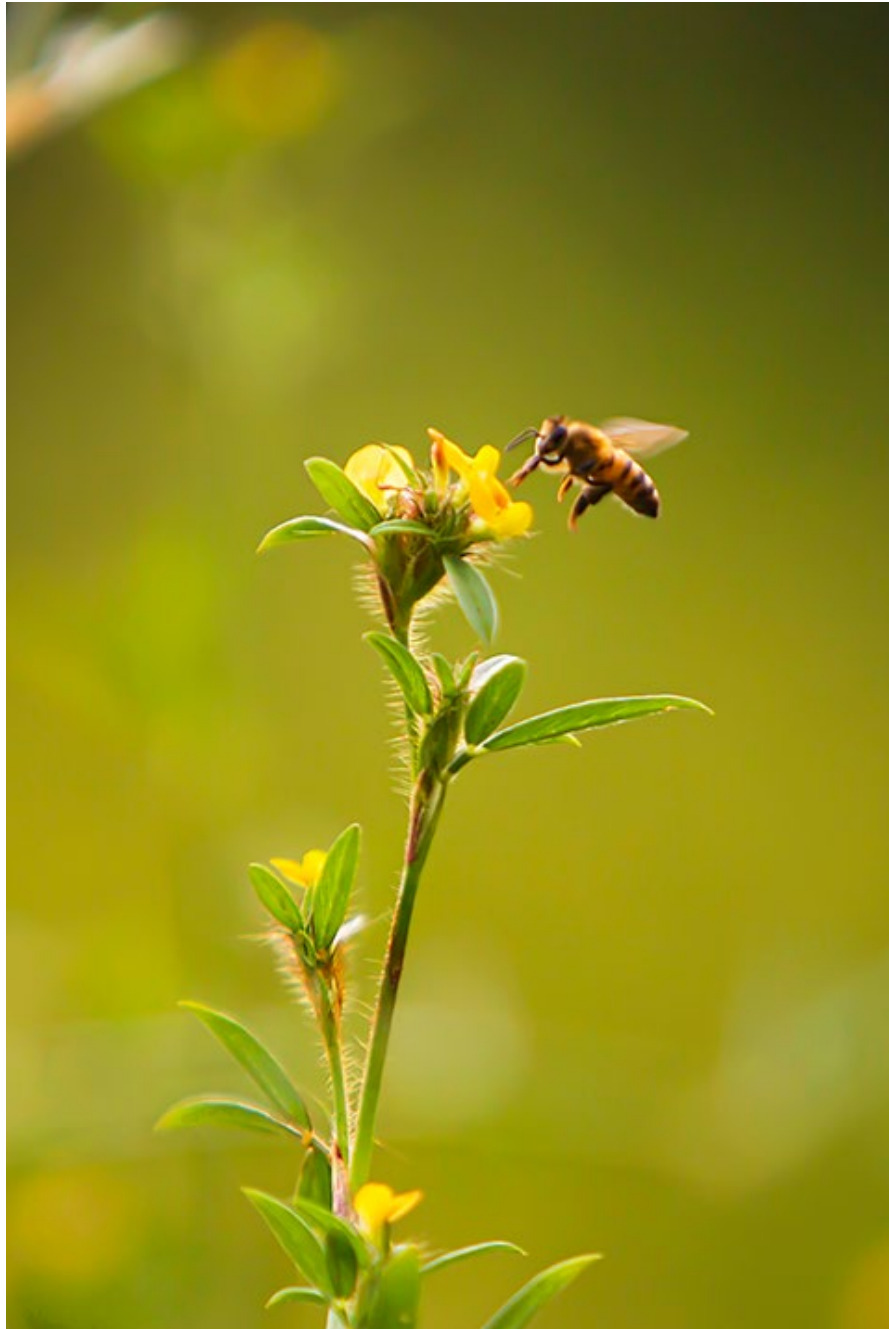


Figura 54

La alfalfa tropical (Stylosanthes guianensis) es un gran atrayente de abejas en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial; estas últimas son las más importantes polinizadoras de la naturaleza (2021)





Árbol de *Ceiba pentandra* o "Lupuna" de dos años de edad, creciendo vigorosamente sobre un suelo en recuperación con la leguminosa *Centrosema macrocarpum* en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial

CAPÍTULO 6

REFORESTACIÓN CON ESPECIES DE ALTO VALOR ECONÓMICO Y ECOLÓGICO

Luego de la instalación de los cultivos de cobertura leguminosas, y que éstos hayan cubierto al 100% del área degradada y el proceso de recuperación de la salud del suelo se haya iniciado después de un año, se puede proceder a instalar los plantones especies de alto valor económico y ecológico.

Los plantones a instalarse pueden tener múltiples funciones claves. Pueden tener un valor ecológico alto para garantizar la recuperación del bosque, del ciclo hidrológico, refugio de animales, fortalecimiento de ciclos de nutrientes y sucesiones ecológicas, así como incrementar notablemente de la fertilidad del suelo. Por otro lado, se puede preferir plantas que soporten condiciones agrestes y pueden generar productos de importante valor económico por su madera o fruto.

Las especies pueden ser locales, nativas y/o introducidas, dependiendo de los objetivos del proyecto, las cuales deben ser consultadas con las entidades responsables. A la vez resulta importante prevenir manejos complementarios para garantizar un adecuado crecimiento de las plantas con los cultivos de cobertura leguminosas.

¿Qué es la reforestación?

La reforestación es el proceso de plantación de árboles, que en este caso deben ser multipropósito, sobre tierras que históricamente tenía un bosque pero fue convertido en tierras para otro uso (Franco & Campello, 2001).

¿Cuáles son los criterios básicos y prácticos para definir la reforestación?

1. Definición de la metodología de reforestación

Son muy pocos los modelos de intervención para la reforestación en áreas degradadas por la minería aurífera aluvial; sin embargo, se plantean las siguientes:

- Reforestación en sustrato desnudo con especies forestales
- Reforestación en suelo desnudo con especies pioneras, secundarias y tardías.
- Reforestación secuencial asociando especies de cobertura, pioneras, secundarias y tardías.
- Enriquecimiento (espacios con cobertura natural inicial) con especies secundarias y tardías.
- Enriquecimiento (espacios con cobertura natural avanzada) con especies tardías.
- Reforestación comercial con tecnología de fertirrigación (tecnología aún no desarrollada).

2. Selección de las especies a utilizar

En la selección de especies a usar en la reforestación se tomará en cuenta:

- Uso multipropósito como poseer un alto valor ecológico y/o económico.
- Ser locales, nativas o introducidas adaptadas a las condiciones de suelos degradados.
- Adaptadas a la variabilidad climática tropical, cambios estacionales como intensa lluvia y escasez de agua.
- Facilidad de adquisición de semillas o estacas a propagar. Aquí es importante conocer la época de diseminación de semillas.
- De rápida y fácil propagación (semillas o estacas).
- Adaptadas a soportar acidez y baja fertilidad en el suelo. Debe conocerse necesidades de nutrientes para determinar el tipo de enmienda o fertilizante a emplearse.
- De rápido crecimiento y buen tamaño del fuste.

3. Abastecimiento con especies forestales

Resulta importante contar con plantas de fácil disposición y para ello se pueden tomar las siguientes medidas:

- Comprar en viveros en caso se requieran plantas rápidamente.
- Producir plantas en viveros permanentes para el caso de necesidades continuas de una selección de plantas para la reforestación. Esto viveros usualmente se ubican lejos del área de intervención.
- Producción en viveros volantes para el caso de producción de plantas en lugares cercanos al área de intervención.

A continuación, se presenta una selección de árboles tropicales, nativos en su mayoría, que pueden emplearse en la restauración de áreas degradadas por su alto valor ecológico y económico.

Figura 55

Plantación de planta forestal Jacaranda copaia (Achihua) sobre un suelo degradado en proceso de recuperación con Pueraria phasealoides (Kudzu) (2021)



Tabla 14

Especies de alto valor económico y ecológico para la restauración de áreas degradadas

Especie forestal	Nombre común	Familia	Origen	Valor	Gremio ecológico	Calidad del clima			Mes de fructificación	Tratamiento pregerminativo
						Precipitación (mm/año)	Altitud (m. s. n. m.)	Temperatura (°C)		
<i>Ochroma pyramide</i>	Topa	Malvaceae	América tropical	Ecológico	Heliófito	1000 - 4000	<1800	20 - 30	marzo a junio	La ebullición en agua por 20 minutos
<i>Ceiba pentandra</i>	Lupuna	Malvaceae	América central	Económico	Heliófito	900 - 6000	<1500	26	marzo a abril	inmersión en agua hirviendo por 1 minuto
<i>Hymenoea oblongifolia</i>	Azucar huayo	Fabaceae	Sudamérica	Económico	Esciófito	800 - 4000	<1200	20 - 30	marzo a abril	Escarificación
<i>Erythrina ulei</i>	Amasisa	Fabaceae	México y América central	Económico	Heliófito	1800 - 3500	810 - 910	20 - 26	octubre a noviembre	No requiere
<i>Cedrelinga coterifformis</i>	Tornillo	Fabaceae	Sudamérica	Económico	Esciófito	2500 - 3800	120 - 800	15 - 38	febrero	No requiere
<i>Dipteryx micrantha</i>	Shihuhuaco	Fabaceae	Amazonía	Económico	Esciófito	1200 - 5000	20 - 800	24 - 27	noviembre a diciembre	Eliminar mesocarpio
<i>Schizolobium amazonica</i>	Pashaco	Fabaceae	Amazonía	Económico	Heliófito	1200 - 2500	<1200		noviembre a diciembre	Inmersión en agua por 24 horas
<i>Copaifera paupera</i>	Copaiba	Fabaceae	Amazonía	Económico	Esciófito	700 - 3300	<700	22 - 25	septiembre a enero	Inmersión en agua por 24 a 48 horas
<i>Apiiba membranacea</i>	Peine de mono	Malvaceae	Centro y sur de América	Ecológico	Heliófito	2000 - 5000	<500	24 - 30	Todo el año	Inmersión en agua por 24 horas
<i>Inga edulis</i>	Guaba	Fabaceae	Amazonía	Ecológico	Heliófito	800 - 1200	<1800	20 - 26	diciembre a enero	No requiere
<i>Inga sp.</i>	Shimbillo	Fabaceae	Amazonia	Ecológico	Heliófito	800 - 1200	<1800	20 - 25	abril a junio	No requiere

<i>Mauritia flexuosa</i>	Aguaje	Areaceae	Sudamérica	Ecológico	Heliófito	1141 - 6315	5 - 1200	22.8 - 27.1		
<i>Myroxylon balsamun</i>	Estoraque	Fabaceae	Centroamérica	Ecológico	Esciófito	1000 - 1500	900 - 2100	20 - 30	junio a julio	Escarificación mecánica
<i>Pourouma minor</i>	Uvilla	Urticaceae	Amazonia occidental	Ecológico	Heliófito	1599 - 4000	<1200	20 - 28	septiembre a noviembre	
<i>Prosopis peruvianus</i>	Algarrobo	Fabaceae	Zonas costeras áridas (Perú, Colombia y Ecuador)	Ecológico	Heliófito	300 - 600	<1500	20 - 50	octubre a noviembre	Inmersión en vinafre por 4 min.
<i>Gliricidia sepium</i>	Glirísida	Fabaceae	Norte y centro de Sudamérica	Ecológico		500 - 2300	<700	20 - 30	marzo a junio	Inmersión en agua por 24 horas
<i>Jacaranda copaia</i>	Huamansama	Bignoniaceae	Amplia distribución geográfica	Ecológico	Heliófito	600 - 3000	<1000	25	febrero a abril	Inmersión en agua por 24 horas
<i>Guazuma crinita</i>	Bolaina	Malvaceae	América tropical	Ecológico	Heliófito	1500 - 3500	<1500	26	octubre a diciembre	No requiere
<i>Terma micrantha</i>	Atadijo	Ulmaceae	Amazonia	Ecológico	Heliófito	750 - 2500	80 - 1200	17 - 28	todo el año	Inmersión en agua por 24 a 48 horas

Nota: Tomado de Román et al. (2015)

Los pasos son los siguientes

1. Preparación de plántones en vivero

- Definición del tipo de vivero y ubicación

Se plantea la instalación de un vivero volante para una reforestación aledaña, con la capacidad de producción anual de 13,500 plantas, y destinada a la restauración de 10 ha degradadas. El vivero debe cumplir los siguientes requisitos:

- Capacidad de ser usado por más de 5 años
- Fácil de cambiar de ubicación
- Cerca de una fuente de agua (estanques artificiales)
- Con facilidad de acceso de vehículos.

