



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LOS ECOSISTEMAS DE LOMAS DEL
BOTADERO 500 DE LA CONCESIÓN MINERA CRISTINA DISTRITO DE LURÍN,
LIMA

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería Ambiental

Autor:

Cesar Minga, Julio

Asesor:

Gómez Lora, Jhon Walter
(ORCID: 0000-0003-4926-8967)

Jurado:

Ramos Vera, Juana Rosa
Esenarro Vargas, Doris
Castañeda Pérez, Luz Genara

Lima - Perú

2021

Referencia:

Cesar, J. (2021). *Restauración ecológica en los ecosistemas de Lomas del botadero 500 de la Concesión Minera Cristina distrito de Lurín, Lima* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5441>



Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LOS ECOSISTEMAS DE LOMAS
DEL BOTADERO 500 DE LA CONCESIÓN MINERA CRISTINA
DISTRITO DE LURÍN, LIMA

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería Ambiental

Autor:

Cesar Minga, Julio

Asesor:

Gómez Lora, Jhon Walter

Jurado:

Ramos Vera, Juana Rosa

Esenarro Vargas, Doris

Castañeda Pérez, Luz Genara

Lima - Perú

2021

Dedicatoria

A Dios por permitirme culminar la investigación con éxito
y darme salud en todo este proceso que ha sido difícil,
arduo, pero no imposible.
Porque para Él y en Él son hechas todas las cosas.

Agradecimientos

A Dios, por darme la fortaleza y salud necesaria para culminar con éxito este trabajo de investigación.

A mi madre, por su amor hacia mí, su apoyo y ánimos que me brindó en este proceso.

A mi asesor, el Dr. Jhon Walter Gómez Lora, por su paciencia y motivación para culminar este trabajo de investigación, el cual ha sido clave en todo este proceso. Siempre le estaré agradecido por sus consejos y buena disposición.

Al equipo que hizo posible el trabajo de campo de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Planteamiento del problema	12
1.2. Descripción del problema	12
1.3. Formulación del problema	14
1.3.1. Problema general	14
1.3.2. Problemas específicos	14
1.4. Antecedentes	15
1.4.1. Internacionales	15
1.4.2. Nacionales	16
1.5. Justificación	17
1.6. Importancia	17
1.7. Limitaciones de la investigación	18
1.8. Objetivos	18
1.8.1. Objetivo general	18
1.8.2. Objetivos específicos	19
1.9. Hipótesis	19
1.9.1. Hipótesis general	19
1.9.2. Hipótesis específicas	19
II. MARCO TEÓRICO	20
2.1. Marco conceptual	20
2.1.1. Definición de términos	20
A. Sucesión ecológica	20
B. Ecosistema	20
C. Ecosistemas frágiles	21
D. Ambiente	21
E. Recursos Naturales	21
F. Restauración ambiental	22
2.1.2. Restauración ecológica	22
2.1.3. Importancia de la restauración ecológica	23
2.1.4. Procedimiento de la restauración ecológica	24
2.1.5. Beneficios de la recuperación de ecosistemas	27
2.1.6. Factores ambientales para la restauración ecológica	27
A. Oferta ambiental	27
B. Los factores edáficos	28
C. Potencial biótico	29
D. Medio socioeconómico	30
III. MÉTODO	31
3.1. Tipo de investigación	31
3.2. Población y muestra	31
3.2.1. Población	31
3.2.2. Muestra	32
3.3. Operacionalización de variables	33
3.3.1. Variables independientes y dependiente del primer objetivo	33
3.3.2. Variables independientes y dependiente del segundo objetivo	34
3.3.3. Variables independientes y dependiente del tercer objetivo	34
3.4. Instrumentos	34
3.4.1. Información cartográfica	35
3.4.2. Información satelital	35
3.5. Procedimientos	37
3.5.1. Procedimiento para el primer objetivo	37
3.5.2. Procedimiento del segundo objetivo	39
3.5.3. Procedimiento del tercer objetivo	42
3.6. Análisis de datos	42

IV.	RESULTADOS	44
4.1.	Diagnóstico Físico-Ambiental de la desmontera 500 UM Cristina	44
4.1.1.	Ubicación y accesibilidad	44
4.1.2.	Geología	47
4.1.2.1.	Geología Regional	47
4.1.2.2.	Geología local	47
4.1.2.3.	Geología estructural	48
4.1.3.	Geomorfología local	49
4.1.4.	Fisiografía	52
4.1.5.	Zonas de Vida	52
4.1.5.1.	Desierto Desecado – Subtropical (DD-S)	52
4.1.6.	Cobertura vegetal	52
4.1.6.1.	Lomas	52
4.1.7.	Hidrología e hidrogeología	57
4.1.8.	Riesgos en la zona de estudio	61
4.1.8.1.	Riesgos geológicos	61
4.1.8.2.	Riesgo sísmico	61
4.1.9.	Estabilidad física	62
4.1.9.1.	Análisis geotécnico	62
a.	Etapa de campo	62
b.	Etapa de laboratorio	65
c.	Coeficiente sísmico	65
d.	Parámetros de diseño	66
4.1.9.2.	Propuesta de estabilidad	73
4.1.10.	Caracterización de suelos	75
4.1.10.1.	Clasificación y descripción de los suelos	76
4.1.10.2.	Descripción de las unidades cartográficas	76
a.	Consociación Lomas	77
b.	Consociación Restauración	78
c.	Áreas misceláneas	82
4.1.11.	Caracterización biológica	85
4.2.	Pruebas de ensayo	89
4.2.1.	Primera etapa	92
4.2.1.1.	Colecta de semillas	92
4.2.1.2.	Colecta de broza	94
4.2.1.3.	Selección de sustrato	96
4.2.1.4.	Siembra	97
4.2.1.5.	Registro de especies	100
4.2.1.6.	Fenología de algunas especies pioneras bajo condiciones inducidas	105
4.2.2.	Segunda etapa	109
4.2.3.	Tercera etapa: Estrategias de restauración	120
4.2.3.1.	Recolección de insumos para la restauración del Depósito de Desmonte 500	121
4.2.3.2.	Estrategia de restauración	128
4.3.	Monitoreo	134
4.3.1.	Especies vegetales	134
4.3.1.1.	Riqueza y composición de especies vegetales	138
4.3.1.2.	Abundancia y cobertura de especies vegetales	139
4.3.1.3.	Índices de diversidad de las áreas en restauración y el área referencial	144
4.3.1.4.	Análisis de similitud de las áreas restauradas y el área referencial	147
4.3.2.	Artrópodos	148
4.3.3.	Aves	151
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	156
VI.	CONCLUSIONES	163
VII.	RECOMENDACIONES	165
VIII.	REFERENCIAS	166
ANEXOS		170
Anexo A. Matriz de Consistencia		171
Anexo B. Guías fotográficas para la identificación de la flora		172
Anexo C. Ficha de capacitación a comunidades		186
Anexo D. Relación de Mapas		189

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Indicadores Biofísicos para el Monitoreo de la Restauración	26
Tabla 2 Beneficios de la Restauración Ecológica	27
Tabla 3 Variables del Primer Objetivo	33
Tabla 4 Variables del Segundo Objetivo	34
Tabla 5 Variables del Tercer Objetivo	34
Tabla 6 Cartas Nacionales	35
Tabla 7 Modelos de Elevación Digital	36
Tabla 8 Equipos y materiales	36
Tabla 9 Métodos de análisis de suelos	38
Tabla 10 Vías de acceso al área de estudio	44
Tabla 11 Geología regional de la zona de estudio	47
Tabla 12 Geomorfología local de la zona de estudio	49
Tabla 13 Aceleraciones Máximas Esperadas del Terreno (PGA) en la Zona de Estudio	62
Tabla 14 Resumen de sondeos en campo	63
Tabla 15 Resumen de las densidades de campo	64
Tabla 16 Ensayos de laboratorio de muestras del suelo	65
Tabla 17 Resumen de ensayos de suelo	66
Tabla 18 Factores de seguridad mínimos permisibles	67
Tabla 19 Factores de seguridad para falla planar	70
Tabla 20 Factores de seguridad para falla	73
Tabla 21 Resultados del cálculo	74
Tabla 22 Estaciones de caracterización de suelos	75
Tabla 23 Clasificación de suelos	76
Tabla 24 Unidades cartográficas	76
Tabla 25 Unidades cartográficas de suelos	83
Tabla 26 Lista de especies registradas en el ecosistema de referencia	87
Tabla 27 Lista de especies registradas en el ecosistema de referencia	88
Tabla 28 Lista de especies colectadas para los ensayos	92
Tabla 29 Proporción de semillas por especie aplicada para los tratamientos ensayo	98
Tabla 30 Lista de especies pioneras registradas en los tratamientos ensayo 1x1m	100
Tabla 31 Lista de especies sembradas en las parcelas 3x3 m según Tratamiento 2	110
Tabla 32 Lista de especies registradas y su sucesión a nivel de flora a lo largo de los monitoreos	118
Tabla 33 Cantidad de semillas colectadas por especie	122
Tabla 34 Cantidad de semillas colectadas por sector	127
Tabla 35 Cantidad de broza extraído en los diferentes sectores	128
Tabla 36 Esfuerzo de muestreo de los componentes de flora y fauna en las áreas en restauración	134
Tabla 37 Ubicación de las parcelas permanentes de evaluación en las áreas en restauración y el área referencial	136
Tabla 38 Índice similitud de las Áreas en restauración con respecto al Área referencial	147
Tabla 39 Ubicación de las estaciones de monitoreo de artrópodos	150
Tabla 40 Número de evaluaciones de artrópodos y esfuerzo de muestreo	151
Tabla 41 Ubicación de las estaciones de monitoreo de aves en área en restauración, referencial y desbroce	152
Tabla 42 Evaluaciones de aves y esfuerzo de muestreo	152
Tabla 43 Especies de aves registradas en las áreas en restauración	153
Tabla 44 Personal local capacitado para la implementación del plan de monitoreo en el área de restauración del depósito de desmonte 500	155