- Construcción de un vivero

El vivero a construirse para esta actividad debe contar con los siguientes elementos:

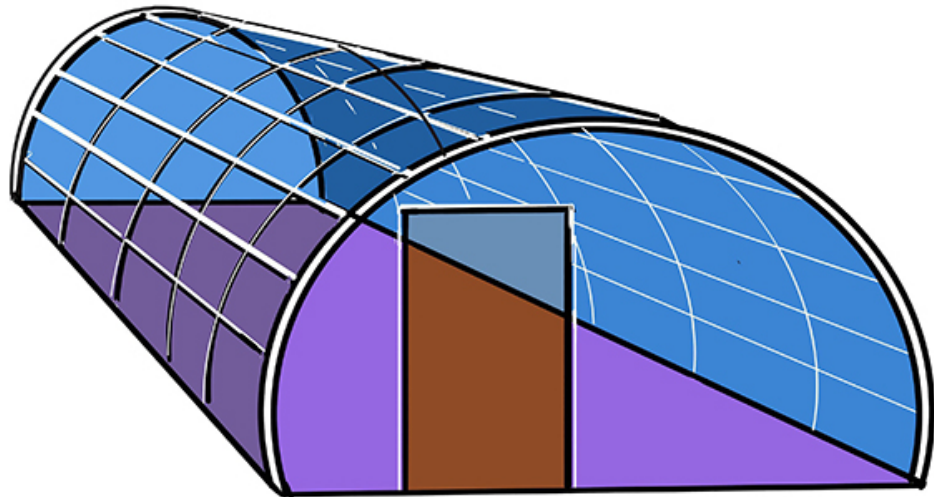
- Un pozo de captación de agua (estanque producto de la actividad minera), con su motobomba y accesorios.
- Vivero tipo túnel de tecnología media, con 7 túneles 4m de ancho, 2 m de alto x 15 m de largo, para la producción de plantas y 1 túnel para la germinación de semillas y 2 túneles para la producción de compost.
- Techo de malla raschell de doble capa removible, de 35% de sombra cada uno.
- Un sistema de riego tecnificado por microaspersión de baja presión.
- Un sistema de fertirrigación.

- Instalación del vivero

Para la instalación del vivero se debe evitar áreas con riesgo de inundación y la presencia de animales, ya que pueden poner en riesgo las plantas en producción.

Figura 56

Diseño de vivero tipo túnel



- Estructuras a construirse

Túnel

- Estructura: se utilizan tubos galvanizados de $\frac{1}{2}$ " (pulgada) de diámetro, dobladas en forma de arco. Se construye una base de cemento en la cual se incrusta una porción de tubo galvanizado de $\frac{3}{4}$ ", con la finalidad de que queden bien fijados en el suelo. Los arcos se instalan a 3 metros de separación hasta alcanzar los 15 m. Para unir los arcos y fijar la malla raschell, se colocan líneas de fibra polyester a cada metro de separación.

Figura 57

Construcción del Vivero tipo túnel

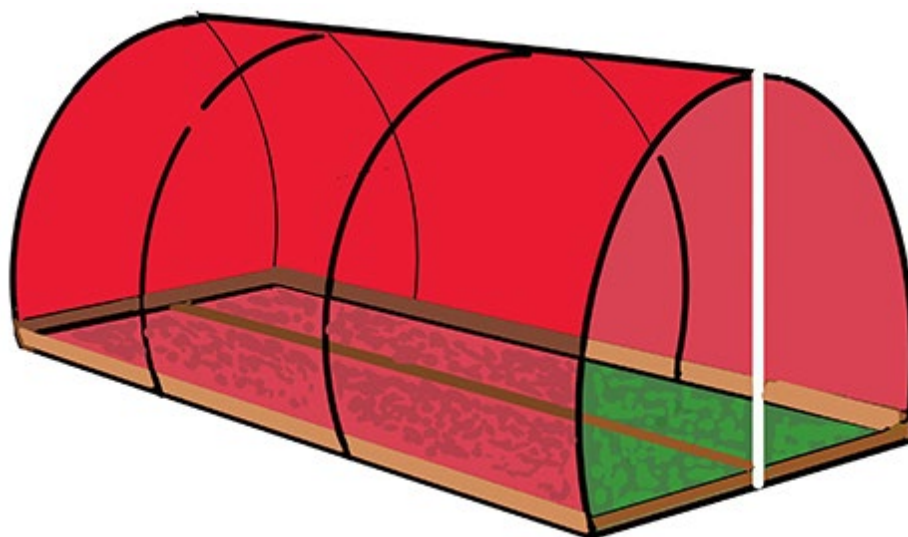


Techado

- Se utiliza doble capa de malla Raschell de 35% de sombra, de tal manera que esta se pueda retirar gradualmente cuando se realice el endurecimiento o rustificación de las plantas. Para las camas de almácigo se sugiere usar malla raschell de color rojo.

Figura 58

Techado del vivero tipo túnel



Cama de germinación

- Es el lugar ideal para la germinación de semillas. Las dimensiones de la cama son de 1x5 m. Se construye un cerco perimétrico en la cama para contener el sustrato con tablas de madera, de un ancho de hasta 10 a 15 cm. De esta manera se obtiene una altura para después verter el sustrato.
- Dependiendo del tipo y tamaño, las semillas se colocan distanciadamente a poca profundidad (sino dificulta la germinación) y con una capa de 2 cm de sustrato encima.
- El sustrato para la germinación debe ser rico en materia orgánica y debe contener suficiente estiércol curtido, pues las semillas muy pequeñas pierden su reserva nutricional rápidamente y requieren de nutrientes para seguir su crecimiento.
- De preferencia el sustrato debe encontrarse libre de semillas extrañas, pues estas pueden perjudicar la germinación y el crecimiento de las semillas que nos interesa.
- Dependiendo de la especie, los plantines estarán aptos para el repique al mes del sembrado, cuando tengan dos hojitas o 10 cm de altura.

Figura 59

Cama de germinación

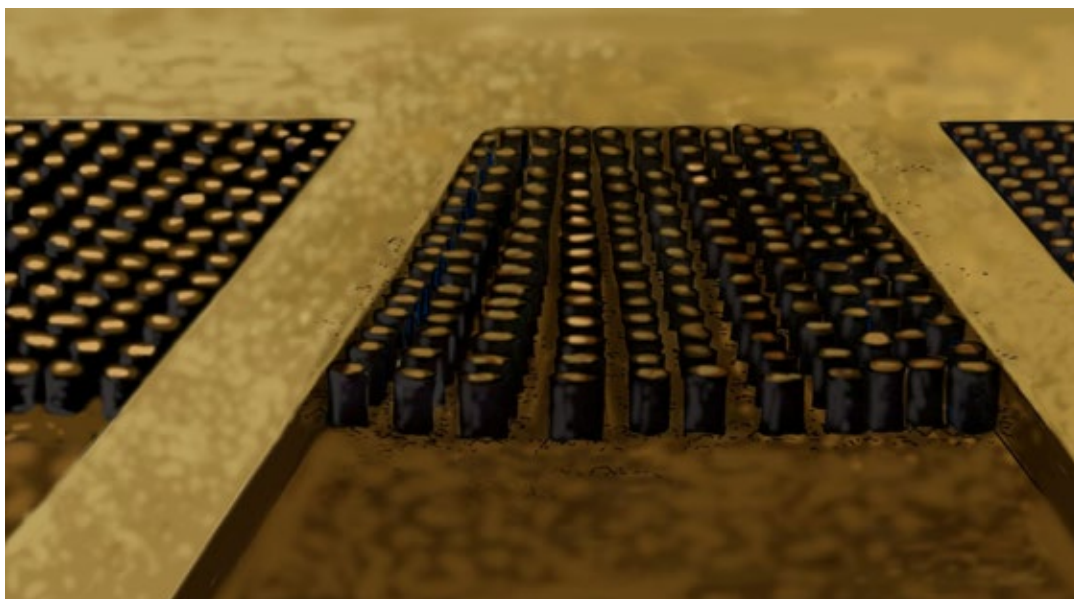


Cama de repique

- Las camas de repique serán construidas en bajo relieve con un ancho de 0.6 m × 15 m de largo, con una separación de 0.6 m. Implica cavar el suelo para elaborar camas, de tal manera que las bolsas queden enterradas sobresaliendo hasta 5cm sobre el suelo. Este tipo de cama permitirá aprovechar más eficientemente el riego y evitará el uso de soportes para que las bolsas no se volteen.

Figura 60

Cama de repique



- Las especies forestales pueden producirse en bolsas de 4" × 7"; 5" × 7"; 6" × 10"; 6" × 12"; 8" × 12"; 8" × 15" u otras de mayor volumen.

La decisión de producir plantas en el mismo lugar de la plantación permite definir un contenedor adecuado, recomendándose las bolsas de 6" × 10" o bolsas de 6" × 12".

- Los sustratos pueden prepararse con limo o suelo agrícola, aserrín, cáscara de arroz, guano de ganado vacuno, aserrín carbonizado, partículas de cáscara de castaña (*Bertholletia excelsa*), compost, ceniza o cal agrícola, y el porcentaje sugerido para su preparación es 50%, 10%, 5%, 10%, 10%, 10%, 5%, respectivamente.

- El repique es una actividad muy importante que consiste en trasladar los plantines de la cama de germinación a la bolsas de repique, para ello se considerarán los siguientes criterios:

- Tamaño adecuado como 2 pares de hojas bien formadas en la mayoría de las especies.
- Plantines estables, que muestren una adecuada rigidez.
- Libres de enfermedades.
- Desarrollo radicular adecuado, sin malformaciones.
- Plantines sin amarillamiento.
- De preferencia que las raíces de los plantines se trasplanten con el terrón de sustrato de donde vino.
- Raíces de plantines firmes luego del trasplante.
- Plantas seleccionadas con tamaño uniforme que facilite el manejo.
- Sombra miento adecuado.
- Riego fino mientras los plantines se adecuen al sustrato para evitar que las raíces queden expuestas.

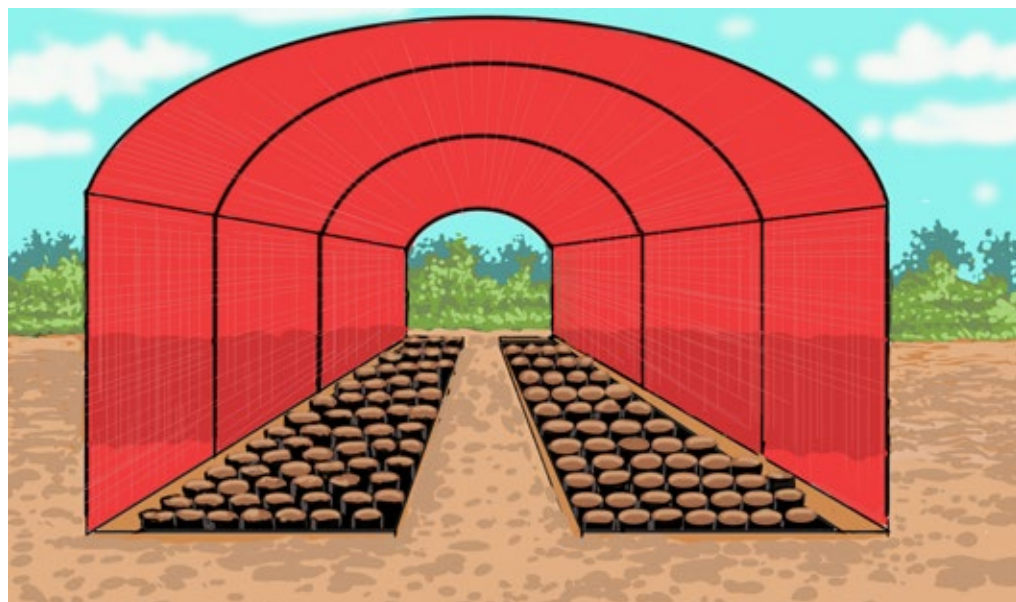
Figura 61

Preparación del sustrato y bolsas de almácigo



Figura 62

Vista de planta del vivero



Labores culturales

- Riego: se debe realizar con una regadera fina para evitar dañar las plantas, manteniendo la humedad de las plantas y su sustrato, si llueve se recomienda no realizar el riego.

Figura 63

Riego de los almácigos



- Recalce: consiste en reponer los plantines muertos, deformes, sin ataques serios de enfermedades o que no se adapten. Esta actividad debe ser inmediata luego de evidenciarse anomalías.
- Deshierbe: eliminar plantas invasoras que afecten el crecimiento de los plantines.
- Protección: ya en vivero se recomienda construir un cerco perimetral para evitar que animales ingresen al vivero y destruyan las camas de almácigos y repique
- Control fitosanitario: en caso de ataques de plagas y enfermedades es importante realizar un control pronto. Para el monitoreo y manejo se recomienda la asesoría de un técnico agropecuario.
- Fertilización: existen muchos productos que pueden utilizarse para la fertilización de los plantines, como los de origen orgánico: biol y biosol, o la utilización de productos químicos de amplia comercialización. Para esto se recomienda la asesoría de un técnico agropecuario.

- Raleo: consiste en separar plantas del vivero conforme este vayan creciendo, lo cual permitirá un mejor ingreso de luz y un crecimiento robusto de la planta. Ello permitirá obtener plantines con un equilibrio en el desarrollo radicular y aéreo.
- Manejo de sombra: conforme vayan creciendo las plantas, deberá favorecerse el ingreso de luz. El proceso de rustificación de las plantas consiste en eliminar la sombra para que se adecuen a las condiciones naturales de campo definitivo. Se debe realizar 30 días antes que las plantas vayan a campo definitivo.

2. Transporte de plantones

Esta es una de las etapas más delicadas y difíciles en las plantaciones. Lo ideal es buscar cajas, jabs o baldes que puedan ayudar a colocar los plantones y transportarlos. Esto también va a depender del vehículo que se vaya a utilizar (bote, auto, moto o trimóvil) donde se deben colocar de tal manera que se evite el zarandeo durante el transporte para que las bolsas no se golpeen, se afecten las raíces o las plantas se quiebren. También depende se pueden transportar a raíz desnuda (en algunos casos facilita el proceso).

Figura 64

Jabas para el transporte de plantones al campo definitivo



Figura 65

Transporte de plántones al campo definitivo



3. Trasplante en campo definitivo

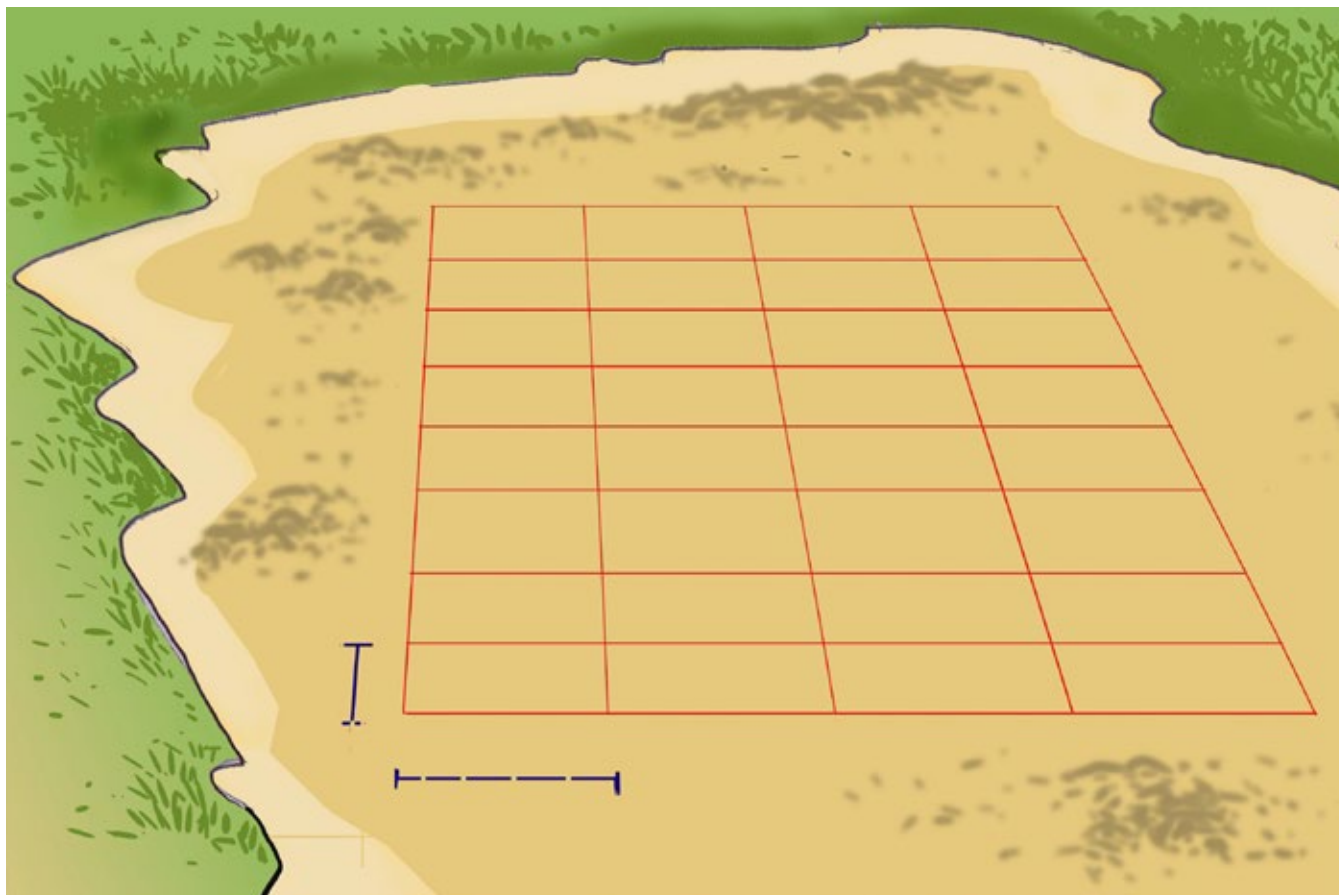
Se debe asegurar el desarrollo y crecimiento de las plantas al brindarle las condiciones adecuadas estimulando el desarrollo de sus raíces, optimizando el uso eficiente del agua y brindando nutrientes por un periodo prolongado, garantizando una ocupación óptima del suelo. El procedimiento es el siguiente:

- Preparación del terreno (trazado)

- Una vez que el terreno ha sido nivelado se debe marcar según el diseño del técnico o ingeniero, con puntos o marcas donde se va a instalar cada estaca o planta. Para esto se puede emplear un distanciamiento de 3×3 m entre cada plánton arbóreo. Se estima alrededor de 1111 plántones por hectárea.

Figura 66

Marcado del área a reforestar



- Preparación de hoyos

- La dimensión del hoyo debe ser de 20 x 20 cm de boca y 30 cm de profundidad en Sustrato descubierto (SD) o Suelo cubierto (SC), con la finalidad de almacenar el sustrato que brindará los nutrientes esenciales para el prendimiento del plantón o estaca.
- En caso haya problemas de compactación, como en Montículo de fragmentos gruesos descubierto (MFGD) y cubierto (MFGC), se debe elaborar un hoyo de 30 x 30 cm de boca y 40 cm de profundidad.
- Tener en cuenta que, en el momento del retiro de la tierra a los lados del hoyo, se debe separar la capa superficial ya que es rica en nutrientes, la que se colocará posteriormente debajo del plantón. Este hoyo se debe realizar el mismo día del trasplante.

Figura 67

Preparación del hoyo que recibirá el plantón o estaca



- Preparación del sustrato

- Es importante incorporar una enmienda orgánica para cada planta durante la plantación. Se recomienda emplear mínimo 3 kg de compost por planta. La enmienda permitiría mantener la humedad del suelo en tiempo de lluvia, además de que con su descomposición proveerá de nutrientes a las plantas. Se recomienda echarlo al hoyo entre 10 y 30 cm de profundidad, que es el espacio de mayor presencia de raíces de la planta para un mejor aprovechamiento.

- Instalación de los plantones

- La instalación de las plantas deberá realizarse con la mayor responsabilidad, teniendo en cuenta una profundidad adecuada, evitando que el sustrato pierda su estabilidad, cubriéndolo adecuadamente y sin presiones excesivas, permitiendo que la planta quede bien instalada (no inclinada o muy profunda).

- Las plantas deberán ser instaladas siguiendo el diseño planteado por los especialistas y es responsabilidad del técnico lograr que esto se cumpla.
- Una buena instalación de las plantas asegura un buen prendimiento y con ello se asegura el éxito de la plantación.
- Procurar realizar esta tarea en horas de la mañana o en la tarde donde hay menos exposición al sol. Primero se rellena el sustrato hasta la mitad del hoyo, después se debe quitar la bolsa cuidadosamente. Se hace un corte en la parte inferior para eliminar las raíces enroscadas, se coloca en el hoyo procurando no se desarme la tierra de la bolsa y quede el comienzo del tallo del plantón al ras del nivel del terreno y se incorpora el sustrato con el abono alrededor, a la vez que se presiona para compactar el suelo.

Figura 68

Cortado y retiro de la bolsa

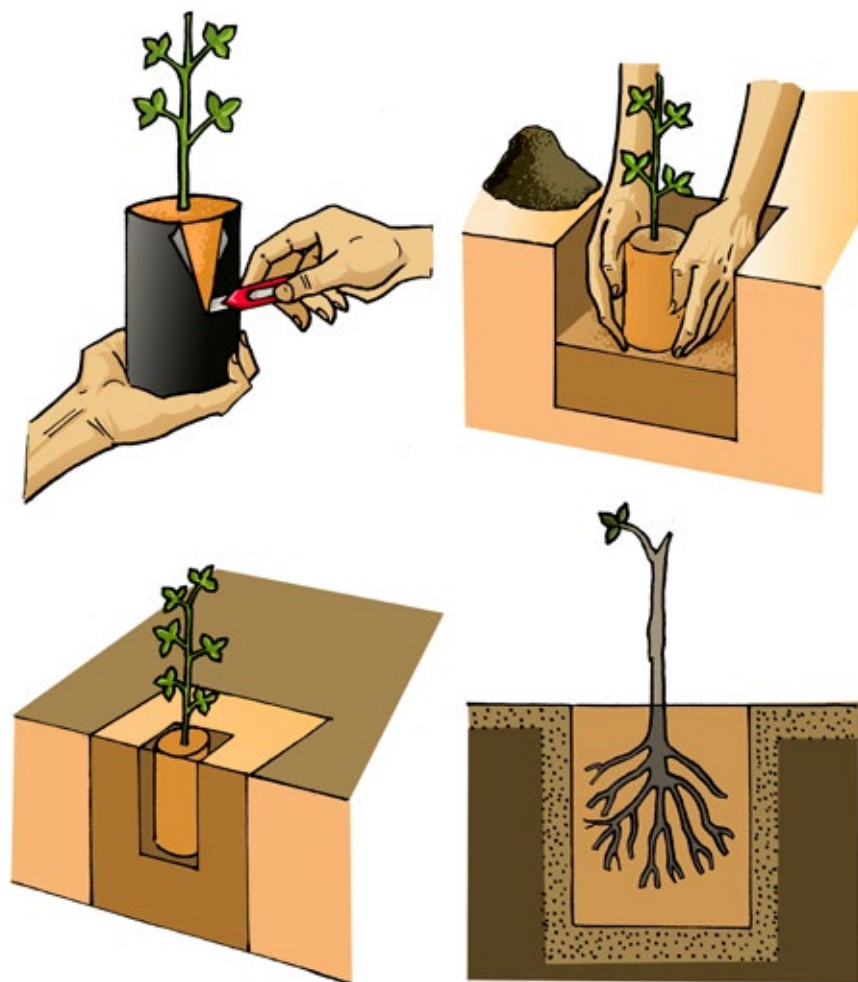


Figura 69

Trasplante en campo definitivo



- Manejo de residuos generados

- Todos los residuos que se generen durante el proceso de plantación deberán ser recogidos para su disposición final, principalmente si se trata de plásticos o residuos contaminantes. Estos deberán ser transportados al campamento y luego llevados a un botadero oficial (en caso de desechos orgánicos e inorgánicos) o para ser reusados en el vivero.



Mantenimiento del árbol *Acacia lorentensis* en suelos con la leguminosa "Kudzu" *Pueraria phaseoloides*

CAPÍTULO 7

MONITOREO Y MANTENIMIENTO DE PLANTACIONES

Una vez instalados los plantones que poseen alto valor económico y ecológico, dentro de los cultivos de cobertura de leguminosas previamente instalados, estos deben cuidarse para asegurar un buen crecimiento, desarrollo y éxito en la restauración de las áreas degradadas. Para ello se requiere efectuar visitas regulares a campo y determinar las labores de mantenimiento que son necesarias. En esta actividad se sugiere la asesoría de personal técnico especializado.

¿Cuáles son las labores a realizarse?

Las labores mínimas a realizar en la plantación son las siguientes:

1. Manejo de las coberturas leguminosas

Existen coberturas que son trepadoras y que pueden impedir el crecimiento de los plántones recién trasplantados, motivo por lo que estas áreas deben visitarse de manera frecuente, para cortar las coberturas que estén comenzando a trepar a los árboles como el caso del Kudzu (*Pueraria phaseoloides*), del Centrosema (*Centrosema macrocarpum*), entre otras.

Figura 70

Poda de mantenimiento de los cultivos de cobertura, leguminosas como *Centrosema macrocarpum* para evitar que trepen sobre los árboles en crecimiento



La cobertura como *Stylosanthes guianensis* no es trepadora y permite un crecimiento adecuado de los plantones en este sistema como los agroforestales u otros para la recuperación de suelos degradados en la Amazonía.

Figura 71

Planta de Stylosanthes guianensis de hábito erecto y que no trepa sobre otras plantas



2. Uso de abonos verdes

Labor dedicada al corte superficial de los cultivos de cobertura a fin de incorporar las raíces, hojas y tallos al suelo, las cuales se mezclarán, posteriormente, con el suelo, hasta incrementar su fertilidad.

Para un mayor beneficio de esta técnica se recomienda el corte de las plantas en su etapa de floración. Es importante realizar esta labor con sumo cuidado para no dañar a las plantas con alto valor económico y ecológico.

Figura 72

Deshierbe de la plantación en proceso de recuperación



3. Evitar incendios forestales

Es necesario identificar las áreas que son de potencial riesgo por incendios, especialmente, en los meses de pocas lluvias, para colocar barreras cortafuegos y plantar especies que soporten el fuego.