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Procedimiento de Restauración Ecológica	24
Figura 2 Ubicación de las Lomas del distrito de Lurín	32
Figura 3 Localización del Botadero 500-Cristina	33
Figura 4 Esquema metodológico para el desarrollo del objetivo 1	38
Figura 5 Diseño de parcelas de ensayo	41
Figura 6 Esquema metodológico para el desarrollo del objetivo 2	41
Figura 7 Gráficos estadísticos	43
Figura 8 Ubicación del área de estudio	44
Figura 9 Mapa de ubicación del ecosistema Lomas Costeras - Lurín	45
Figura 10 Mapa de vías de acceso al botadero 500 - Lurín	46
Figura 11 Mapa geológico de la zona de estudio	50
Figura 12 Mapa geomorfológico de la zona de estudio	51
Figura 13 Mapa de zonas de vida de la zona de estudio	53
Figura 14 Mapa de formaciones ecológicas de la zona de estudio	54
Figura 15 Mapa de unidades de cobertura vegetal de la zona de estudio	56
Figura 16 Mapa de unidades hidrogeológicas regionales	58
Figura 17 Mapa de unidades de suelos del área de estudio	59
Figura 18 Mapa de capacidad de uso mayor de suelos del área de estudio	60
Figura 19 Ubicación de los sondeos geotécnicos	64
Figura 20 Ubicación de las secciones para el análisis	67
Figura 21 Secciones para el análisis (situación actual) sesión A – A’	68
Figura 22 Secciones para el análisis (situación actual) sesión A – A’	68
Figura 23 Secciones para el análisis de rotura lineal	69
Figura 24 Sección A-A’ Análisis estático	71
Figura 25 Sección B-B’ Análisis estático	71
Figura 26 Sección A-A’ análisis Pseudo estático	72
Figura 27 Sección B-B’ análisis Pseudo estático	72
Figura 28 Geometría para estabilizar el talud en condiciones actuales	73
Figura 29 Geometría para estabilizar el talud compactando el terreno	74
Figura 30 Mapa de caracterización de suelos	84
Figura 31 Ecosistema de referencia	85
Figura 32 Transecto intersección punto	85
Figura 33 Composición de especies por familia botánica	86
Figura 34 Cobertura por especie registrada en el ecosistema de referencia	86
Figura 35 Abundancia por especie registrada en el ecosistema de referencia	87
Figura 36 Especie Veronica pérsica	88
Figura 37 Especie Erigeron leptorrhizon	89
Figura 38 Vista panorámica del depósito de desmonte 500 Cristina en el cual se instalarán las parcelas de ensayo	89
Figura 39 Diseño de parcelas de ensayo	91
Figura 40 Trabajos con arneses en la implementación de parcelas de ensayo	91
Figura 41 Recolección de semillas	93
Figura 42 Secado de semillas	93
Figura 43 Colecta de broza	94
Figura 44 Mapa de áreas de extracción de broza	95
Figura 45 Fuente de sustrato suelo en los alrededores del depósito de desmonte 500 de la cantera Cristina	96
Figura 46 Fuente de sustrato suelo en los alrededores del depósito de desmonte 500 de la cantera Cristina (2)	96
Figura 47 Recolección del sustrato	97
Figura 48 Tratamiento (T2 y T3) siembra en lluvia de semillas y tratamiento T4 siembra en surcos	98
Figura 49 Vista panorámica de los tratamientos de ensayo	99
Figura 50 Implementación de parcelas al tratamiento T2	99

Figura 51 Composición de especie por familia botánica	100
Figura 52 Primeras plántulas en los tratamientos de ensayo	101
Figura 53 Tratamiento T2	101
Figura 54 Parcela de tratamiento T2 – 80% de cobertura	102
Figura 55 Tratamiento T3	102
Figura 56 Tratamiento T3 con 30% de cobertura	103
Figura 57 Abundancia total registrada por Tratamiento ensayo en cada monitoreo de evaluación	104
Figura 58 Plántula de la especie <i>Stachys arvensis</i>	104
Figura 59 Cobertura promedio por Tratamiento en cada monitoreo de evaluación	105
Figura 60 Estados fenológicos para la especie <i>Fuertesimalva peruviana</i>	106
Figura 61 Estados fenológicos para la especie <i>Stachys arvensis</i>	107
Figura 62 Estados fenológicos para la especie <i>Veronica pérsica</i>	108
Figura 63 Estados fenológicos para la especie <i>Heliotropium angiospermum</i>	109
Figura 64 Implementación a mayor escala (3 m x 3 m) del tratamiento T2	109
Figura 65 Implementación del tratamiento T2 colocando insumos	110
Figura 66 Parcelas 3 m x 3 m – vista panorámica	111
Figura 67 Composición de flora y vegetación en parcelas 3x3 m inducidas por riego a la 14 ^o evaluación	112
Figura 68 Comparativo de la riqueza de especies durante los 4 últimos monitoreos	113
Figura 69 Comparativo de la cobertura vegetal durante los 4 últimos monitoreos	114
Figura 70 Cobertura vegetal y riqueza de especies por monitoreo en relación con la temperatura y humedad	117
Figura 71 Clase de artrópodos registrados en las parcelas de 3x3 m	120
Figura 72 Composición a nivel de orden de los artrópodos registrados en las parcelas 3x3 m	120
Figura 73 Rotulación de semillas	123
Figura 74 Inventario de semillas	123
Figura 75 Composición a nivel de orden de los artrópodos registrados en las parcelas 3x3 m	124
Figura 76 Composición a nivel de orden de los artrópodos registrados en las parcelas 3x3 m	126
Figura 77 Implementación de parcelas en áreas con pendientes de 40%	129
Figura 78 Implementación de terrazas en áreas con pendientes de 60%	129
Figura 79 Implementación de áreas con rocas grandes	130
Figura 80 Zona implementada con restauración asistida	131
Figura 81 Área de siembra directa	131
Figura 82 Accesos compactados con vegetación	132
Figura 83 Accesos compactados con escasa o nula vegetación	132
Figura 84 Mapa de áreas de restauración	133
Figura 85 Cuadrante de 1 m x 1 m para el monitoreo de flora	135
Figura 86 Cuadrante 1 m x 1 m para el monitoreo de flora, luego de 1 mes de monitoreo continuo	135
Figura 87 Zona AP-M1 implementada por medio de parcelas	137
Figura 88 Zona AT-M1 implementada por medio de terrazas	137
Figura 89 Zona AR-M1 implementada por cascajo y sustrato	137
Figura 90 Riqueza y composición de especies a nivel de familias botánicas	138
Figura 91 Riqueza de especies en áreas en restauración y área referencial	139
Figura 92 Cobertura vegetal en áreas en restauración y área referencial	141
Figura 93 Abundancias de cobertura vegetal en áreas en restauración y área referencial	143
Figura 94 Índices de diversidad de Shannon-Wiener en las áreas en restauración y el área referencial	145
Figura 95 Índices de diversidad de Simpson en las áreas en restauración y el área referencial	146
Figura 96 Índices de similitud de las áreas en restauración con el área referencial	148
Figura 97 Instalación de bandejas amarillas	149
Figura 98 Conteo total en la zona AT-M2	151
Figura 99 Composición de avifauna en las áreas en restauración	153
Figura 100 Ave <i>Zenaia auriculata</i> en las áreas en restauración	154
Figura 101 Ave <i>Rhodopis vesper</i> en las áreas en restauración	154

RESUMEN

El objetivo de la investigación diseñar la restauración ecológica en un área piloto con la finalidad de contribuir en la recuperación de los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Unidad Minera Cristina, para ello se realizó un diagnóstico físico – ambiental que contempló la geología, geomorfología, suelos y aspectos de estabilidad física que deben tenerse en cuenta para planificar las actividades de restauración, una caracterización biológica considerando un ecosistema de referencia que sirva como base para el modelo de restauración planteado, asimismo, se realizó pruebas experimentales en parcelas de ensayo con la finalidad de establecer una estrategia de restauración en los ecosistemas de Loma del botadero y finalmente realizar los monitoreos respectivos a fin de establecer los indicadores de evaluación en el área de restauración. Los resultados muestran que el ecosistema de restauración es de tipo herbáceo, se aplicó 6 tratamientos en 30 parcelas experimentales a fin de proliferar especies evaluados semanalmente, el tratamiento más efectivo fue: sustrato – broza – semilla con un porcentaje de cobertura de 46%, el cual fue replicado a mayor escala en temporada húmeda, luego de los 14 monitoreos, se obtuvo 54 especies de flora donde Astraceae fue la más representativa, la cobertura obtenida fue de 75% demostrando que fue el mejor tratamiento para proliferar especies nativas. La estrategia de restauración estuvo enfocada en 7 técnicas de siembra en 4.76 ha. Luego de 18 monitoreos se registraron 52 especies agrupadas en 29 familias, donde Astraceae fue la más representativa. El área con mayor riqueza fue AP-M2 con 38 especies. Con respecto a los índices de diversidad, estos incrementaron sus valores a lo largo de los monitoreos entre 1.88 y 4.00 bits/individuo para Shannon y 0.49 a 0.91 probits/individuo para Simpson. Se concluye que el proceso de restauración fue satisfactorio y puede contribuir en los conocimientos y estrategias de un plan de cierre de minas.

Palabras Clave: restauración ecológica, Ecosistemas de Lomas, Minería no metálica.

ABSTRACT

The objective of the research to design the ecological restoration in a pilot area in order to contribute to the recovery of the ecosystems of Lomas del Botadero 500 of the Cristina Mining Unit, for this a physical-environmental diagnosis was carried out that collated the geology, geomorphology, soils and aspects of physical stability that must be taken into account to plan restoration activities, a biological characterization considering a reference ecosystem that serves as a basis for the proposed restoration model, also, experimental tests were carried out in test plots with the purpose of establishing a restoration strategy in the ecosystems of Loma del botadero and finally conducting the selected monitoring in order to establish the evaluation indicators in the restoration area. The results show that the restoration ecosystem is herbaceous type, 6 treatments were applied in 30 experimental plots in order to proliferate species evaluated weekly, the most effective treatment was: substrate - brush - seed with a coverage percentage of 46%, which It was replicated on a larger scale in the wet season, after 14 monitoring, 54 species of flora were obtained where Astraceae was the most representative, the coverage obtained was 75%, demonstrating that it was the best treatment to proliferate native species. The restoration strategy was focused on 7 planting techniques in 4.76 ha. After 18 monitoring, 52 species grouped into 29 families were recorded, where Astraceae was the most representative. The area with the highest richness was AP-M2 with 38 species. With respect to the diversity indices, these increased their values along those monitored between 1.88 and 4.00 bits / individual for Shannon and 0.49 to 0.91 probits / individual for Simpson. It is concluded that the restoration process was satisfactory and can contribute to the knowledge and strategies of a mine closure plan.

Keywords: ecological Restoration, Loma ecosystems and non-metallic mining.

I. INTRODUCCIÓN

La pérdida de la diversidad biológica en los ecosistemas terrestres a escala mundial es una preocupante realidad (Núñez et al., 2003). La cual es generada por un gran número de factores como la fragmentación del sustrato, la alteración y sobreexplotación de los ecosistemas, la introducción de especies exóticas y la presión que genera el constante crecimiento de las poblaciones humanas (Herrerías & Benitez, 2005); así como, las actividades que involucra el sector minero, energético, construcción, vial, entre otros.

Una alternativa para solucionar esta problemática ambiental actual y conservar la biodiversidad y la integridad ecosistémica, es la restauración ecológica, la cual pretende acelerar el proceso de recuperación de ecosistemas perturbados con el fin de regresarlos a su trayectoria original (Choi, 2007; Society for Ecological Restoration International [SER], 2004). De esta manera el objetivo principal de los programas de restauración ecológica consiste en llevar un ecosistema perturbado a una trayectoria ecológica similar a la de un ecosistema de referencia (Barrera & Valdés, 2007), es decir aquel que tiene suficientes recursos bióticos y abióticos para continuar su desarrollo sin asistencia adicional y que se encuentra libre de las posibles amenazas que afectan su salud e integridad (Davis & Slobokin, 2004).

En el Perú actualmente existen lineamientos para realizar la Restauración en ecosistemas forestales, sin embargo, para los ecosistemas de Lomas existe escasa información al respecto de cómo llevar de forma exitosa un proceso de restauración. Estos ecosistemas cuenta con características particulares, ya que está fuertemente influenciado por la estacionalidad, lo cual se puede evidenciar durante las temporada seca en donde la cobertura vegetal es mínima; mientras que, durante la temporada húmeda de invierno de la Corriente Peruana se forma un manto neblinoso usualmente entre los meses de junio y setiembre, la misma que se condensa y precipita bajo la forma de garúa producto de la humedad y temperatura, produciendo una

explosión acelerada vida, principalmente herbácea, efímera producto del banco de semillas presentes por el sustrato (Canziani & Mujica, 1997).