Figura 73

Labores para evitar incendios forestales



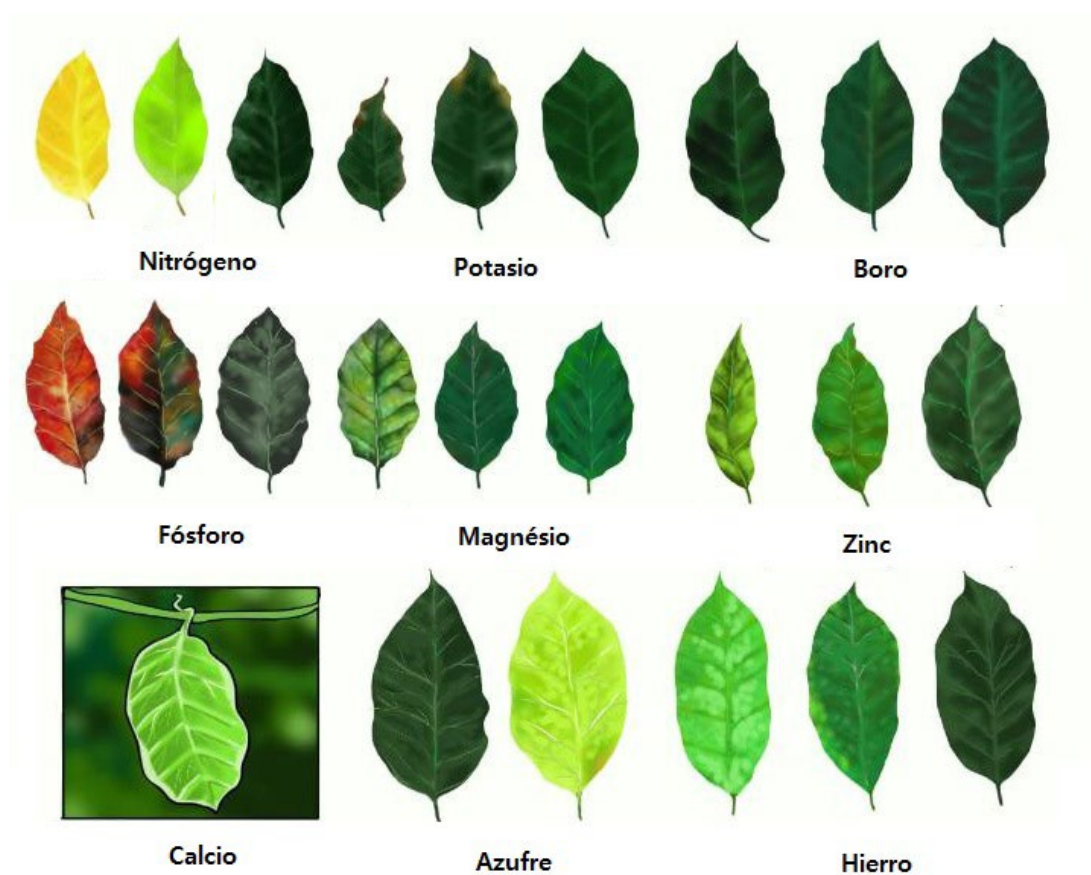
4. Monitoreo del estado nutricional de la plantación

Solo en los casos donde se priorice el crecimiento de plantas de importancia económica en sistemas agroforestales y que muestren evidencia de deficiencia de nutrientes, se aplicarán fertilizantes o enmiendas complementarias.

El tipo de fertilizantes o enmienda, dosis y frecuencia de aplicación debe ser asesorada por un ingeniero agrónomo. En la siguiente ilustración se muestran algunas deficiencias de nutrientes que pueden identificarse en las hojas.

Figura 74

Principales síntomas de deficiencias en plantas



5. Plateo y mulching

El plateo alude al proceso de corte de hojas, ramas y tallos de plantas como los cultivos de cobertura alrededor de los plantones; este corte generalmente se realiza a 50 cm del cuello de planta del plantón.

En el caso del mulching, este hace referencia a la actividad de depositar la biomasa alrededor de los plantones, lo que cubrirá el suelo, impedirá el crecimiento de malezas y aumentará la retención de humedad del suelo en beneficio de plantón. Estas actividades se recomiendan cada dos meses aproximadamente.

Figura 75

*Mulching de Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) sobre la plantación*



6. Poda

Es el proceso de corte de ramas del plantón con diferentes fines como el mantenimiento, formación y limpieza. En el caso que se necesite producir madera se requerirá eliminar ramas laterales para priorizar el crecimiento vertical.

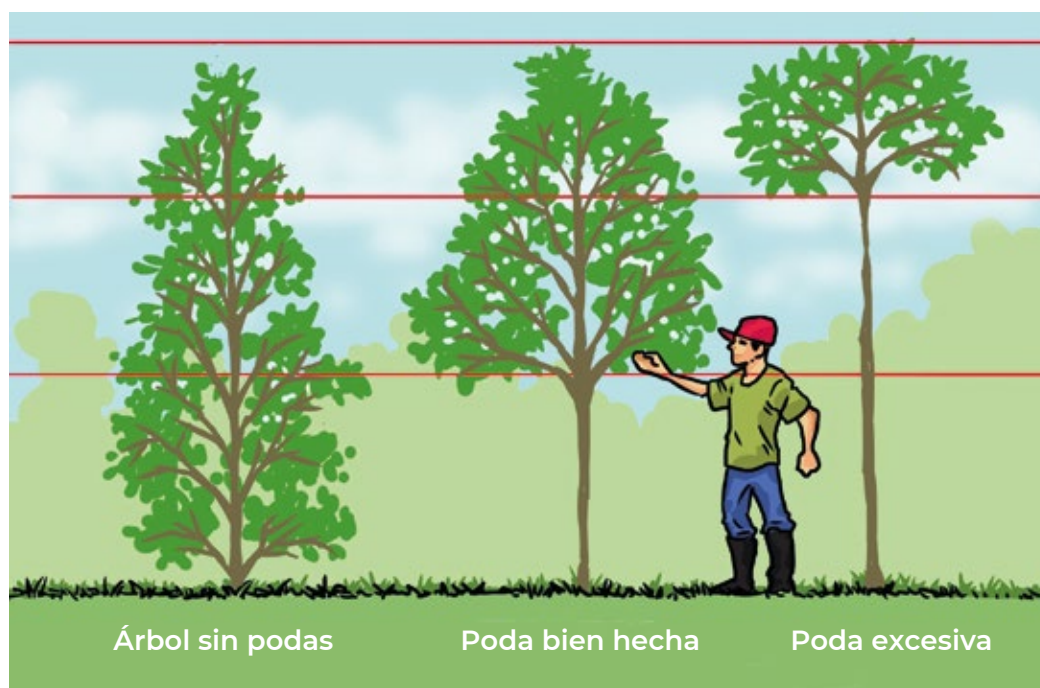
Cabe resaltar que la poda se efectúa solo hasta la mitad de la altura total del árbol, ya que si se eliminan demasiadas ramas vivas se reduce el crecimiento del árbol; así también, se debe tomar en cuenta que es fundamental evitar la bifurcación temprana de los plantones.

Para las podas hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Preparar las herramientas necesarias para el corte, como machete, sierra cola de zorro, tijera de podar manual (grande) y otras.
- Intentar que el corte no sea profundo a fin de evitar infecciones a la planta. Se recomienda usar un sellador, en caso contrario emplear una porción de barro.
- Desinfectar la herramienta de corte al usarla con otra planta a fin de evitar siguientes infecciones causadas por virus o bacterias.
- Tomar en cuenta la temporada, puesto que existen especies caducifolias, las cuales tienden a defoliarse en los meses de poca lluvia, siendo esta época ideal para las podas.

Figura 76

Poda de árboles en el campo de restauración de áreas degradadas



7. Raleo con aprovechamiento de plantas

Después de varios años de establecida la plantación, es necesario realizar una extracción selectiva de una determinada área de la plantación, con el objetivo de dejar la población necesaria con mayor disponibilidad de espacio y luz.

Esto ayudará a priorizar el crecimiento de las mejores plantas, con buen desarrollo, robustas, vigorosas y resistentes al ataque de plagas y enfermedades. Esta práctica se ejecuta cuando las plantas tienen valor comercial.

Figura 77

Raleo y beneficio de plantas



8. Recalce

Es el proceso de reposición de plántones que no lograron establecerse en el trasplante. Las causas de la muerte de los plántones pueden ser la falta de agua, estrés al trasplante, presencia de plagas de insectos y hongos, entre otros.

Figura 78

Recalce de plantas



Figura 79

Árbol de amasisa (*Erythrina ulei*) con dos años de trasplante en campos degradados por la minería aurífera aluvial, creciendo vigorosamente sobre la leguminosa *Centrosema* (*Centrosema macrocarpum*)





Investigadores evaluando el rendimiento de las leguminosas en el proceso de recuperación de la salud del suelo

CAPÍTULO 8

COSTO DE RECUPERACIÓN DE LA SALUD DE UN SUELO DEGRADADO POR MINERÍA AURÍFERA ALUVIAL

Como se aprecia en los capítulos anteriores, la recuperación de la salud del suelo con leguminosas de rápido crecimiento y la restauración de áreas degradadas con plantas de alto valor económico y ecológico tienen altos beneficios para la reconstitución de bosques y servicio ecosistémicos para la Amazonía, que incluye la evaluación y la mejora de la calidad del ambiente. Sin embargo, resulta importante conocer los costos que implican para hacerlo viable y aplicable a proyectos de menor y mayor escala.

A continuación, se muestra el costo de restauración de 100 ha recientemente por minería aurífera aluvial y sin cubierta vegetal. Se incluye el costo de las principales actividades, como reconocimiento, caracterización y evaluación del nivel de degradación, recuperación de la salud del suelo con la siembra de cultivos de cobertura leguminosas, reforestación con especies de alto valor económico y ecológico, y finalmente monitoreo y mantenimiento de plantaciones. Se agrega también el costo de la restauración para áreas de menor tamaño y una comparación con el costo de una reforestación convencional.

Costo para la restauración de áreas degradadas

El costo total de la instalación de la metodología IIAP para la restauración de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en 100 ha es S/. 494,169.00, a un valor de S/. 4942.00 por hectárea. Este costo incluye la instalación de Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) como cultivo de cobertura leguminosa y la reforestación al segundo año. El costo proporcional del reconocimiento, caracterización, y evaluación del nivel de degradación del área degradada, recuperación de la salud del suelo con la siembra de cultivos de cobertura, reforestación con especies de alto valor económico y ecológico, y monitoreo y mantenimiento de plantaciones es 3.78 %, 32.85 %, 57.29 % y 6.07 %, respectivamente.

Tabla 15
Reconocimiento, caracterización, y evaluación del nivel de degradación del área degradada

N.º	Descripción	Unidad	Cantidad (u)	Costo unitario (S/.)	Costo (S/.)
Servicio especializado					
1	Caracterización del área a menor escala con un con RPAS (DRON) y generación de mapa	Consultoría especializada	4	500.00	2,000.00
2	Muestreo en campo para evaluación del nivel de fertilidad del área degradada seleccionada	Consultoría especializada	15	270.00	4,050.00
3	Análisis en laboratorio para evaluación del nivel de fertilidad del área degradada seleccionada	Muestras	30	120.00	3,600.00
4	Muestreo en campo para evaluación del nivel de contaminación de área degradada	Consultoría especializada	15	270.00	4,050.00
5	Análisis en laboratorio para evaluación del nivel de contaminación de área degradada	Muestras	50	100.00	5,000.00
					18,700.00

Tabla 16

Recuperación de la salud del suelo con la siembra de cultivos de cobertura leguminosas

N.º	Descripción	Unidad	Cantidad (u)	Costo unitario (S/.)	Costo (S/.)
Equipo de campamento					
1	Toldos	unidad	4	300.00	1,200.00
2	Mesas y bancas	unidad	4	200.00	800.00
3	Malla raschell	unidad	15	30.00	450.00
4	Mosquitero	unidad	33	60.00	1,980.00
5	Colchonetas	unidad	33	20.00	660.00
6	Implementos de cocina (ollas, tachos, bandejas de comida, cubiertos, jarras, vasos y otros)	unidad	2	900.00	1,800.00
7	Viveres	unidad	1,575	12.00	18,900.00
8	Gas	unidad	12	45.00	540.00
9	Agua	unidad	195	20.00	3,900.00
10	Botiquín de primeros auxilios	unidad	2	200.00	400.00
11	Sacos para residuos solidos	unidad	20	1.00	20.00
12	Letrinas	unidad	15	15.00	225.00
13	Tanque elevado para ducha	unidad	1	900.00	900.00
14	Sistema de ducha	unidad	1	350.00	350.00
15	Panel solar más batería	unidad	1	1,900.00	1,900.00
16	Motobomba 5 hp	unidad	1	1,500.00	1,500.00
17	Generador eléctrico	unidad	1	1,300.00	1,300.00
18	Cocina industrial	unidad	1	400.00	400.00
Insumos generales					
1	Semilla de Kudzu	kg	700	25.00	17,500.00
2	Pala	unidad	15	27.00	405.00
3	Machete	unidad	5	18.00	90.00
4	Lima para afilar	unidad	1	15.00	15.00
Equipos de protección personal (EPP)					
1	Botas	unidad	33	24.00	792.00
2	Impermeable	unidad	33	20.00	660.00
3	Bloqueador solar y otros	unidad	33	5.00	165.00
4	Gorro /Casco	unidad	33	30.00	990.00
5	Guantes de cuero	unidad	33	15.00	495.00
Actividad					
1	Siembra	jornal	1300	80.00	104,000.00
					162,337.00