Estos ecosistemas a lo largo de la costa peruana han sido alterados por actividades antropogénicas, como por ejemplo la minería no metálica, generando principalmente la disminución de los servicios ecosistémicos que brindan a las comunidades. En ese sentido, con la finalidad de contribuir en la recuperación de los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Unidad Minera Cristina, la presente investigación se inició con el diagnóstico físico – ambiental del área de estudio, así como la realización de pruebas experimentales en parcelas de ensayo y ejecución de monitoreos continuos para establecer indicadores de evaluación en la restauración ecológica de estos ecosistemas. La investigación se desarrolla en 7 capítulos, en el CAPITULO I se desarrollan los aspectos metodológicos que abarcan los antecedentes en temas de restauración ecológica; además del planteamiento y formulación de los problemas a investigar, los objetivos, la hipótesis, variables y su operacionalización por cada objetivo planteado. En el CAPITULO II, se desarrolla el marco teórico, donde se definen diferentes términos relacionados a la restauración ecológica, sus fases y procesos a llevarse a cabo. El CAPITULO III, se detallan los materiales (herramientas cartográficas y Software utilizados) y procedimientos utilizados para resolver los objetivos planteados. El CAPITULO IV se muestran los resultados encontrados en el desarrollo de la investigación, desde el diagnóstico del área de estudio y del ecosistema de referencia que sirve como base para el modelo de restauración planteado, además de las pruebas experimentales para definir la estrategia de restauración óptima. Finalmente, en los CAPITULOS V, VI y VII se muestran la discusión de los resultados, conclusiones y recomendaciones.

1.1. Planteamiento del problema

Los impactos causados a los ecosistemas ocasionados por las actividades antrópicas son numerosos y de largo alcance en espacio y tiempo para todos los componentes ambientales. Por ejemplo, el avance de la minería a cielo abierto sin adecuados protocolos de restauración, generan la pérdida de ecosistemas completos, esto incluye a los bienes y servicios que prestan a las comunidades, situación que hace urgente la búsqueda de estrategias y metodologías tanto de sostenibilidad de los procesos extractivos como de restauración de áreas naturales que hayan sido afectadas.

La extracción de materiales a cielo abierto es un tipo de disturbio antrópico que afecta todos los factores del ecosistema (vegetación, fauna, suelos, etc.), las geoformas del terreno y las condiciones microclimáticas (De Oca & Ulloa-Carcassés, 2013).

De acuerdo con Noriega (2016), los planes de cierre minero en términos de las actividades de restauración y siembra de material vegetal para recuperar ambientalmente las áreas intervenidas por proyectos mineros, tienden a ser una respuesta mínima necesaria a la norma y lineamientos establecidos por las autoridades competentes, en el momento de la presentación de los estudios ambientales necesarios para la aprobación de licencias ambientales

En ese sentido, para la restauración de las áreas afectadas por minería a cielo abierto es necesaria una adecuada planificación del proceso de restauración el cual permita mitigar los impactos ambientales y restituir potencialmente la diversidad biológica de los ecosistemas afectados (Mena, 2018).

1.2. Descripción del problema

Las Lomas costeras son ecosistemas endémicos que están presentes principalmente en Perú. Su singularidad se debe a que obtienen el agua, para su metabolismo, a partir de la interceptación de neblinas. Son también denominados “Oasis de neblinas en medio del desierto” (Talavera, 2015).

Se forman en el desierto costero y son de carácter estacional, puesto que se generan durante el invierno (entre los meses de junio y octubre) producto de la neblina que proviene del mar y que posteriormente, por los vientos alisios, chocan con las laderas de los cerros para convertirse en todo un espectáculo de vida (Ipanaqué, 2020).

En la costa del Perú existe 67 Lomas; en la costa norte se cuentan con 9, en el centro con 23 y en el sur con 35, estas se encuentran entre el nivel del mar y los 800 msnm. Estos tipos de ecosistemas ocupan solo un porcentaje de 0.64% de territorio nacional según los mapas del sistema de Holdridge (Universidad Nacional Agraria La Molina [UNALM], 2015).

De acuerdo con Ipanaqué (2020), las Lomas de Lima llegan a alcanzar una superficie de 20 mil hectáreas, distribuidas en 19 de sus 43 distritos (y hasta 70 mil hectáreas por la presencia del Fenómeno El Niño).

Según Jimenez & La Torre (2012), brindan diversos beneficios ambientales a la ciudad como, por ejemplo: la captura de agua de neblina, contar con un banco genético de especies silvestres de plantas cultivadas como son la papa, el tomate, la oca, la quinua y la caigua, atenuación de extremos de aridez y belleza paisajística. Además, es hábitat de diferentes especies de flora (como la emblemática flor de Amancaes) y faunas únicas en el mundo, permitiendo el desarrollo de actividades como el turismo.

Por otro lado, Miyasiro & Ortiz (2016) mencionan que el Perú es un país de tradición minera; la cual, debido a su riqueza geológica. Sin embargo, poseer esta riqueza geológica tiene su contraparte, porque ha ocasionado que, en muchos de los frágiles ecosistemas de lomas, se desarrolle actividad minera metálica y no metálica, a gran y pequeña escala. Esto conlleva a una alteración del ecosistema en la medida que no se realicen adecuados trabajos de recuperación de las zonas intervenidas por las actividades extractivas.

En el distrito de Lurín de la provincia de Lima, se encuentra la Cantera Cristina, de ella se extrae el material calizo como materia prima para la producción de cemento y está constituida

básicamente por un ecosistema de Loma. Esto ha contribuido al debilitamiento de su equilibrio ecológico, mermando su ecosistema y alterando fuertemente los servicios que provee a la población.

En ese sentido, en la presente investigación se plantea diseñar una propuesta de restauración ecológica incentivando la participación ciudadana del área de influencia a fin de recuperar el ecosistema de Lomas. Asimismo, se pretende generar conocimientos técnicos y científicos nuevos sobre restauración en ecosistemas de lomas en el Perú con la finalidad de que a futuro se implemente una directriz general orientada a la protección y manejo de las Lomas.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

- ¿En qué medida se puede recuperar un ecosistema de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿De qué forma se puede diseñar una estrategia de restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín?
- ¿De qué manera se puede conocer la propagación de especies en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín?
- ¿Cómo se pueden obtener indicadores de evaluación del área sujeta a restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín?

1.4. Antecedentes

1.4.1. Internacionales

- Alvarado-García & Zuñiga-Amador (2018) en su investigación “*Vegetación nativa como factor de control de erosión y restauración ecológica*”, San José Costa Rica, evaluó especies nativas para el control de erosión y restauración ecológica en 3 sitios a lo largo del río Torres mediante la instalación de parcelas experimentales. Los resultados muestran que la supervivencia de las especies estuvo por encima del 50% lo cual evidencia que superaron el estrés post siembra y lograron adaptarse exitosamente. Concluyendo que el uso de especies nativas como estrategia de restauración ecológica permite mejorar las condiciones mecánicas, hidráulicas y ambientales del sitio en estudio y actúa como barrera viva contra la erosión.
- Mena (2018) en su tesis “*Restauración de espacios degradados en un área de cantera abandonada*” analizó los diferentes métodos de restauración aplicados en las canteras abandonadas en el CERRO MAS VALE de la cordillera churute de la Reserva Ecológica Manglares Churute. Para ello, se caracterizó a las especies vegetales, y se comparó dos técnicas de restauración (1) implantación selectiva de individuos de diferentes especies y (2) pre-implantación de semillas (chorro continuo). Concluyendo que, para implementar un plan de restauración ecológica, el monitoreo es primordial a fin de materializar resultados a largo plazo.
- Noriega (2016) en su estudio titulado “*Propuesta de restauración ecológica para el cierre minero Vereda el Manzano*” realizó una propuesta conceptual que contiene el planteamiento estratégico del potencial, objetivos, diseños y tratamientos para la restauración ecológica de la escombrera de la mina la Esperanza a partir de la sucesión ecológica en busca del restablecimiento de la función ecosistémica particular de la zona. Concluyendo que el monitoreo de las especies debe hacerse de forma constante, siguiendo los procedimientos metodológicos apropiados. Asimismo, manifiesta que

una buena alternativa, es orientar la iniciativa desde la perspectiva del REP (Restauración Ecológica Participativa), metodología que guía y sustenta el acompañamiento de los proyectos de restauración con la inclusión de la comunidad local en la ejecución de la restauración ecológica.

1.4.2. Nacionales

- Alva (2018) en su tesis titulada “*Restauración ecológica inicial de áreas degradadas de la Comunidad Nativa Tayuntsa Distrito de Nieva – Amazonas con especies nativas Tornillo y Moena*” tuvo por objetivo realizar acciones de restauración ecológica en su fase de inicio, de áreas degradadas en una zona del ecosistema bosque tropical de la comunidad nativa Tayuntsa en el distrito de Nieva, Amazonas, con dos especies forestales amazónicas nativas, obteniendo como resultados que la restauración ecológica con las especies nativas "Tornillo" y "Moena" ,obtuvieron buena respuesta de adaptación y recuperación de la cobertura, mejorando las condiciones bióticas y abióticas del ecosistema, estableciéndose una sucesión vegetal, así como la mejora del aspecto y bosque, la protección del suelo y agua.
- Gálvez (2013) en su investigación “*Evaluación de bosques de polilepys y su plan de restauración ecológica en la microcuenca de cancha cancha-calca*” tuvo como objetivo elaborar un diagnóstico sobre el medio circundante a los bosques y su estado biológico como también los disturbios que se desenvuelven en él y con dicha información se estructuró un plan de restauración ecológica de dichos bosques relictos. Obteniendo como resultados, suelos con pH medianamente ácido, el estado de conservación es diferenciado, los disturbios con mayor impacto e influencia son tala, pastoreo, y agricultura. Asimismo, se hallaron 13 puntos que poseen potencial para diferentes tratamientos que permitan recuperar las especies, proponiéndose un plan de restauración ecológica a mediano plazo.

1.5. Justificación

En la investigación se propone principalmente, ya que Las lomas costeras son identificadas y consideradas ecosistemas frágiles según la Ley N° 28611, algunas de ellas forman parte de la lista nacional de ecosistemas frágiles (Resolución Ministerial N° 0274-MINAGRI), por lo que contribuirá a la generación de nuevos conocimientos acerca de la restauración ecológica de los ecosistemas de Lomas en el Perú. Asimismo, contribuye a minimizar los impactos que alteran significativamente a los ecosistemas de Lomas, ya que la pérdida de servicios ambientales de estos ecosistemas es una preocupación de las comunidades más próximas al área de influencia.

Tiene una relevancia social alta, debido a que el presente trabajo generará trabajo a los pobladores de las comunidades de Cucuya, Nigritillo y el Manzano durante las etapas que se desarrolle el proyecto.

Por otro lado, constituye un punto de partida y repositorio de información científica para futuros proyectos que se emplacen en zonas de Lomas y que tenga participación de los vecinos del lugar. Finalmente, se prevé que la ejecución de este proyecto servirá a las autoridades competentes (Municipios, Ministerios, empresas privadas) a fin de que a futuro se elabore un documento que funcione como una metodología orientada a la protección y manejo de los ecosistemas de Loma, minimizando los impactos de las actividades antrópicas.

1.6. Importancia

Originalidad

El desarrollo de esta investigación se ejecuta en ecosistemas frágiles de Lomas costeras, siendo uno de los primeros proyectos en Perú de esta envergadura. En ese sentido, es necesario mencionar que la literatura referente a restauración ecológica en ecosistemas de Lomas es escasa. No se ha encontrado evidencia de investigaciones sobre restauración de ecosistemas de

Lomas en operaciones mineras, por lo que sería la primera investigación en el Perú de este tipo. Esta investigación constituye un punto de partida y base de información científica para proyectos que se emplacen en ecosistemas de Lomas en país.

Viabilidad

La investigación cuenta con todos los medios suficientes para su correcta ejecución. La restauración de estos ecosistemas está sujeto a determinar, en primer lugar, la estabilidad física del medio que da soporte a este ecosistema. Sin su estabilidad física, los trabajos de restauración no pueden llevarse a cabo. Por ello, se ha determinado que al ser estable físicamente, es posible realizar los trabajos de restauración.

Trascendencia

Esta investigación genera conocimientos nuevos con la finalidad de contribuir en el establecimiento de protocolos de restauración de ecosistemas de Lomas en zonas afectadas por diversas actividades humanas, entre ellas la actividad minera (como parte de los planes de cierre progresivo y final).

1.7. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones en esta investigación están relacionadas principalmente a la escasa información técnica y científica referida a la restauración de ecosistemas de Lomas debido a actividades industriales. Asimismo, las interacciones con la población será otra limitante en la etapa de campo debido al escaso conocimiento al respecto de las actividades que se realizarán.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo general

Diseñar una propuesta de restauración ecológica en un área piloto con la finalidad de contribuir con la recuperación en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín.

1.8.2. Objetivos específicos

- Conocer el estado actual mediante un diagnóstico físico – ambiental con la finalidad de diseñar una estrategia de restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín.
- Determinar el potencial de regeneración del ecosistema mediante pruebas experimentales en parcelas de ensayo con la finalidad de establecer una estrategia de restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín.
- Realizar monitoreos con la finalidad de establecer indicadores de evaluación en el área piloto sujeta a restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín.

1.9. Hipótesis

1.9.1. Hipótesis general

Si se realiza una propuesta de restauración ecológica en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín, entonces se contribuirá con su recuperación.

1.9.2. Hipótesis específicas

- Si se realiza un diagnóstico físico – ambiental entonces se diseñará una estrategia de restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín.
- Si se conoce la forma de propagación de las especies en las parcelas experimentales de ensayo entonces se determinará el potencial de regeneración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín.
- Si se realizan monitoreos entonces se establecerán los indicadores necesarios para la evaluación del área sujeta a restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Definición de términos

A. Sucesión ecológica

Es un término aceptado por la mayoría de los especialistas en ecología para identificar los cambios temporales que se presentan en la estructura, la composición taxonómica y funciones de un ecosistema después de que fue perturbado (García & Martínez-Ramos, 2007).

Noriega (2016) señala que es el proceso gradual y predecible en el cual un ecosistema recupera sus atributos originales de composición, estructura y función, luego de una perturbación. Es decir, a medida que unas especies colonizan un lugar, transforman el ambiente y se reemplazan por otras.

B. Ecosistema

También conocido como sistema ecológico, está constituido por la comunidad y su entorno abiótico en forma conjunta, y constituye la unidad funcional básica en ecología; además, está compuesta por todos los elementos físicos, químicos y biológicos necesarios para sostener la vida en un espacio determinado (Andaluz, 2016).

Asimismo, es definido como un sistema dinámico relativamente autónomo formado por una comunidad natural y su medio ambiente físico que lo rodea. Cada ecosistema tiene sus propias especies, en donde se mantiene el equilibrio ya que cada especie utiliza una serie de diversos recursos y se adapta a ciertas condiciones concretas que constituyen el nicho ecológico. Por ejemplo, el bosque es un ecosistema que se compone de aire, suelo, agua, nutrientes y especies particulares de animales, pájaros, insectos, microorganismos, árboles y especies de flora. Si ciertos árboles son cortados, el resto de los elementos será afectado, ocasionando la pérdida de su hábitat, la erosión del suelo, desplazamiento de los nutrientes, cambio del curso de los cuerpos hídricos, entre otras consecuencias (Flohr, 2005).

C. Ecosistemas frágiles

Son considerados como el medio provisto de flora y fauna asociada que tiene una representatividad única para un determinado país y que se encuentran bajo una alta amenaza al ser susceptibles de perder su equilibrio por una intervención antrópica de pequeña a moderada magnitud. La flora y fauna que la habitan han evolucionado para adaptarse ante la progresiva disminución de su hábitat hasta niveles que ponen en peligro su existencia como población (Dirección de Conservación de la Biodiversidad Intendencia Forestal y de Fauna Silvestre, 2006).

D. Ambiente

Es un campo de planificación y gestión ambiental que se caracteriza por ser extenso, multifacético y maleable. Extenso porque incluye a la naturaleza y sociedad; multifacético porque abarca diversas perspectivas; y maleable, porque al ser extenso y multifacético es disminuido y ampliado de acuerdo con las necesidades o intereses de los involucrados (Sánchez, 2008).

Por su parte, en el artículo 2° de la Ley General del Ambiente se señala que el ambiente comprende a los elementos físicos, químicos y biológicos de origen natural o antropogénico que, en forma individual o asociada, conforman el medio en el que se desarrolla la vida, siendo los factores que aseguran la salud individual y colectiva de las personas y la conservación de los recursos naturales, la diversidad biológica y el patrimonio cultural asociado a ellos, entre otros (Diario El Peruano, 2005).

E. Recursos Naturales

Son aquella parte de la naturaleza que tiene utilidad actual o potencial para el hombre, es decir, son los elementos naturales que el ser humano aprovecha para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales, los cuales se clasifican en 2: (i) renovables; y (ii) no renovables. Los Renovables son usados de modo sostenible y se caracterizan por ser duraderos ya que tienen la

capacidad de autorenewarse, autoregenerarse o autodepurarse si no se excede su capacidad de carga; mientras que los No Renovables se caracterizan porque su aprovechamiento lleva indefectiblemente a la extinción de la fuente productora, ya que estos no se autorenewan (Andaluz, 2016).

Según Dourojeanni (1986), constituyen el patrimonio de los pueblos, su riqueza y heredad y el medio en que vive el hombre como especie. La (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1970) lo define como todo aquello que halla el hombre en su ambiente natural y que puede utilizar en beneficio propio. Es decir, están compuestos por los elementos bióticos y abióticos que conforman la naturaleza que sirven para que el hombre – de forma directa o indirecta- pueda satisfacer sus necesidades y deben ser aprovechados sin perjudicar al ambiente ni a las personas que los rodean (Vargas et al., 2017).

F. Restauración ambiental

Es un proceso de asistencia instrumentado y dirigido por el ser humano para disminuir o mejorar (incremento de la calidad ambiental) las condiciones de degradación (cambios graduales que reducen la integridad y salud ecológica), daño (cambio agudo y obvio de ecosistema) o destrucción (degradación o daño que remueve toda la vida macroscópica y arruina el medio físico) de los ecosistemas, a fin de conducirlos a un estado con mejores condiciones ambientales. En este proceso se trata de restablecer la estructura y funciones que permiten recuperar los servicios ambientales de suministro, regulación o culturales, e incluso la salud e integridad del ecosistema (Cervantes et al., 2008).

2.1.2. Restauración ecológica

La Universidad Nacional de Colombia (2011) se define como el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema degradado, dañado, o destruido. Es decir, consiste en el esfuerzo práctico que tiene la finalidad de recuperar de forma asistida las dinámicas naturales tendientes

a restablecer algunas trayectorias posibles de los ecosistemas históricos o nativos de una región determinada.

Dos Santos (2011) señala que es el proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido; en el que se recupera y mejora la funcionalidad de los ecosistemas y sus paisajes que abarcan suelos en producción agrícola y de tipo reservas naturales. Por su parte, Abouhamad et al. (2017) consideran a la restauración ecológica como el medio que propicia refugios naturales para -por ejemplo- los polinizadores que a su vez garantizarán este proceso a futuro y su repercusión en la producción de alimentos.

Fernández et al. (2010) señala que es una actividad intencional que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema nativo con respecto a su salud, integridad y sustentabilidad, es decir, es el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido.

Existen 3 formas básicas de restaurar un área degradada: i) recuperación, que consiste en volver a cubrir de vegetación al suelo con especies apropiadas, ii) rehabilitación, usando una mezcla de especies nativas y exóticas para recuperar el área; y iii) restauración, que está basada en restablecer en el lugar el conjunto original de plantas y animales con aproximadamente la misma población que antes. Asimismo, posee 6 mecanismos de acción, principalmente, entre otros: Sucesiones secundarias, Reforestación, Introducción de especies, Reintroducción de especies, Translocaciones y Corredores biológicos (Gálvez, 2002).

2.1.3. Importancia de la restauración ecológica

De acuerdo con SER (2004) la importancia de un ecosistema restaurado es que posee las características necesarias para contener un conjunto característico de especies de referencia que proveen una estructura apropiada de la comunidad, además cuentan con la posibilidad de albergar a todos los grupos funcionales necesarios para el desarrollo y/o la estabilidad continua del ecosistema o, si no, los grupos faltantes tienen el potencial de colonizar por medios

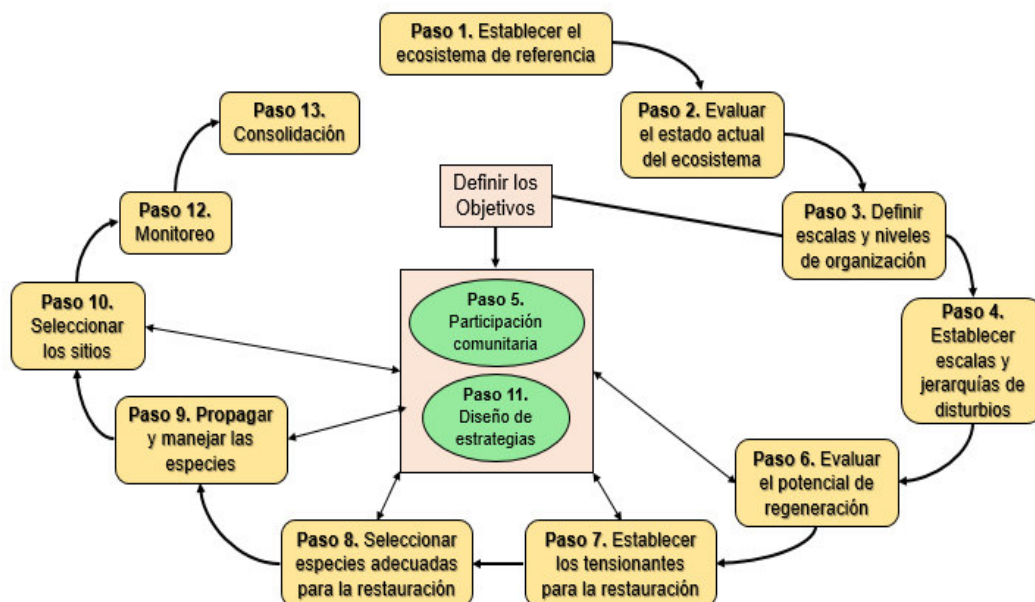
naturales. De igual manera, un ecosistema que ha sido restaurado puede llegar a integrarse adecuadamente con la matriz ecológica o el paisaje, con los cuales interactúa a través de flujos e intercambios bióticos y abióticos, además de que cuenta con las características necesarias para proveer de nuevos servicios ecosistémicos para las sociedades cercanas.