Tabla 17

Reforestación con especies de alto valor económico y ecológico

N.º	Descripción	Unidad	Cantidad (u)	Costo unitario (S/.)	Costo (S/.)
Equipo de campamento					
1	Toldos	unidad	4	300.00	1,200.00
2	Mesas y bancas	unidad	4	200.00	800.00
3	Malla raschell	unidad	15	30.00	450.00
4	Mosquitero	unidad	33	60.00	1,980.00
5	Colchonetas	unidad	33	20.00	660.00
6	Implementos de cocina (ollas, tachos, bandejas de comida, cubiertos, jarras, vasos y otros)	unidad	2	900.00	1,800.00
7	Viveres	unidad	1,575	12.00	18,900.00
8	Gas	unidad	12	45.00	540.00
9	Agua	unidad	195	20.00	3,900.00
10	Botiquin de primeros auxilios	unidad	2	200.00	400.00
11	Sacos para residuos solidos	unidad	20	1.00	20.00
12	Letrinas	unidad	15	15.00	225.00
13	Tanque elevado para ducha	unidad	1	900.00	900.00
14	Sistema de ducha	unidad	1	350.00	350.00
15	Panel solar más batería	unidad	1	1,900.00	1,900.00
16	Motobomba 5 hp	unidad	1	1,500.00	1,500.00
17	Generador eléctrico	unidad	1	1,300.00	1,300.00
18	Cocina industrial	unidad	1	400.00	400.00
Insumos generales					
1	Carretilla	unidad	1	13,000.00	13,000.00
2	Machete	unidad	3	18.00	54.00
3	Lima para afilar	unidad	1	15.00	15.00
4	Cavadora	unidad	20	65.00	1,300.00
5	Tijera de podar	unidad	5	85.00	425.00
6	Otros insumos		10	30.00	300.00

N.º	Descripción	Unidad	Cantidad (u)	Costo unitario (S/.)	Costo (S/.)
Construcción del vivero					
1	Malla Rashell 65%	rollo	10	9.00	90.00
2	Clavos 2.5"	kg	3	5.00	15.00
3	Tablas 1"x8"x10	unidad	27	15.00	405.00
4	Hilo Polyester	rollo	5	500.00	2500.00
5	Tubo galvanizado de 1/2" × 6 m	tubo	300	40.00	12000.00
6	Tubo galvanizado de 3/4" × 6 m	tubo	6	65.00	390.00
7	Manguera de HDPE de 16 mm	rollo	4	250.00	1000.00
8	Microaspersores	unidad	360	5.50	1980.00
9	Tubo PVC para agua de 1"	unidad	20	35.00	700.00
10	T de PVC de 1"	unidad	20	5.00	100.00
11	Codo de PVC de 1"	unidad	5	5.00	25.00
12	Reductor de PVC de 1" a 1/2"	unidad	20	5.00	100.00
13	Tubo de PVC de 1/2"	unidad	5	15.00	75.00
14	Unión mixto de 1/2"	unidad	20	1.00	20.00
15	Adaptador de 1/2" a 16 mm HDPE	unidad	20	1.80	36.00
16	Llave control ramal de 16 mm	unidad	20	2.50	50.00
17	terminales de linea de 16 mm	unidad	20	0.50	10.00
18	Broca para 4 mm	unidad	2	25.00	50.00
19	Pegamento PVC 1/4 litro		1	54.00	54.00
Preparación de bolsas					
1	Bolsas de 6" × 10" × 2 mm	millar	120	60.00	7200.00
2	Roca fosfórica	saco (50kg)	10	54.00	540.00
3	Compost, estiércol seco o materia orgánica	m³	50	100.00	5000.00
4	Tierra agricola	m³	150	50.00	7500.00
5	Dolomita	saco (40kg)	20	45.00	900.00

N.º	Descripción	Unidad	Cantidad (u)	Costo unitario (S/.)	Costo (S/.)
Equipos de protección personal (EPP)					
1	Botas	unidad	17	24.00	408.00
2	Impermiable	unidad	17	20.00	340.00
3	Bloqueador solar y otros	unidad	22	5.00	160.00
4	Gorro /Casco	unidad	17	30.00	510.00
5	Gautes de cuero	unidad	17	15.00	255.00
Actividad					
1	Construcción	jornal	120	70.00	8400.00
2	Preparación de plantones	mes	50	1200.00	60000.00
3	Plantación	jornal	1000	90.00	90000.00
Sub total					283,132.00

Tabla 18

Monitoreo y mantenimiento de plantaciones

N.º	Descripción	Unidad	Cantidad (u)	Costo unitario (S/.)	Costo (S/.)
Equipo de campamento					
1	Plateo y mulching (3 veces al año)	Servicio	300	100.00	30,000.00
					30,000.00

Tabla 19

Costo total de la restauración de 100 ha de áreas degradadas

N.º	Descripción	Costo (S/.)	Proporción (%)
1	Reconocimiento, caracterización, y evaluación del nivel de degradación del área degradada	18,700.00	3.78
2	Recuperación de la salud del suelo con la siembra de cultivos de cobertura leguminosas	162,337.00	32.85
3	Reforestación con especies de alto valor económico y ecológico	283,132.00	57.29
4	Monitoreo y mantenimiento de plantaciones con cultivos de cobertura leguminosas anualmente	3000.00	6.07
Total		528,049.00	100.00

Quando el proyecto de restauración es de mayor tamaño, el costo por hectárea disminuye. Esto se debe a que se mantiene el número de trabajadores, pero se incrementa el número de días de labores en insumos; ello implicaría que no se incrementen significativamente los costos, como en la compra de artículos de campamento y herramientas. Mientras que en la restauración de 100 ha se invierte S/. 4941.69 por hectárea, para 1000 ha sería S/. 4707.66, es decir, 5 % menos.

Cabe resaltar que los costos se incrementarían por el concepto de flete y logística para lugares lejanos, aumentando los costos significativamente.

Tabla 20

Costo total y por hectárea en la restauración con cultivos de cobertura leguminosas y especies de alto valor económico y ecológico de 100, 500 y 1000 ha

La restauración con cultivos de cobertura leguminosas y especies de alto valor económico y ecológico			
	100 ha	500 ha	1000 ha
Costo total (S/.)	494,169.00	2,372,841.00	4,707,656.00
Costo por hectárea	4941.69	4745.68	4707.66

La metodología de restauración con cultivos de cobertura leguminosas y especies de alto valor económico y ecológico puede llegar a ser 50% menos a comparación de la reforestación convencional para la restauración, lo que es un gran ahorro.

La reforestación convencional implica el trasplante directo de plántones con abonamiento y fertilizaciones continuas a los plántones. La diferencia de los costos radica en que la metodología IIAP permite obtener mayor sobrevivencia de plantas y prendimiento en campo, evitando recalce; además, se evita fertilizaciones constantes, ya que los cultivos de cobertura, junto a la interacción de plantas y animales, incrementan la fertilidad del suelo, en beneficio y éxitos de las plantas de alto valor económico y ecológico.

Tabla 21

Comparación de la restauración con cultivos de cobertura leguminosas y especies de alto valor económico y ecológico, y la reforestación convencional

Costo (S/.)	
Restauración con cultivos de cobertura leguminosas y especies de alto valor económico y ecológico	Reforestación convencional para la restauración
4707.00 – 4950.00	5600.00 – 10500.00



El Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) y sus aliados estratégicos vienen realizando investigaciones participativas junto a las comunidades nativas, como es la Comunidad Nativa de San Jacinto en Madre de Dios. En su territorio ya se cuenta con plantaciones de cultivos de cobertura destinadas a recuperar suelos degradados por la minería aurífera aluvial que apunta a restaurar sus bosques



Investigadores, estudiantes y comunidades vienen realizando investigaciones para construir tecnologías adecuadas para la recuperación de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial, la investigación es progresiva y requiere la validación en campo para probar su efectividad

ANEXO

Anexo 1. Normas

La guía tiene como objetivo ser una fuente consultiva para restaurar áreas degradadas por la minería aurífera aluvial, además de ser una propuesta con base en normas peruanas, que permitan realizar un adecuado proceso de recuperación de áreas degradadas, siendo las principales normas a tomarse las que se muestran a continuación:

Instrumento de Gestión Ambiental para la Formalización de Actividades de Pequeña Minería y Minería Artesanal (IGAFOM) (D. S. N.º 038-2017-EM)

El IGAFOM es un instrumento de gestión ambiental de acción inmediata y de carácter extraordinario, cuya aprobación constituye un requisito para la culminación del Proceso de Formalización Minera Integral. Asimismo, la autoridad competente que puede evaluar y aprobar el IGAFOM es únicamente la Dirección Regional de Energía y Minas. Adicionalmente, su objetivo es acomodar las actividades de la minería artesanal y de la pequeña minería a las normas ambientales vigentes, según corresponda. Permite identificar, mitigar, controlar y/o prevenir los impactos ambientales negativos de la actividad minera que desarrolla, así como establecer las medidas de cierre, según corresponda.

Por otra parte, presenta dos aspectos como el correctivo y el preventivo. El aspecto correctivo abarca la corrección, cierre, mitigación, entre otras medidas que permitan minimizar los impactos ambientales negativos ocasionados en el área donde el minero informal declare que se encuentra desarrollando actividad minera. En cuanto al aspecto preventivo, este comprende la identificación, control, prevención, medidas de cierre, supervisión y otras medidas que permitan minimizar los impactos ambientales negativos a crearse.

Ley de Cierre de Minas (Ley N.º 28090)

La ley presenta un reglamento de prevención, minimización y el control de los riesgos y efectos sobre la salud, el ambiente, la seguridad de las personas, el ecosistema circundante y la propiedad, que pudieran proceder del cese de las operaciones de una unidad minera. Todo titular se encuentra obligado a efectuar el cierre de las áreas, instalaciones y labores de una unidad minera, por medio del Plan de Cierre de Minas, el cual establece los estudios, obras y acciones correspondientes a ejecutarse para mitigar y eliminar los efectos contaminantes y daños al ecosistema y a la población.

Estándares de Calidad Ambiental para Suelos (D. S. N.º 011-2017- MINAM)

Los Estándares de Calidad Ambiental para el compartimento del suelo instituyen concentraciones máximas de elementos, parámetros físicos o sustancias químicas y biológicas, presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor, que no muestra riesgos significativos para la salud de la población ni el ambiente. Ella

es aplicable a todo proyecto o actividad cuyo desarrollo, dentro del territorio nacional, ocasione riesgos de contaminación del suelo; además, determina la formulación de Planes de Descontaminación de Suelos al igual de Guía para el Muestreo de Suelo.

Cabe señalar que, a partir de ella se diseña y establece la aplicación de todo tipo de políticas e instrumentos de Gestión Ambiental. Adicionalmente, la Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con los sectores correspondientes, dispondrá la aprobación y registrará la aplicación de estándares internacionales o de nivel internacional en los casos que no existan ECA o LMP equivalentes aprobados en el país.

Guía para el muestreo de suelos (R. M. N.º 085-2014)

Esta guía permite realizar adecuados planes de muestreo, manejo de muestras, técnicas adecuadas para el muestreo, medidas de seguridad ocupacional durante el muestreo y determinación apropiada de los puntos de muestreo. En función del objetivo, la guía instituye el método y tipo de muestreo, además del tipo de muestras a tomar. Asimismo, determina el muestreo conveniente para establecer la existencia de contaminación en el suelo, la dimensión (extensión vertical y horizontal) de la contaminación, las concentraciones de nivel de fondo y verifica si las acciones de remediación lograron disminuir la concentración de los contaminantes en suelo.

Guía de plan de descontaminación de suelos (R. M. N.º 085-2014)

Establece lineamientos para la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos a partir del muestreo de detalle, el estudio de caracterización y, cuando corresponda, el Estudio de Riesgos a la Salud y el Ambiente. Provee información para la identificación de suelos contaminados, así como para determinar la magnitud de la contaminación del suelo y definir propuestas de acciones de remediación orientadas a eliminar los riesgos a la salud y el ambiente o reducirlos a aceptables.

Reglamento de para la ejecución de levantamiento de suelos (D. S. N.º 013-2010-AG)

Es un reglamento que establece métodos y procedimientos para la presentación, ejecución, revisión y aprobación de los levantamientos de suelos; conjuntamente, se encarga de homogeneizar los criterios técnicos empleados por los especialistas aplicables en los diferentes niveles de levantamiento de suelos; promover el uso y aplicación de la información adquirida en los estudios de levantamiento de suelos de forma tal, que constituya una herramienta obligatoria en la elaboración de los diferentes estudios ambientales (estudios de impacto ambiental, planes de cierre de minas o de alguna otra actividad, evaluaciones ambientales preliminares, vulnerabilidad física, zonificación ecológica, zonificación ecológica económica, zonificación agroecológica, entre otros), así como para la planificación del uso y del manejo de cultivos silvoagropecuarios.

Asimismo, establece un estudio de suelo a nivel muy detallado, detallado, semidetallado, reconocimiento y exploratorio. Cabe destacar que, para cada tipo de estudio determina el material de teledetección, unidad fisiográfica, material cartográfico, unidad cartográfica, tamaño mínimo de la unidad del mapa, mapa base de trabajo, procedimientos de campo, intensidad de observaciones, método de mapeo y escala del mapa de suelos. Finalmente, incorpora el concepto de tierra como un ambiente físico que incluye al suelo, clima, relieve, vegetación y hidrología, al grado que influyen el potencial de uso de la tierra.