2.1.4. Procedimiento de la restauración ecológica

La Restauración de ecosistemas debe ser un componente primordial de los programas de protección, conservación y desarrollo sostenible para que puedan mantenerse los medios de subsistencia de la población que depende de estos ecosistemas degradados. A modo práctico, diversos autores han desarrollado el procedimiento para lograr la recuperación de los ecosistemas abandonados, degradados y en el peor de los casos extintos, los que han demostrado resultados de éxito:

Figura 1

Procedimiento de Restauración Ecológica



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia, 2011).

A continuación, se describirán los pasos a seguir citados por la (Universidad Nacional de Colombia, 2011):

Paso 1: El ecosistema de referencia es utilizado de modelo para planear un proyecto de restauración y su posterior evaluación; sin embargo, muchas veces no resulta fácil identificar este referente, pero la reconstrucción con base en la información de diferentes fuentes puede brindar mayor certeza de las condiciones previas anteriores a los disturbios.

Paso 2: Se realiza una evaluación de las condiciones previas y actuales del ecosistema. En esta fase se empieza a obtener evidencia del problema para precisar posteriormente los objetivos de restauración.

Paso 3: Los proyectos de restauración ecológica abarcan diversos niveles de organización, desde poblaciones de especies y comunidades a ecosistemas o paisajes.

Paso 4: Todos los ecosistemas están sujetos a un régimen de disturbios ocasionados de forma natural y por el hombre, cuya combinación establece una dinámica espacial y temporal en los paisajes. Por ejemplo, algunos ecosistemas presentan un régimen de disturbio complejo que incluye incendios, pastoreo y disturbio del suelo por animales; donde cada uno difiere en escala, frecuencia e intensidad.

Paso 5: La restauración ecológica es una actividad que se presenta a diferentes escalas espaciales y temporales en las cuales los disturbios antrópicos cumplen un rol importante en cualquier escala que se elija.

Paso 6: Hace referencia a la disponibilidad de especies en la región, su ubicación, abundancia y etapa sucesional; por lo cual, el potencial de regeneración se define como el conjunto de especies nativas y trayectorias sucesionales que ofrece un paisaje.

Paso 7: Los tensionantes o barreras a la restauración ecológica son los factores que impiden, limitan o desvían la sucesión natural en áreas alteradas por disturbios ocasionados de forma natural y por el hombre.

Paso 8: La selección de especies para la restauración es un aspecto muy significativo, debido a que el éxito de los proyectos depende de la capacidad para esta selección.

Paso 9: Una vez elegidas las especies se presenta el problema de la consecución de material, ya que muchas especies no se consiguen en viveros locales, o las cantidades resultan insuficientes para las necesidades del proyecto.

Paso 10: La selección de los sitios a restaurar, o donde se pretenden realizar experimentos, debe hacerse diligentemente. En esta fase se tiene conocimiento de lo que sucede a diferentes escalas, principalmente como actúa el régimen de disturbios naturales y antrópicos.

Paso 11: Se plantean 5 conjuntos de estrategias para superar los tensionantes.

Paso 12: El monitoreo consiste en el seguimiento y evaluación continua de los cambios que sufre el ecosistema, bajo diferentes tratamientos de restauración aplicados. Tiene como objetivo final asegurar su viabilidad, ya que brinda la información necesaria para evaluar y ajustar las prácticas de restauración, que pueden ser modificadas en cualquier momento. En la siguiente tabla se muestran algunos indicadores biofísicos para el monitoreo de la restauración de bosques:

Tabla 1

Indicadores Biofísicos para el Monitoreo de la Restauración

Metas	Protección del suelo y fertilidad	Estructura de la vegetación	Autenticidad biológica
Corto plazo	Aumento de la cobertura del suelo con plantas vivas o residuos vegetales.	Sobrevivencia de plantas sembradas.	Aumento en la cobertura, biomasa o abundancia de especies vegetales nativas o reducción de la cobertura, abundancia o biomasa de plantas exóticas.
Mediano plazo	Aumento de materia orgánica, carbono orgánico, actividad biológica, estabilidad de agregados o retención de humedad en el suelo.	Sobrevivencia de plantas sembradas. Cambios en la distribución diamétrica y alturas de la vegetación, área basal, cobertura dosel, densidad de estratos foliares, densidad de tallos y volumen total de vegetación.	Cambio del número de especies nativas que se establecen a partir de la regeneración natural. Reclutamiento de plantas con grandes semillas.
Largo plazo	Cambios en los parámetros físicos y químicos del suelo.	Cambios en la distribución diamétrica y de alturas de vegetación, área basal, densidad de estratos foliares, densidad de tallos y volumen total de vegetación.	Reemplazo de especies pioneras y secundarias por especies tolerantes a la sombra. Aumento en el número de especies de plantas epífitas y lianas.

Fuente: (Aguilar-Garavito & Ramírez, 2015).

Paso 13: La consolidación de un proyecto de restauración se basa en haber superado los tensionantes y que el ecosistema marcha de acuerdo con los objetivos planteados. Las labores de mantenimiento y monitoreo deben indicar que el proceso camina de forma satisfactoria y el ecosistema empieza a mostrar indicadores de autosostenimiento, tales como enriquecimiento de especies, recuperación de fauna, restablecimiento de servicios ambientales relacionados con calidad del agua y suelo, otros.

2.1.5. Beneficios de la recuperación de ecosistemas

Según Rey (2009), los principales beneficios de la restauración ecológica son:

Tabla 2

Beneficios de la Restauración Ecológica

ID	Descripción
1	Contribuyen a mitigar la pérdida de la biodiversidad global.
2	Promueven la recuperación de los servicios ecosistémicos, tales como la mejora de la calidad del agua y el almacenamiento del carbono.
3	Beneficia la calidad de los servicios ecosistémicos, ya que pueden actuar como un motor en la economía y ser fuentes de empleo verde, por lo que los resultados proporcionan a las autoridades un incentivo importante para restaurar los ecosistemas degradados.
4	Contribuyen a la reducción de la degradación ambiental causada por la actividad humana.
5	Contribuyen a la descontaminación de ambientes altamente degradados mediante -por ejemplo- la reintroducción deliberada de especies nativas que han sido pérdidas, y consecuentemente permiten la eliminación o control de los efectos dañinos, e invasivas especies exóticas en la mayor medida posible.

Fuente: (Rey Benayas, 2009).

2.1.6. Factores ambientales para la restauración ecológica

A. Oferta ambiental

De acuerdo con Garibello (2003) la oferta ambiental son los factores que influyen al ambiente, específicamente a la biota de la zona. Comprendiendo los factores climáticos, edáficos, paleoecológicos, entre otros, siendo los de mayor relevancia:

- **Temperatura**

Al respecto, se debe conocer el ciclo anual y diario. Los sitios menos propensos a amplias oscilaciones diarias representan focos de restauración, mientras que lugares expuestos a la radiación solar o a corrientes de viento, son más difíciles de tratar (Vargas, 2007)

- **Humedad atmosférica**

De esta variable se debe tener en cuenta el ciclo anual y el ciclo diario. Además de identificar los núcleos de condensación, pasos de niebla como focos de humedad, descampados, y laderas expuestas como sitios atmosféricamente secos (Garibello, 2003). Según Vargas (2007) con la finalidad de establecer tratamientos, entre más seco sea el lugar, los ecosistemas son más frágiles y el deterioro es más rápido debido al déficit hídrico que hace lenta la regeneración, limitando la capacidad de carga.

- **Precipitación**

Debe considerarse cantidad y distribución a lo largo del año o un periodo prolongado de años. Menores valores y estacionalidad más marcada están asociadas con el déficit hídrico, y por consiguiente, con limitantes en la restauración (Garibello, 2003).

B. Los factores edáficos

Los factores edáficos influyen sobre la productividad de los ecosistemas. Estos se pueden agrupar bajo las categorías siguientes:

- **Drenaje**

Influye mucho la textura sobre el movimiento y disponibilidad de humedad en el suelo, aireación, disponibilidad de nutrientes y resistencia a la penetración por las raíces.

- **Fertilidad**

Podemos identificar a la materia orgánica, la cual favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación con las arcillas, que incrementa la retención de agua. Por otro lado, se tiene a la capacidad de intercambio catiónico

y la profundidad; esta última es una condicionante para el desarrollo de las raíces y la disponibilidad de humedad y nutrientes. Los suelos superficiales son susceptibles a la erosión.

C. Potencial biótico

Refiriéndose al potencial biótico de una especie, este no es constante, sino que varía en función de las condiciones del medio, los que resultan afectados por el incremento poblacional (condiciones de laboratorio) pues al compararlo con el potencial biótico real (en condiciones naturales) se logra una estimación de la resistencia ambiental (Morlans, 2004).

- **Insitu**

Son los mecanismos de regeneración de los que depende la sucesión y durante el proceso de restauración pueden potenciarse diferencialmente según el nivel de alteración del sitio. De acuerdo con (Garibello, 2003) se tienen las siguientes vías: (i) banco de semillas: que está constituido por la acumulación de semillas latentes en el suelo, como también de las que aún permanecen en los frutos.

Según Vargas (2007) es la vía más importante para la regeneración de especies pioneras, salvo en ecosistemas deteriorados o sustratos degradados que hayan sido a actividades antrópicas durante largos periodos de tiempo. (ii) las lluvias de semillas, que es la dispersión de estas en el campo, (iii) el banco de plántulas y (iv) los rebrotes.

- **Exsitu**

No pertenecen al ambiente original, pueden ser de otra zona de similares características (Vargas, 2007). Un caso especial, pueden ser aquellos fragmentos de ecosistemas que no pertenecen al área original, pero que, al transcurrir el disturbio, los efectos que se dan en los bordes de los fragmentos hacen que estos puedan sufrir modificaciones que imposibiliten una regeneración simple; considerando por este criterio como una vía ex situ para la restauración (Garibello, 2003).

D. Medio socioeconómico

Conforme se establecen las condiciones físicas y bióticas del área a intervenir, se debe establecer cuál es el contexto socioeconómico que la rodea y de qué manera este puede influir en la planificación, ejecución y seguimiento. En muchas ocasiones se propone aislar la zona a restaurar como un intento de conservación impidiendo que los propietarios privados o comunitarios hagan uso del territorio; y con esta clase de acción se suele generar resistencia por parte de la comunidad.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

El método es un procedimiento y proceso lógico que es formulado con la finalidad de lograr la adquisición de conocimientos en los aspectos teórico y experimental (Hernández & Mendoza, 2018). En ese sentido, el método de la presente investigación científica es **empírico, inductivo y deductivo**, ya que está basada en evidencias verificadas en campo y se pone a prueba una hipótesis.

Es de diseño experimental, debido a que se realizarán acciones para después observar sus consecuencias (Hernández & Mendoza, 2018). En la presente investigación se establecerán parcelas de ensayo a fin de monitorearla y obtener la mejor forma de propagación de especies para la restauración ecológica.

- **TIPO:**

- **Exploratorio**, debido a que no se cuenta con investigaciones respecto de la restauración ecológica en ecosistemas de Lomas costeras.
- **Transeccional**, porque la evaluación se realizó en un tiempo puntual.

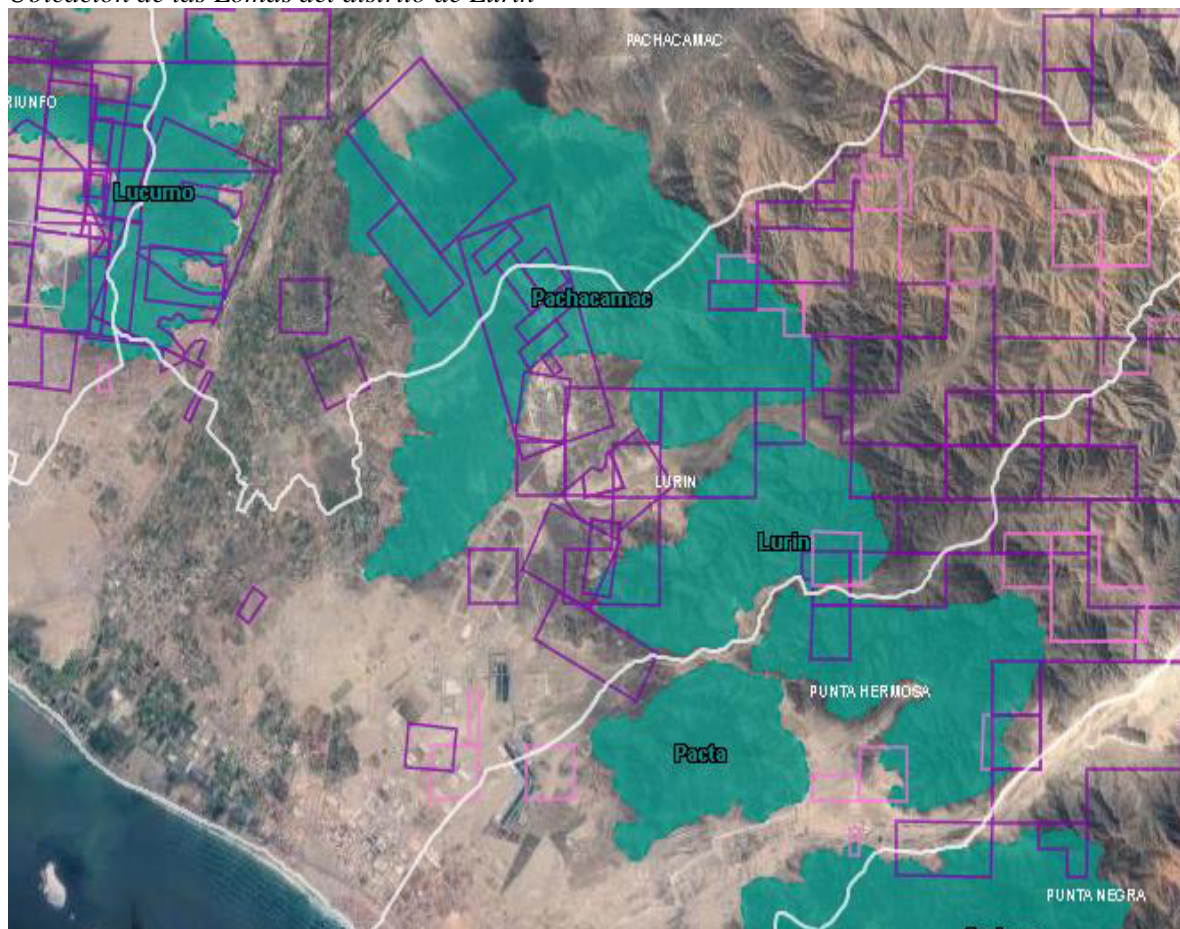
- **NIVELES:**

- **Explicativo**, porque se evaluarán los datos e información obtenida en campo referida al estado actual del ecosistema de Lomas contribuyendo a la comprensión de su dinámica actual.
- **Descriptivo**, ya que se miden, evalúan y recopilan datos sobre las variables problema a investigar, en una circunstancia temporal - espacial determinada.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Se ha considerado como población a las Lomas del distrito de Lurín con una extensión de 1372.05 Ha, perímetro de 17 977.3 m, con altitudes que van desde los 260 hasta 800 m.s.n.m.

Figura 2*Ubicación de las Lomas del distrito de Lurín*

Fuente: Portal GEOLOMAS 1.O.

3.2.2. Muestra

La muestra se eligió mediante el método de muestreo no probabilístico, el cual es establecido por el criterio del investigador.

El área de restauración corresponde al ecosistema de Lomas del Botadero 500 Cantera Cristina, el cual tiene un área aproximada de 9 ha; sin embargo, para los trabajos de restauración a aplicar solamente se ha seleccionado un área aproximada de 5 ha (Figura 3), la zona es una ladera que contiene material de desmonte proveniente de formaciones de piedra caliza de diferentes dimensiones que van desde material particulado hasta fragmentos mayores a 1m de diámetro aproximadamente.

Figura 3*Localización del Botadero 500-Cristina*

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Variables independientes y dependiente del primer objetivo

Tabla 3*Variables del Primer Objetivo*

Dimensión	Variable dependiente	Variable independiente	Indicadores
Medio físico	Diagnostico físico-ambiental	Información cartográfica	Numero de cuadrantes
		Mapas temáticos	Numero de mapas
		Información satelital	Pixeles
		Vías de acceso	Numero de rutas
		Sustrato	m ³
		Estabilidad física	Peso específico (KN/m ³)
		Inventario biológico	Cohesión (Kpa)
Meteorología			Ángulo de fricción
			Número de especies
			Mm
			°C
			% HR

3.3.2. Variables independientes y dependiente del segundo objetivo

Tabla 4

Variables del Segundo Objetivo

Dimensión	Variable dependiente	Variable independiente	Indicadores
Ecosistema de Lomas	Potencial de regeneración del ecosistema	Parcelas de ensayo	m ²
		Abundancia	Número de individuos
		Topsoil	m ²
		Germinación de semillas	%
		Cobertura	%
		Riqueza	Especies/parcela
		Humedad	%
		Temperatura	°C
		Semillas de campo	gr

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Variables independientes y dependiente del tercer objetivo

Tabla 5

Variables del Tercer Objetivo

Dimensión	Variable dependiente	Variable independiente	Indicadores
Seguimiento periódico	Monitoreos del proceso de restauración	Evaluaciones mensuales	Número de evaluaciones
		Abundancia	Número de individuos
		Altura de especies	cm
		Cobertura	%
		Especies invasoras	Número de especies
		Riqueza	Especies/parcela
		Especies exóticas	Número de especies
		Índice de diversidad Shannon	bits/individuo
		Cobertura afectada por plagas	%

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Instrumentos

La obtención de información de datos de campo se hará efectiva mediante una libreta que permita apuntar los nombres de las especies cuando se realice el inventario biológico.

Los depósitos para recoger las muestras de suelos, que serán analizadas en el laboratorio.

Cámara fotográfica para registrar las especies encontradas en el inventario biológico, el estado actual del área de estudio, y todas las actividades que se realizaran en campo.

El Dron, es un instrumento que permite la captura de información de la superficie del área de estudio con la finalidad de obtener una ortofoto que represente de forma muy precisa el

terreno a estudiar. Brinda datos de topografía que serán de utilidad en los estudios de estabilidad física.

3.4.1. Información cartográfica

Para el reconocimiento y previo trabajo de gabinete se usaron las hojas proporcionadas por el Instituto Geográfico Nacional, las cuales son mencionadas en la tabla, contando con una escala de 1: 100 000.

Tabla 6

Cartas Nacionales

Cuadrante	Nombre	Escala	Fuente
25-j	Pachacamac	1/100,000	I.G.N.

Fuente: Elaboración propia.

Dicha información fue obtenida del portal de información espacial del Ministerio de Educación (Minedu): <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>

Mapas temáticos:

- Mapa de la red vial, caracterizado y realizado en base a una red de datos actualizada al 2014 por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a escala de 1/400 000.
- Mapa geológico nacional, diseñado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet) a una escala de 1/100 000.
- Mapa geomorfológico, diseñado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet) a una escala de 1/100 000.
- Mapa ecológico, elaborado y digitalizado por la Oficina Nacional de Evaluación de los Recursos Naturales (Onern) a una escala de 1/100 000.
- Mapa de ecosistemas, elaborado por el Ministerio Nacional del Ambiente (Minam) a una escala de 1/100 000.

3.4.2. Información satelital

Para realizar la completación de datos inexistentes y trabajar a una mejor resolución, se hizo uso de modelos de elevación digital (*Digital Elevation Model - DEM*) ALOS PALSAR

con una resolución nativa de 30 m y 12,5 metros remuestreados a nivel mundial y de manera multitemporal, con un periodo de revisita de 46 días.

Tabla 7

Modelos de Elevación Digital

Producto	Código	Resolución	Path	Frame
Alos Palsar	ALPSRP077906940	12,5 m	111	6940

Fuente: Elaboración Propia.

Esta información fue descargada del portal de descarga Alaska Vertex de la NASA, siendo el enlace de descarga el siguiente <https://search.asf.alaska.edu/#/?flightDirs=>

a. Información Hidrometeorológica

Se utilizaron con la finalidad de representar las condiciones climatológicas de la zona durante el periodo 1981 – 2016, base que fue recopilada del Senamhi, mediante sus registros de la base de datos grillada PISCO (*Peruvian Interpolation data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations*) del siguiente enlace: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/>). Además, se utilizó información de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio.

Tabla 8

Equipos y materiales

ID	Características	Unidad	Cantidad
1	GPS	Unidad	1
2	Cámara fotográfica	Unidad	1
3	Binoculares	Unidad	1
4	Estacas de madera	Unidad	120
5	Driza delgada	Rollo	2
6	Cinta flaggins	Rollo	3
7	Cinta Métrica 50 m	Unidad	1
8	Manguera de riego por goteo	Rollo	1
9	Isotanque	Unidad	1
10	Frascos blancos boca ancha	Unidad	100
11	Silica gel	Kg	1
12	Ratillos	Unidad	2
13	Picos	Unidad	2
14	Palas de cuchara	Unidad	2
15	Sacos	Unidad	30
16	Carretillas	Unidad	5
17	Gavetas de cosecha	Unidad	6
18	Bosas de papel	Ciento	2
19	Tijeras de podar pico de loro	Unidad	2
20	Machete samurai	Unidad	2

21	Lima bellota	Unidad	1
22	Punzones	Unidad	1
23	Llaves	Unidad	3
24	Baldes	Unidad	3
25	Regaderas	Unidad	1
26	Guantes de Trabajo	Pares	10
27	Taper pezziduri 1/2L	Unidad	50
28	Bandejas amarillas	Unidad	30
29	Shampo	Litro	1
30	Sal	Kilo	1
31	Libreta de Campo	Unidad	3
32	Lápiz	Unidad	2
33	Tablones de madera de 1.5 m y 4.0 m	Unidad	30
34	Plumones marcadores	Unidad	2

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Procedimientos

3.5.1. Procedimiento para el primer objetivo

Corresponde al diagnóstico físico-ambiental, el cual se va a realizar, tomando en cuenta la topografía, tipo de sustrato, relieve, vías de acceso, disponibilidad de Topsoil, evaluación biológica de un ecosistema de referencia, evaluación física y social a partir del cual se ha diseñado una estrategia de restauración ecológica del botadero 500 Materia de estudio. Se establecerán las principales dinámicas de cambio de la desmontera 500 de la Cantera Cristina, la composición del suelo y su estabilidad. Se determinó las condiciones limitantes en el restablecimiento de la vegetación nativa. Se seleccionó el área a instalar las parcelas de ensayo; así como la determinación del área referencial y en él las parcelas referenciales perennes con la finalidad de seguir la temporalidad de lomas; evaluando la estructura, funcionalidad y servicios ecosistémicos en temporada húmeda. Por otro lado, se utilizó técnicas de geoprocésamiento mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) usando el software QGIS con la finalidad de elaborar los mapas temáticos de las principales características del área de estudio.