Anexo 2. Parámetros para analizar muestras de suelo

Se muestra los análisis y métodos recomendados para análisis de la fertilidad de suelo procedentes de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial:

Tabla 22

Costo total del estudio especializado del área a recuperar, con la recuperación de la salud de suelo con cultivos de cobertura y la reforestación con especies de alto valor ecológico y económico

Parámetros evaluados en laboratorio como características	
Parámetro	Método
Físico	
Textura	Bouyucos
Químico	
pH	Relación suelo y agua 1: 1
C.E. (dS/m)	Relación suelo y agua 1: 1
Materia orgánica del suelo (%)	Walkley y Black
P disponible (mg/Kg)	Olsen o Bray II
K disponible (mg/Kg)	Extracto con Acetato de amonio
Capacidad de intercambio catiónico (Cmol (+)/kg)	Saturación con Acetato de Amonio a pH 7
Na ⁺ , K ⁺ , Mg ⁺² y Ca ⁺² (Cmol (+)/kg)	Cuantificación por absorción atómica u otro método.
Al ⁺³ y H ⁺ (Cmol (+)/kg)	Yuan
Biológico	
Respiración del suelo (mgCO2/g suelo)	Captura en alkali
Biomasa microbiana (mg/g suelo)	Fumigación con cloroformo

Nota: Laboratorio de análisis de suelo, planta, agua y fertilizantes (LASPAF)-UNALM

Anexo 3. Interpretación de análisis de caracterización de suelo

Para interpretar los análisis del Anexo 1 se puede emplear como referencia la siguiente cartilla de interpretación:

Tabla 23
Cartilla de interpretación

Parámetro de caracterización	Detalle	Clasificación
Textura	Gruesa	Arena, Arena franca
	Moderadamente gruesa	Franco arenoso
	Media	Franco, franco limoso, limo
	Moderadamente fina	Franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso, franco arcilloso
	Fina	Arcilla arenosa, arcilla limosa, arcilla
Potencial hidrógeno (pH)	<4.4	Extremadamente ácido
	4.5-5.0	Muy fuertemente ácido
	5.1-5.5	Fuertemente ácido
	5.6-6.0	Moderadamente ácido
	6.1-6.5	Ligeramente ácido
	6.6-7.3	Neutro
	7.4-7.8	Ligeramente alcalino
	7.9-8.4	Moderadamente alcalino
	8.5-9.0	Fuertemente alcalino
	>9.0	Muy fuertemente alcalino
Salinidad CE (dS/m) Extracto de pasta saturada	0-2	No salino
	2-4	Muy ligeramente salino
	4-8	Ligeramente salino
	8-16	Moderadamente salino
	>16	Fuertemente salino
Carbonato de calcio CaCO3 (%)	<1	Bajo
	1-2	Medio
	2-5	Alto
	>5	Muy alto

Nota: Laboratorio de análisis de suelo, planta, agua y fertilizantes (LASPAF)-UNALM

Tabla 23

Cartilla de interpretación (continuación)

Parámetro de caracterización	Detalle	Clasificación
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC (Cmol(+)/kg)	< 5	Muy baja
	5-10	Baja
	10-15	Media
	15-22	Alta
	>22	Muy alta
Saturación de bases SB (%)	<35	Bajo
	35-80	Medio
	>80	Alto
Aluminio cambiable (%)	<50	Bajo
	50-70	Medio
	>70	Alto
Materia orgánica (%)	<2	Bajo
	2-4	Medio
	>4	Alto
Fósforo disponible (ppm)	<7	Bajo
	7-14	Medio
	>14	Alto
Potasio disponible K2O (ppm)	<100	Bajo
	100-200	Medio
	>200	Alto

Nota: Laboratorio de análisis de suelo, planta, agua y fertilizantes (LASPAF)-UNALM

Anexo 4. Índice del informe de sitios contaminados

1. Información documental del predio

- 1.1. Nombre del sitio
- 1.2. Ubicación del sitio
- 1.3. Usos del suelo actual e histórico
- 1.4. Título de Propiedad, contratos de arrendamiento, concesiones u otras
- 1.5. Mapa de Procesos
- 1.6. Cuadros de materia prima, productos, subproductos, residuos otras
- 1.7. Sitios de disposición y descargas otras
- 1.8. Informes de monitoreo dirigidos a la autoridad otras
- 1.9. Estudios específicos dentro del predio
- 1.10. Procedimientos administrativos a los que se vio sometido el predio

2. Características generales naturales del sitio

- 2.1. Geológicas
- 2.2. Hidrogeológicas
- 2.3. Hidrológicas
- 2.4. Datos climáticos
- 2.5. Cobertura vegetal

3. Fuentes potenciales de contaminación

- 3.1. Fugas y derrames visibles
- 3.2. Zonas de tanques de combustibles, insumos químicos, etc
- 3.3. Áreas de almacenamiento de sustancias y residuos
- 3.4. Drenajes
- 3.5. Zonas de carga y descarga
- 3.6. Áreas sin uso específico, y otros

4. Focos potenciales

- 4.1. Priorización y validación
- 4.2. Mapa de los focos potenciales

5. Vías de propagación y puntos de exposición

- 5.1. Características del uso actual y futuro

6. Características del entorno

- 6.1. Fuentes en el entorno
- 6.2. Focos y vías de propagación

7. Plan de Muestreo de Identificación

8. Resultados del Muestreo de Identificación

9. Modelo Conceptual Preliminar (inicial)

10. Propuesta de actividades en la Fase de Caracterización


- 10.1. Incluye el cronograma de actividades para la elaboración del PDS

11. Anexos

- 11.1. Planos topográficos
- 11.2. Planos de las instalaciones
- 11.3. Registros fotográficos
- 11.4. Resultados Analíticos de las Muestras y Certificado de Acreditación del Laboratorio
- 11.5. Documentos que sustenten la investigación preliminar
- 11.6. Entrevistas

Tabla 24

Modelo de cadena de custodia

 CADENA DE CUSTODIA															
Muestreador:		Contacto:		Email:		Fecha:									
Proyecto:															
Sector:				Provincia:		Región:									
Código de muestra	Fecha	Hora	Coordenadas		Tipo de muestra	Análisis de Laboratorio							Código del Laboratorio	Datos adicionales	
			Este (X)	Norte (Y)											
Observaciones del Muestreo:															
Nombre y apellido del responsable del muestreo:												Firma:		Recibido en laboratorio:	
Nombre y apellido del responsable o supervisor en campo:												Firma:		Día/Hora:	

Anexo 6. Estándares de Calidad Ambiental para Suelos

En la etapa de evaluación y monitoreo de la calidad del suelo se debe cuidar que las sustancias químicas orgánicas o inorgánicas no sobrepasen las concentraciones máximas de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos (ECA), como se observa a continuación:

Parámetros (mg kg-1 MS)	Suelo agrícola	Suelo residencial y parques	Suelo comercial, industrial y extractivo	Método de ensayo
Orgánico				
Benceno	0.03	0.03	0.03	EPA 8260 EPA 8021
Tolueno	0.37	0.37	0.37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0.082	0.082	0.082	EPA 8260 EPA 8021
Xileno	11.00	11.00	11.00	EPA 8260 EPA 8021
Naftaleno	0.10	0.60	22.00	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzopireno	0.10	0.70	0.70	EPA 8270
Fracción de hidrocarburos F1(C6- C10)	200.00	200.00	500.00	EPA 8270
Fracción de Hidrocarburos F2(C10-C28)	1200.00	1200.00	5000.00	EPA 8015
Fracción de Hidrocarburos F3(C28-C40)	3000.00	3000.00	6000.00	EPA 8015
Bifenilos policlorados - PCB	0.50	1.30	33.00	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0.10	0.20	0.50	EPA 8260
Tricloroetileno	0.01	0.01	0.01	EPA 8260
Inorgánico				
Cianuro libre	0.90	0.90	8.00	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015
Arsénico total	50.00	50.00	140.00	EPA 3050 EPA 3051
Bario total	750.00	500.00	2000.00	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio total	1.40	10.00	22.00	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0.40	0.40	1.40	EPA 3060 EPA 7199 DIN EN 15192
Cromo total	No aplica	400.00	1000.00	EPA 3050 EPA 3051
Mercurio total	6.60	6.60	24.00	EPA 7471 EPA 6020200.8
Plomo total	70.00	140.00	1200.00	EPA 3050 EPA 3051

Nota: Tomado de Ministerio del Ambiente (2017b)

Anexo 7. Número de puntos de muestreo de identificación

Se muestra el número mínimo de puntos de muestreo para la evaluación de calidad del suelo.

Tabla 25

Número de puntos de muestreo

Área de potencial interés (Ha)	Puntos de muestreo en total
0.1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Nota: Tomado de Ministerio del Ambiente (2014b)

Si se supera las 100 ha de área de potencial interés se empleará la siguiente fórmula:

$$N = 0.1X + 40$$

Donde N = Número mínimo de puntos de muestreo
X = Superficie en hectáreas

GLOSARIO

Abonos verdes: son plantas, generalmente leguminosas, las cuales son cortadas en la época de floración e incorporadas al suelo para incrementar, principalmente, el contenido de nitrógeno del suelo, mejorar la retención de agua y estructura del suelo, entre otras (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2002).

Amalgama: es la aleación de metales con mercurio, la cual es afín a metales como oro, plata y cobre (GECO, 2016).

Área de potencial interés: extensión del territorio donde se efectúan las labores de muestreo, asimismo, se trata de áreas reconocidas durante la fase de identificación en las cuales existe evidencia alguna de potencial contaminación del suelo (Ministerio del Ambiente, 2014a).

Área degradada: es aquel territorio que se encuentra deteriorado como resultado de la extracción excesiva de producto maderables y/o no maderables, incendios reiterados, manejo inadecuado, pastoreo, entre otras perturbaciones y usos de la tierra que degeneran el suelo y la vegetación, a tal punto que la regeneración natural luego del abandono se ve retrasada o inhibida (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2018).

Área miscelánea: unidad esencialmente no edáfica, que es capaz o no de soportar ciertos tipos de vegetaciones y que, además, no muestra interés o vocación para fines agropecuarios, ni forestales como son las badlands, dunas, playas, afloramiento rocoso, entre otras (Ministerio de Agricultura, 2010).

Autoridad competente: autoridad que se encarga de evaluar y aprobar los instrumentos de gestión ambiental de la actividad minero-metalúrgica. Cabe resaltar que, para el caso de la mediana y gran minería, la Autoridad Competente es el Ministerio de Energía y Minas, mientras que para la pequeña minería y minería artesanal son los Gobiernos Regionales (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

Bosques: son aquellas tierras que abarcan más de 0.5 hectáreas con árboles de más de 5 m y una cubierta de dosel de más del 10 por ciento, o con árboles capaces de alcanzar estos umbrales *in situ*. No incluye la tierra que está predominantemente bajo uso urbano o agrícola (Global Forest Resources Assessment, 2015).

Buenas prácticas: son las orientaciones técnicas utilizadas para adquirir muestras bajo criterios de diligencia, eficiencia, eficacia, repetitividad y aplicabilidad. En este aspecto, deben ser aplicables independientemente de requisitos legales específicos o normas, a la vez que se deben poder ser aplicadas en cualquier lugar (Ministerio del Ambiente, 2016).

Cadena de custodia: procedimiento documentado a través del cual se asegura la calidad e integridad de una muestra desde su adquisición, transporte y conservación, hasta su entrega a un laboratorio acreditado donde se efectúan los análisis físicoquímicos correspondientes (Ministerio del Ambiente, 2014b).

Calicata: excavación superficial que es ejecutada en un terreno determinado, con el objetivo de permitir la observación de los estratos del suelo de las diferentes profundidades y poder obtener muestras, generalmente, disturbadas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

Clastos: fragmentos de roca que se caracterizan por tener un tamaño, procedencia y composición diferente.

Componente minero: son aquellos yacimientos mineros, así como los equipos, instalaciones, infraestructuras, complejo metalúrgico, excavaciones subterráneas o superficiales, refinerías y espacios necesarios para el desarrollo de las actividades mineras de explotación, beneficio, transporte interno, almacenamiento, disposición de relaves y desmontes, y transporte del recurso mineral metálico o no metálico de una unidad minera como los servicios e instalaciones auxiliares (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

Contaminación ambiental: acción que da lugar a la introducción de contaminantes por causas antropogénicas o naturales dadas de forma directa o indirecta en el ambiente, que debido a su concentración o al tiempo de su permanencia, hace que el medio receptor obtenga características diferentes a las originales que pueden resultar nocivas o perjudiciales para la salud, los ecosistemas, la calidad ambiental y la diversidad biológica (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

Contaminante del suelo: sustancia química que no forma parte de la naturaleza del suelo o cuya concentración supera la del nivel de fondo susceptible de ocasionar efectos nocivos para el ambiente o la salud de las personas (Ministerio del Ambiente, 2014b).

Cota: representa la distancia vertical entre un punto del terreno y un plano de referencia horizontal ya determinado; asimismo, cuando este plano es a nivel del mar, la cota se lee como metros sobre el nivel de mar (m s. n. m.).

Cultivos de cobertura: alude a la instalación de cultivos que forman una cobertura vegetal de protección temporal o permanente, la cual está en asociación, relevo o rotación, y cuyo objetivo es el proteger al suelo, incorporar materia orgánica y mejorar la fertilidad del suelo (Hurtado, 2003).

Densidad aparente: es la masa por unidad de volumen de suelo seco (105 °C). Este volumen abarca la parte sólida del suelo como son los poros, por lo cual la densidad aparente refleja la total porosidad del suelo (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2009).

Desarrollo sostenible: desarrollo que involucra la satisfacción de las necesidades de la actual generación sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las necesidades propias (Organización de las Naciones Unidas, 1987).