Por otro lado, la caracterización de los suelos se llevó a cabo mediante un trabajo de campo, laboratorio y gabinete. Se realizó inspecciones visuales, así como toma de muestras de suelo, con la finalidad de evaluar el componente edáfico y su implicancia en las actividades de

restauración de la Desmontera 500. Se tomaron un total de 9 muestras para su respectivo análisis fisicoquímico al laboratorio, de las cuales ocho (08) de ellas fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelos aguas y fertilizantes y una (01) muestra fue enviada al laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego, ambos laboratorios pertenecen a la Universidad Nacional Agraria La Molina. Con estos resultados se procedió a desarrollar la caracterización del tipo de suelo. Los métodos de ensayo realizados se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 9

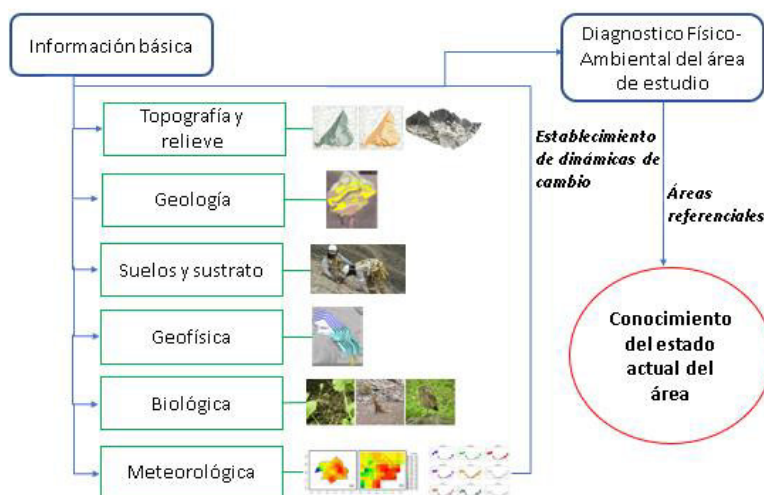
Métodos de análisis de suelos

Análisis	Método de Ensayo
Textura	Hidrómetro
Conductividad eléctrica	Lectura del extracto de relación suelo-agua 1:1
Reacción o pH	Potenciométrico
Calcáreo total (Carbonatos)	Gasovolumétrico (Calcímetro)
Materia Orgánica	Walkley y Black
Fósforo disponible	Olsen modificado
Potasio disponible	Extractor Acetato de Amonio 1N pH 7,0
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de Amonio 1N pH 7,0
Bases cambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio)	Determinaciones en extracto amónico
Acidez cambiable	Espectrofotometría de absorción atómica
	Cloruro de Potasio 1N

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2020.

Figura 4

Esquema metodológico para el desarrollo del objetivo 1



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo la información básica para elaborar el diagnóstico del área de estudio, se establecerá cual es el área de referencia a fin de establecer una propuesta de restauración.

a. Establecimiento y evaluación del área control o de referencia

La finalidad de establecerla es para poder plantear la propuesta de restauración y posteriormente realizar los monitoreos respectivos. Es importante establecerlo ya que provee información base que puede dar mayor certeza de las condiciones anteriores a los disturbios a fin de encaminar correctamente las estrategias de restauración.

3.5.2. Procedimiento del segundo objetivo

Corresponde a evaluar el potencial de regeneración. Esto se refiere a conocer la disponibilidad de especies en la región, su ubicación etapa sucesional y abundancia. En esta fase se deberá tener una aproximación a las especies pioneras, las especies sucesionales tardías, especies dominantes y codominantes, y aquellas especies con uso potencial en experimentos de restauración.

a. Inventario y clasificación de especies

Luego de realizar el inventario de la composición de especies, se debe hacer una clasificación de especies y una clasificación de las etapas sucesionales para tratar de definir la estructura de las especies dominantes en el ecosistema histórico y en diferentes trayectorias sucesionales producto de diferentes regímenes de disturbios (esta información se obtiene a partir de los monitoreos históricos de un área de referencia).

Para el caso de especies con potencial uso en experimentos de restauración se deberán realizar ensayos para clasificar las especies de lomas en estacionales y no estacionales que permita la obtención de semillas que demandara la restauración del área del proyecto. Estos ensayos deberían ser desarrollados e implementados en campo como en vivero.

b. Disponibilidad de sustrato

El sustrato es de vital importante para la fijación de las plantas y también es proveedor de macro y micronutrientes. Para ello, se deberá identificar el grosor de la capa orgánica del

ecosistema de referencia. En este paso se deberá identificar dentro de la Unidad Minera accesos y cúmulos de sustrato de donde se pueda obtener para la restauración.

c. Parcelas de ensayo

Se ubicará un área con ladera considerando el ángulo de inclinación, para la instalación de parcelas de ensayo de restauración, las cuales estarán conformadas por cuadrados de un metro de lado, distribuidas en forma sistemática en un área de influencia de 800 m² aproximadamente. Se ha realizado un trabajo de campo previo con la finalidad de tener un aproximado de la superficie que se puede utilizar para las pruebas. Esto fue posible gracias a consulta a expertos, de la cual se tomaron propuestas de tratamientos a aplicar en las parcelas y que a continuación se detallan.

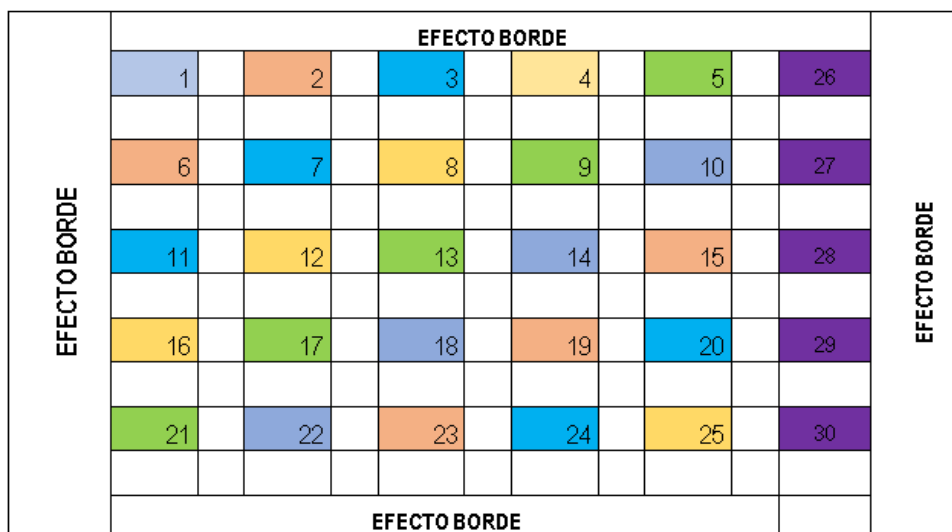
- T1: 5 parcelas de 1 m² sin incorporación de suelo superficial ni semillas (Control).
- T2: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial, sustrato, con incorporación de broza y semillas de campo.
- T3: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial, sustrato con incorporación de lluvia de semillas colectadas de loma.
- T4: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial donde se sembrará en surcos u hoyos las semillas de campo e hidrogel.
- T5: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial con siembra de semillas seleccionadas en vivero.
- T6: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial, sustrato, semillas de campo, broza y riego con solución de macro y micronutrientes

Las parcelas serán ubicadas con una separación equidistante entre ellas de 4 m y en cada una de ellas se acondicionará el material litológico superficial existente con el objetivo de evitar el deslizamiento debido a la fuerte pendiente de la ladera. Cada parcela será codificada con la finalidad de realizar las evaluaciones post tratamiento: germinación, riqueza cobertura.

También se considerará el efecto borde por lo que las parcelas de ensayo deberán estar alejadas de la cobertura vegetal natural de lomas con una distancia promedio de 5 m.

Figura 5

Diseño de parcelas de ensayo

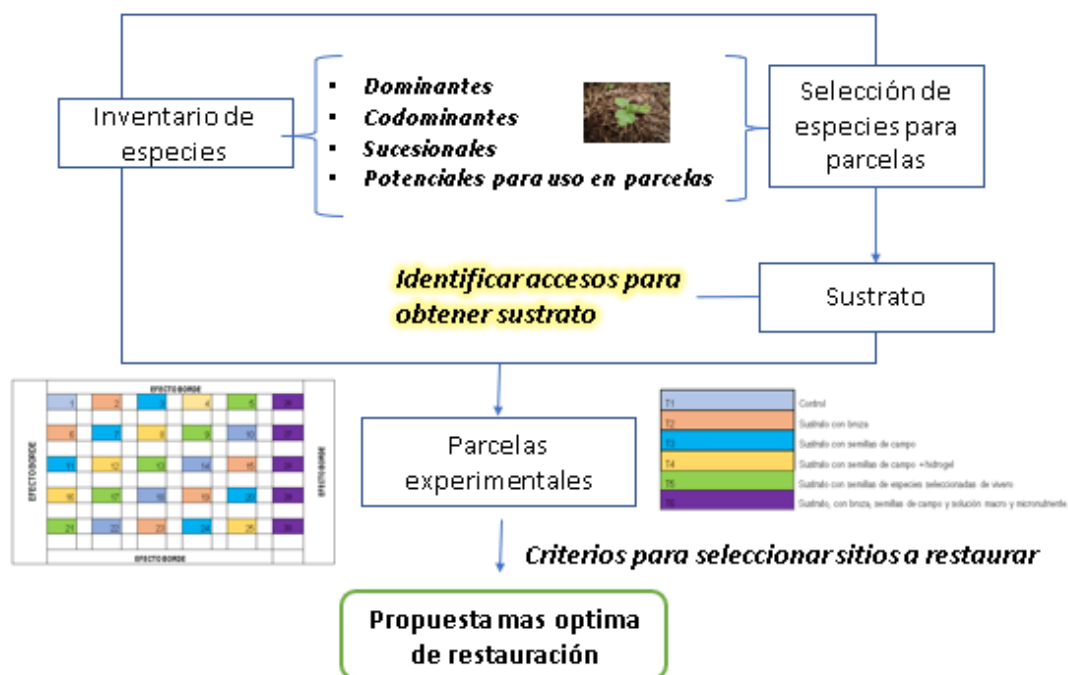


Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el esquema de los procedimientos planteados para la resolución del segundo objetivo de la investigación.

Figura 6

Esquema metodológico para el desarrollo del objetivo 2



Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Procedimiento del tercer objetivo

En el proceso de restauración, es necesario diseñar un sistema de seguimiento del área sujeta a restauración, dejando claramente establecidos los indicadores que resultan más apropiados para la escala y tipo de caso que se trae y un método estándar para medir sus variaciones referidas al espacio y tiempo.

Se ha mantenido un seguimiento puntual de la llegada de especies exóticas invasoras al área de restauración, procurando evitar su establecimiento por todos los medios posibles.

Con la información colectada durante el proceso se puede replantear nuevamente el modelo y se evaluar indicadores de éxito que se deben de diseñar y evaluar a lo largo del proceso. En este punto, a sugerencia de expertos, se ha propuesto los siguientes indicadores a evaluar:

- Evaluaciones semanales
- Abundancia
- Cobertura
- Riqueza de especies
- Altura
- Especies invasoras y exóticas
- Presencia de plagas

Sin embargo, cuando ya nos encontremos en esta etapa de desarrollo, no se descarta poder incluir otros indicadores con la finalidad de hacer más robusto el monitoreo y por consiguiente el proceso de restauración como tal.

3.6. Análisis de datos

Los análisis realizados en campo serán procesados en excel 2017, y se realizarán: diagramas de cajas, gráficos simples y múltiples, gráficos de dispersión para observar la correlación que pueda existir entre algunas variables.