Desertificación: es un proceso de degradación del medio biológico y físico mediante el cual las tierras económicamente activas de los ecosistemas semiáridos, áridos y subhúmedos secos, pierden la capacidad de regenerarse o de revivir, desarrollando, en situaciones extremas un ambiente incapaz de contener a las comunidades que antes dependían de él, todo ello como resultado de las actividades humanas y las variaciones climáticas (Ministerio del Ambiente, 2011).

Deforestación: es la conversión de bosque dado a través de un uso alternativo diferente al forestal como la agricultura o el pastoreo (Van Kooten y Bulte, 2000). Así también, alude a un proceso de degradación tan severa que el bosque residual no puede ser clasificado como bosque en ningún sentido práctico de la palabra (Myers, 1994).

Degradación de la tierra: es el cambio en las condiciones de salud del suelo, en otros términos, se presencia una reducción de la capacidad del ecosistema para proporcionar bienes y servicios a sus beneficiarios. Acorde con la FAO (2018) los suelos degradados muestran un estado de salud que no pueden brindar los bienes y servicios en su ecosistema. Asimismo, los suelos degradados tienen la probabilidad de mostrar un estado de salud que no puede proporcionar los bienes y servicios en su ecosistema.

Drenaje del suelo: grado de facilidad de evacuación de agua del perfil del suelo.

Ecosistema: es cualquier unidad que incluya todos a los organismos de un área determinada interactuando como son las estructuras tróficas, la diversidad biótica y el ciclo de materiales (Odum, 1971).

Erosión: es el desgaste que se genera en la superficie de un cuerpo debido a la acción de agentes externos como el agua o el viento, o por la fricción continua de otros cuerpos.

Estabilidad del ecosistema: capacidad de conservar la salud ecológica y la integridad pese del estrés al que es expuesto (Pickett et al., 1989).

Estructura del suelo: organización natural de las partículas del suelo (arena, arcilla y limo) en unidades de suelo discretas agregados (peds) que surgen de procesos pedogenéticos (FAO, 2009).

Fragmentos gruesos: fragmentos compuestos por piedras, grava fina, grava gruesa, grava media, cantos y cantos grandes, con una dimensión mayor de 0.2 a 200 cm (FAO, 2009).

Gravas: fragmentos gruesos en el suelo que han sido formados como resultado del desgaste natural de rocas cuyo tamaño no es mayor a 2 mm, pero sí menor a 75 mm.

Guijarro: fragmentos gruesos mayores a 7.5 mm, pero menores a 25 cm, creados por el desgaste natural de las rocas.

Lama: combinación del agua utilizada para la adquisición de oro y partículas finas; es un producto indirecto de la producción minera aurífera. En el argot minero, alude al relave fino que es el resultado de diversos procesos de lavado del material aurífero (GECO, 2016).

Matero: persona con formación técnica y especializada en la identificación de especies de plantas.

Minería informal: actividad minera efectuada empleando equipo y maquinaria que no corresponde a las características de la actividad minera que desarrolla (Productor Minero Artesanal o Pequeño Productor Minero) o sin acatar con las exigencias de las normas de carácter técnico, administrativo, medioambiental y social que rigen dichas actividades, en áreas no prohibidas para la actividad minera y por persona (jurídica o natural), o grupo de

personas organizadas para ejercer dicha actividad que hayan comenzado un proceso de formalización (Congreso de la República, 2012).

Minería ilegal: actividad minera ejercida por una persona (natural o jurídica) o por un grupo de personas organizadas para ejercer dicha actividad, utilizando maquinaria y equipo no correspondiente a las características de la actividad minera que desarrolla (Productor Minero Artesanal o Pequeño Productor Minero) o sin cumplir con las exigencias de las normas de carácter técnico, administrativo, medioambiental y social que rigen dichas actividades, o que se efectúa en zonas en las que esté prohibido su ejercicio (Congreso de la República, 2012).

Mulching: abarca todos los rastrojos o residuos vegetales de cosecha que se dejan en el suelo. Cabe resaltar que la cobertura del suelo con rastrojos es altamente eficaz para luchar contra la erosión, puesto que protege el nivel del suelo del impacto de las gotas de lluvias a través de la creación de una cobertura contra la erosión (Hurtado, 2003).

Levantamiento de suelos: es el estudio del suelo que se apoya en los datos de campos y en otras disciplinas semejantes como la geomorfología, la ecología y la geología dando como resultado un mapa donde se muestra la distribución espacial o geográfica de los diversos suelos del área evaluada, acompañado por un reporte en el cual se define, clasifica e interpreta de clases de suelo halladas. Estas interpretaciones predicen la forma en que se comportan los suelos para los diferentes usos y como responde ante este (Ministerio de Agricultura, 2010).

Ortofotomapa: documento cartográfico compuesto por una fotografía a determinada escala uniforme que puede ser utilizada como un mapa, que se caracteriza por contener toda la riqueza de detalles propios de la fotografía y que, además, sirve para agregar cuadrículas y curvas de nivel (Real Academia de Ingeniería, 2021).

Paisaje: cualquier lugar del territorio, tal y como es percibido por las personas, cuyo carácter es el resultado de la acción de factores humanos y naturales y de sus interrelaciones (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2018).

Plano cartográfico: representación a escala de una parte de la superficie terrestre en la que se presentan las características físicas y elementos del terreno.

Permeabilidad: grado de facilidad de movimiento del agua dentro del perfil del suelo.

Pozas de agua artificial: cuerpos de agua expuestos al ambiente producto de la excavación de la minería aurífera aluvial.

Recuperación: conjunto de acciones transitorias, que son aplicables a ámbitos que, por causas naturales o antropogénicas, han sufrido daños relevantes y requieren de un manejo especial para recuperar su estabilidad y calidad ambiental (Congreso de la República, 1997). Adicionalmente, la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (2004) indica que, dentro de la Restauración Ecológica, hace referencia a un ecosistema que contiene suficientes recursos bióticos y abióticos para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional.

Refogado: proceso de separación térmica de la amalgama de mercurio y oro, en la cual se evapora el mercurio quedando el oro fundido (GECO, 2016).

Reforestación: proceso de plantación de árboles sobre tierras que, históricamente, tenían un bosque, pero fue convertido en tierras para otros usos (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Rehabilitación: proceso en el que las áreas que hayan sido perturbadas o usadas por los diversos componentes de las actividades productivas, extractivas o de servicios logran conseguir estabilidad física y química, así como la recuperación de comunidades de flora y fauna locales, características que representen riesgos mínimos para la salud humana y, en la medida posible, condiciones que admitan algún uso posterior del suelo, sea productivo (forestal, pastoreo) o pasivo (esparcimiento, bosques, entre otros) o entre otros aspectos específicos asociados con las características particulares de dichas áreas (Congreso de la República, 2005). Concepto usado dentro de la Restauración Ecológica dedicado a recuperar elementos funcionales o estructurales dentro de un ecosistema degradado, cabe señalar que, a diferencia de la restauración, la rehabilitación puede ayudar a restablecer ciertas, pero no precisamente todas, las especies de fauna y flora que, en un principio, estuvieron presentes en un ecosistema (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2018).

Remediación: tarea o conjunto de tareas que se desarrolla en un sitio contaminado con el objetivo de reducir o eliminar contaminantes, a fin de asegurar la integridad de los ecosistemas y la protección de la salud humana (Ministerio del Ambiente, 2014a).

Restauración ecológica: proceso de asistencia a la recuperación de un ecosistema que fue dañado, degradado o destruido (Sociedad para la Restauración Ecológica, 2004). Proceso de ayuda a la recuperación de un ecosistema, área o paisaje dañado, degradado o destruido, con el fin de retomar su trayectoria ecológica, conservar la diversidad biológica, mantener la resiliencia y restablecer la funcionalidad de los paisajes y ecosistemas (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2018).

Restauración: acciones y medidas que restituyen el ambiente, de manera parcial o total, a un estado equivalente al existente antes de su afectación o deterioro. (Ministerio del Ambiente, 2009).

Revegetación: Plantación de especies vegetales en terrenos alterados. Recuperación de la cobertura vegetal con árboles, herbáceas o arbustos (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2003).

Soca: manejo agronómico de plantas en campo que consiste en el corte del tronco del árbol a una altura aproximada de 30 cm, lo cual permite el rebrote de plantas para comenzar un nuevo ciclo de crecimiento y desarrollo.

Sucesión: proceso de desarrollo del ecosistema en dirección de una mayor productividad de biomasa y complejidad que se caracteriza por los cambios temporales, además del reemplazamiento biótico y físico de unas especies por otras, en la composición taxonómica, en la estructura, la diversidad y las funciones de un ecosistema después de que este ha sido perturbado (Pickett *et al.*, 1989).

Suelo: interface que permite el intercambio entre la litosfera, biosfera y atmósfera. Permite el enraizamiento de las plantas que sirve para la adquisición de agua y nutrientes, asimismo, compone la base de todos los ecosistemas terrestres, que hacen posible la vida (Porta, López y Roquero, 1999).

Salud del suelo: capacidad que tiene el suelo de funcionar como un sistema vivo. Los suelos sanos conservan una amplia comunidad de organismos del suelo, lo cuales son útiles para controlar las enfermedades de las plantas, las malas hierbas y los insectos, conjuntamente, reciclan los nutrientes vegetales esenciales, crean asociaciones simbióticas beneficiosas con las raíces de las plantas, mejoran la estructura del suelo con efectos positivos para la capacidad de retención de nutrientes y agua del suelo y, por último, mejoran la producción agrícola (FAO, 2008). Esta definición puede resaltarse tomando en cuenta una perspectiva ecosistémica, es decir, un suelo sano no contamina su entorno, sino contribuye a mitigar el cambio climático manteniendo o aumentando su contenido de carbono (FAO, 2011).

Tierra: comprende el ambiente físico, esto es el clima, suelo, relieve, vegetación e hidrología, al grado que todo estos influyen en el potencial de uso de la tierra. Así también, abarca los resultados de la actividad antropogénica pasada y presente (Ministerio de Agricultura, 2010).

Tierra negra: capa o tierra superficial del bosque que se encuentra constituida con la mayor cantidad de nutrientes del suelo, puesto que en ella se descomponen los diversos materiales orgánicos (Oliva *et al.*, 2014).

Tratamientos silviculturales: intervenciones que son efectuadas en un bosque existente, con el objetivo de controlar su composición, dinámica, estructura y longevidad (Vita, 1996).

Trazabilidad: propiedad de un resultado de medida o del valor de un estándar donde este puede estar relacionado con referencias especificadas, usualmente estándares nacionales o internacionales, a través de una cadena continua de comparaciones todas con incertidumbres especificadas (Centro Español de Meteorología, 2012).

Taxonomía de suelos o Soil Taxonomy: clasificación natural de suelos basado en la metodología estadounidense (Soil Survey Staff, 2014).

Unidades geomorfopedológica: unidad de área de un suelo formada por factores fisiográficos, geológicos y climáticos particulares.

BIBLIOGRAFÍA

Abbott, L. y Murphy, D, (2007). *Soil Biological Fertility*. Springer Netherlands. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6619-1>

Acton, D. y Gregorich, I., (1995). *The Health of Our Soils: Toward Sustainable Agriculture in Canada*. Agric. Agri-food Canada. https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/15123/FDMR_Health_of_Our_Soils.pdf

Becerra, E., Rodríguez, L., Velásquez, M., Corvera, R., Guerrero, J., Vásquez, J., Muñoz, A., y Del Castillo, T. (2020). *Niveles temporales de mercurio en suelos de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial en la Comunidad Nativa de San Jacinto, Madre de Dios*. I Congreso Internacional Sobre Amazonia Peruana. <http://congreso2020.iiap.gob.pe/>

Benton, J. (2012). *Plant nutrition and soil fertility manual* (2nd ed.). CRC Press. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9zHfPmuOI2wC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Plant+nutrition+and+soil+fertility+manual&ots=lsjH8ULvDC&sig=CCbGldpZmuH55RXiM0CPxoX69po#v=onepage&q=Plant%20nutrition%20and%20soil%20fertility%20manual&f=false>

Bradshaw, A. D. (1987). The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. En W. Jordan y M. Gilpin (Eds.), *Restoration Ecology* (pp. 53–74). Cambridge University Press. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10021158535/>

Caballero, J., Messinger, M., Román, F., Ascorra, C., Fernandez, L., y Silman, M. (2018). Deforestation and forest degradation due to gold mining in the Peruvian Amazon: A 34-year perspective. *Remote Sens* 10(12). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10121903>

Centro Español de Meteorología (2012). *Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (3a edición)*. Centro Español de Meteorología. <https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf>

Centro Internacional de Agricultura Tropical. (1984). Nueva Leguminosa para el ganado en las Sabanas de América Latina Tropical. En S. Amaya (Ed.), *Reseña de Investigación y Cooperación Internacional*. Cali, Colombia, p. 12.

Congreso de la República del Perú. (2002). *Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-27651.pdf>

Congreso de la República. (1997). *Ley de Áreas Naturales Protegidas. Ley N° 26834*. Diario Oficial El Peruano. <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/26834.pdf>

Congreso de la República. (2005). *Reglamento de Cierre de Minas. DS 033-2005*. Diario Oficial El Peruano. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per66037.pdf>

Congreso de la República. (2012). *DL N° 1105 Decreto legislativo que establece disposiciones para el proceso de formalización de las actividades de pequeña minería y minería artesanal*. Diario Oficial El Peruano <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-establece-disposiciones-para-el-proc-decreto-legislativo-n-1105-778570-2/>

Doran, J. y Safley, M. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. En: C. Pankhurst, B. Doube y V. Gupta (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health* (pp. 1-27) CABI international. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19971907209>

FAO. (2011). Save and grow ecosystem-based agriculture: key to achieving the sustainable development.

Farji-Brener, A. G. (1992). Modificaciones al suelo realizadas por hormigas cortadoras de hojas (Formicidae, Attini): una revisión de sus efectos sobre la vegetación. *Ecología Austral*, 2(2), 87-94. http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/1728

Fitoagricola. (2020). *Crotalaria spectabilis*. Retrieved April 24, 2020, <https://www.fitoagricola.net/es/tienda-online/Catalog/show/crotalaria-spectabilis-25-kgr-461357>

Food and Agriculture Organization of United Nations. (2002). *Agricultura de conservación. Estudio de casos en América Latina*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2003409445>

Food and Agriculture Organization of United Nations. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Food and Agriculture Organization of United Nations <http://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>

Food and Agriculture Organization of United Nations. (2015). *Soil Functions*. <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/284478/>

Food and Agriculture Organization of United Nations. (2020). Nutrients and soil fertility management.

Francis, J. (2004). *Wildland shrubs of the United States and its territories: thamnisc descriptions: volume 1*. Gen. Tech. Rep. IITF-GTR-26, 1. San Juan, Puerto Rico: US Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, and Fort. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/27005>

Franco, A., y Campello, E. (2001). *Utilización de leguminosas inoculadas con bacterias en la recuperación de áreas degradadas por actividades mineras. Revisiones Técnicas*. PEMIM.

GECO. (2016). Documentaciones. Plataforma Participativa de gestión del Conocimiento para una Minería Artesanal Edo Eficiente.

Giller, K., Beare, M., Lavelle, P., Izao, A. y Swift M. (1997). Agricultural Intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied soil ecology*, 6(1), 3-16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139396001497>

Global Forest Resources Assessment. (2015). *Terms and definitions*. FAO. <http://www.fao.org/3/ap862e/ap862e.pdf>

Hobbs, R. & Harris, J. (2001). Restoration ecology: repairing the Earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, 9(2), 239–246.. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2001.009002239.x>

Holdridge, L. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center. Tropical Science Center.

Hurtado, L. (2003). *Manejo y conservación del suelo fundamentos y prácticas* (Segunda ed). PRONAMACHCS.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*. Cambridge University Press. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*. Cambridge. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/>

Jenny, H., 1941. Factors of Soil Formation : A System of Quantitative Pedology, Kindle Edi. ed.ro, C. (1999). Edafología. Para la agricultura y el medioambiente. Mundi Prensa.

Jiménez, J; Decaens, D; Thomas R. Y Lavelle, P. (2003). La macrofauna del suelo: Un recurso Natural Aprovechable pero poco conocido. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/55464>

Karlen, D., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R. y Schuman, G. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>

Lavelle, P., Rodríguez, N., Arguello, O., Nernal, J., Botero, C., Chaparro, P., Gómez, Y., Gutiérrez, A., Hurtado, M., Loaiza, S., Pullido, S., Rodríguez, E., Sanabria, C., Velásquez, E. y Fonte, S. (2014) Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 185, 106-117 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880913004428>

Lobry de Bruyn, A. L., y Conacher, A. J. (1990). The role of termites and ants in soil modification: A review. *Soil research*, 28(1), 55-93. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR9900055>

Maddox, V., Westbrooks, R., y Byrd, J. (s.f.). *Showy rattlebox*. https://www.gri.msstate.edu/research/invspec/factsheets/2P/Showy_rattlebox.pdf

Mannetje, L. (1977). A revision of varieties of *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. *Australian Journal of Botany*, 25(3), 347-362. <https://www.publish.csiro.au/bt/bt9770347>

Ministerio de Agricultura. (2010). *Reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos*. D.S. 013-2010-AG. Ministerio de Agricultura. <https://www.minagri.gob.pe/portal/marco-legal/normas-legales66/decretos-supremos68/2012/4804-decreto-supremo-no-013-2010-ag>

Ministerio de Minas y Energía. (2017). *Catálogo de Medidas Ambientales en el marco del IGAFOM*. Ministerio de Minas y Energía. <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/18%20Anexo%206%20-%20Definiciones,%20siglas,%20abrev.pdf>

Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2008). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. RM N° 660-2008-MTC/02. MTC. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_1556.pdf

Ministerio del Ambiente. (2009). *Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental DS 019-2009*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds-019-2009-minam-a.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2011). *La desertificación en el Perú. Cuarta comunicación nacional del Perú a la Convención de lucha contra la Desertificación y la Sequía*. Ministerio del Ambiente. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/200?show=full>

Ministerio del Ambiente. (2014a). *Guía para muestreo de suelo*. R.M. 085-2014-MINAM. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/RM-N%C2%B0-085-2014-MINAM.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2014b). *Guía para el muestreo de suelos*. R.M. 085-2014. Ministerio del Ambiente. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/317878-085-2014-minam>

Ministerio del Ambiente. (2016). *Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados. Muestreo de suelos*. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-buenas-practicas-investigacion-sitios-contaminados-muestreo-0>

Ministerio del Ambiente. (2017a). *Manual de buenas prácticas en minería aurífera aluvial para facilitar una adecuada recuperación de áreas*. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2017/02/2017-01-30-Manual-de-buenas-pr%C3%A1cticas-en-miner%C3%ADa-aur%C3%ADfera-aluvial-para-facilitar-una-adeuada-recuperacion-de-%C3%A1reas-FINAL-3.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2017b). *Estándares de Calidad Ambiental para Suelos D.S 011-2017- MINAM*. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-011-2017-minam/>

Myers, N. (1994). Tropical deforestation: rates and patterns. En K. Brown y D. Pearce (Eds.), *The Causes of Tropical of Tropical Deforestation. The economic and statistical analysis of factors giving rise to the loss of the tropical forest* (pp. 27– 40). UCL Press. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qjtmLHY-Ts4C&oi=fnd&pg=PR10&dq=The+Causes+of+Tropical+of+Tropical+Deforestation&ots=axDPPkV-5L&sig=m4Z6myPbDtmhQHD701UA4X3imA#v=onepage&q=The%20Causes%20of%20Tropical%20of%20Tropical%20Deforestation&f=false>

Niyomdham, C. (1997). *Crotalaria spectabilis Roth. Record from Proseabase*. (H. Faridah & L. Maesen, Eds.). PROSEA (Plant Resources of South-East Asia) Foundation. Indonesia.

- Odum, E. (1971). *Fundamentals of ecology* (Third edition). Saunders <https://www.worldcat.org/title/fundamentals-of-ecology/oclc/767691115>
- Oliva, M., Vacalla, F., Pérez, D., y Tucto, A. (2014). Vivero forestal para producción de plantones de especies forestales nativas: experiencia en Molinopampa, Amaéreas - Perú” (QIMT, IIAP, y SERFOR (eds.)). ITTO
- Organización de las Naciones Unidas. (1987). Informe de la comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo. http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
- Palacios, O., Molina, O., Galloso, A., y Reyna, C. (1996). Geología de los cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Atilero y Tambopata. Boletín 81. INGEMMET https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/37/106/A-081-Boletin_Puerto_Luz-Colorado-Laberinto-Puerto_Maldonado-Quincemil...pdf
- Peters, M., Franco, L., Schmidt, A. e Hincapié, B. (2011). *Especies forrajeras multipropósito. Opciones para productores del trópico americano*. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54681>
- Pickett, S., Kolasa, J., Armesto, J. y Collins, S. (1989). The Ecological Concept of Disturbance and Its Expression at Various Hierarchical Levels. *Oikos*, 54(2), 129-136. DOI: <https://doi.org/10.2307/3565258>
- Porta, J., López, M., y Roquero, C. (1999). *Edafología. Para la agricultura y el medioambiente*. Mundi Prensa. <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre03.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Randall, R. (2012). *A global Compendium of weeds* (3 edition). R.P. Randall. <https://www.cabi.org/isc/FullTextPDF/2013/20133109119.pdf>
- Real Academia de Ingeniería. (2021). *Definición de ortofotomapa*. Diccionario Español de Ingeniería. Real Academia de Ingeniería. <http://diccionario.raing.es/>
- Román, F., Huayllani, M., Michi, A., Ibarra, F., Loayza, R., Vázquez, T., Rodríguez, L. y García, M. (2015). Reforestation with four native tree species after abandoned gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, 85, 39–46. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857415302147>
- Romig, D., Garlynd, M., Harris, R. y McSweeney, K. (1995). How farmers assess soil health and quality. *Journal of soil and water conservation*, 50(3), 229-236. <https://www.jswnonline.org/content/50/3/229.short>
- Salinas, M. (2007). *Impactos económicos y ambientales de la pequeña minería artesanal en el departamento de Madre de Dios*. UNALM. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=tesispe.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=009545>

Sanabria, C., Lavelle, P., y Fonte, S. J. (2014). Ants as indicators of soil-based ecosystem services in agroecosystems of the Colombian Llanos. *Applied Soil Ecology*, 84, 24-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.07.001>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2018). *Lineamientos para la Restauración de Ecosistemas Forestales y otros Ecosistemas de Vegetación Silvestre*. R.D.E N° 083-2018-MINAGRI-SERFOR-DE. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2018/11/15.05-Lineamientos-restauracion-BAJA.pdf>

Sociedad para la Restauración Ecológica. (2004). *Principios de SER International sobre restauración ecológica*. Sociedad para la Restauración Ecológica. https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy* (12th ed.). USDA-Natural Resources Conservation Service https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf

USDA. (2020). Healthy Soil for Life [WWW Document]. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>

USDA-NRCS. (2015). *The plants database*. USDA. <http://plants.usda.gov/>

Van Kooten, G., y Bulte, E. H. (2000). *The economics of nature: managing biological assets*. Blackwells. Wiley-Blackwell. <https://research.wur.nl/en/publications/the-economics-of-nature-managing-biological-assets>

Velásquez, M., (2017). *Metales en suelos explotados por la pequeña minería aurífera aluvial en Madre de Dios* [tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Base de datos. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2893>

Velásquez, M., Barrantes, J., Thomas, E., Gamarra, L., Pillaca, M., Tello, L., y Bazán, L. (2020). Heavy metals in alluvial gold mine spoils in the peruvian amazon. *Catena*, 189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104454>

Velásquez, M., Castillo, P., Becerra, E., Guerrero, J., Corvera, R., & Del Castillo, T. (2019b). *Cultivos de cobertura, una alternativa para la recuperación de áreas degradadas por la minería aurífera aluvial*. XVIII Congreso Nacional y IX Internacional de La Ciencia Del Suelo.

Velásquez, M., Corvera, R., Guerrero, J., Cusi, E., Castillo, P., Samaniego, T., Becerra, E., Chinen, M., Muñoz, B., & Del Castillo, T. (2019a). *Metodología para la recuperación de áreas degradadas por la minería aurífera en Madre de Dios. Cultivos de cobertura con leguminosas de rápido crecimiento*. En SERFOR (Ed.), II Simposio de restauración de ecosistemas forestales amazónicos, andinos y costeros. <http://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/789/4/05.-Manuel-Velasquez-Ramirez-Tecnolog%C3%ADas-para-la-Recuperaci%C3%B3n-de-Áreas-Degradadas-por-Miner%C3%ADa.pdf>

Velásquez, M., Corvera, R., Guerrero, J., Vásquez, J., Cusi, E., Becerra, E., Muñoz, A., Russo, R., Thomas, E., & Del Castillo, D. (2020b). *Cultivos de Cobertura de Leguminosas, una rápida alternativa para la rápida y efectiva recuperación de suelos degradados por la minería aurífera aluvial en la Amazonía*. I Congreso Internacional Sobre Amazonia Peruana.

Velásquez, M., Nazario, J., Guerrero, J., Bazan, R., Guerrero, J., Tello, L. (2017). XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la Ciencia del Suelo, in: Suelos Explotados Por La Minería Aurífera Aluvial: Clasificación Por El Sistema Soil Taxonomy Y WRB. Sociedad peruana de la Ciencia del Suelo (SPCS), Ayacucho

Velásquez, M., Vega, C., Gomringer, R., Pillaca, M., Thomas, E., Stewart, P., Gamarra, L., Dañobeytia, F., Guerrero, J., Gushiken, M., Bardales, J., Silman, M., Fernández, L., Ascorra, C. y Torres, D. (2021). Mercury in soils impacted by alluvial gold mining in the Peruvian Amazon. *Journal of Environmental Management*, 288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112364>

Vita, A. (1996). *Los tratamientos silviculturales*. Universidad de Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1249>

Whitmore, T. C. (2010). Gaps in the forest canopy. En P. Tomlinson y M. Zimmerman (Eds.), *Tropical Trees as Living Systems* (pp. 639–655). Cambridge University. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=oxT1M8-bu3IC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Tropical+Trees+as+Living+Systems&ots=HQnzOor_xa&sig=J5PJjtflLV0-dk1ojE_IPSNDvZQ#v=onepage&q=Tropical%20Trees%20as%20Living%20Systems&f=false



ISBN: 978-612-00-6536-5



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA - IIAP

Av. José A. Quiñones km. 2.5 - Apartado Postal 784

Iquitos, Loreto

IIAP MADRE DE DIOS Y SELVA SUR

Jr. Ica 1662

Puerto Maldonado, Madre de Dios



Ministerio
del Ambiente