Determinación del número de parcelas

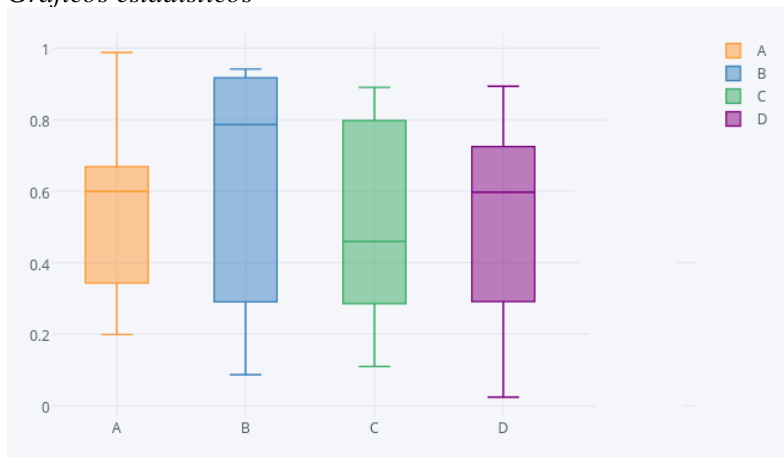
La mayoría de las pruebas estadísticas consideran para esta estimación 3 parámetros fundamentales para determinar el número adecuado de muestras:

- Normalidad, Independencia y Homogeneidad de la varianza en la variable de entrada para el diseño (Schmidt 2005, Clifford y Taylor 2008).
- Las tablas estadísticas sobre las cuales se contrastan estas pruebas asumen un mínimo de 30 observaciones.
- Teniendo en cuenta que las unidades muestrales son parcelas permanentes de monitoreo, en ausencia de otra información el número de parcelas recomendadas por tipo de ensayo sería 30 (Goldsmith et al. 1986).

Los gráficos estadísticos desarrollados en la investigación se realizaron en Python y corresponden a Boxplot, mediante la librería matplotlib. También se realizaron gráficos de frecuencia para las variables de riqueza de especies, altura de especies, etc.

Figura 7

Gráficos estadísticos



IV. RESULTADOS

4.1. Diagnóstico Físico-Ambiental de la desmontera 500 UM Cristina

4.1.1. Ubicación y accesibilidad

El botadero 500 de la Unidad Minera Cristina, se ubica en el distrito de Villa María del Triunfo, provincia y departamento de Lima, situada a una altitud promedio de 380 msnm. Geográficamente, se localiza en la costa, específicamente en la cuenca del río Lurín, dentro del flanco izquierdo, en la quebrada Pucará. Su acceso es mediante la carretera Panamericana Sur hasta Lurín.

Figura 8

Ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Vías de acceso al área de estudio

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo aproximado
Lima – Desvío Pachacamac	Asfaltado	35	50 minutos
Antigua Panamericana Sur - Pachacamac	Afirmado	5	15 minutos
Pachacamac – Botadero 500	Trocha	7	20 minutos

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Mapa de ubicación del ecosistema Lomas Costeras - Lurín

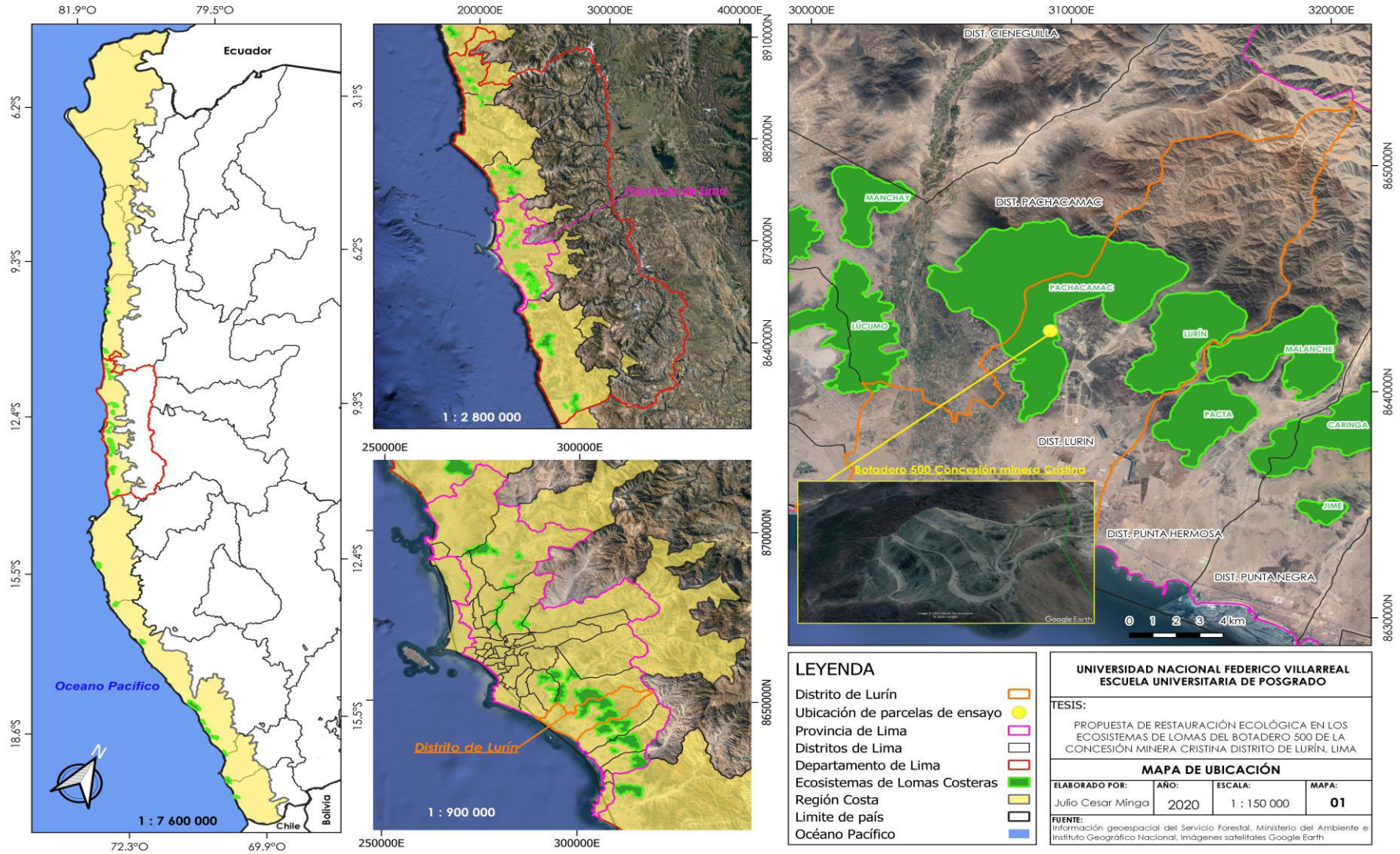
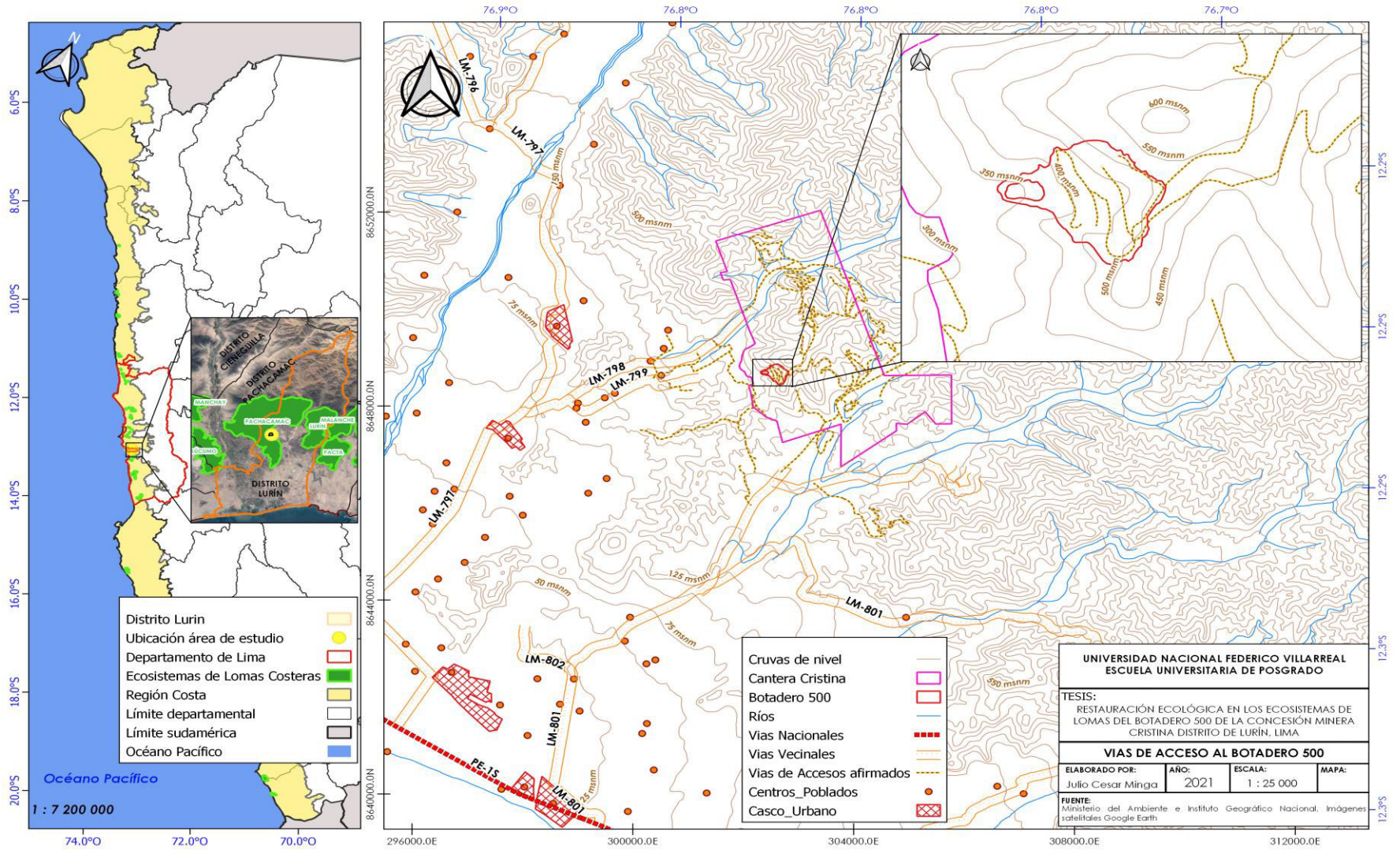


Figura 10

Mapa de vías de acceso al botadero 500 - Lurín



4.1.2. Geología

4.1.2.1. Geología Regional

Está localizado en el extremo inferior de las estribaciones de la Cordillera de los Andes, donde se observa el afloramiento de Botaderos de rocas sedimentarias y volcánicas, descritas de la más antigua a la más reciente. En la Tabla 9, se muestran las formaciones geológicas del área de estudio.

Tabla 11

Geología regional de la zona de estudio

N°	Formación geológica	Símbolo	Descripción
1	Marcavilca	Ki-Ma	Aflora en el flanco derecho de la quebrada Pucará, en el cerro El Sauce. La litología de esta unidad consiste de areniscas cuarzosas grises, que se intercala con estratos delgados de limonitas.
2	Pamplona	Ki-Pa	Aflora en la extensión del Botadero 500 y los cerros que separan las quebradas de río Seco y Pucará, consiste de lutitas y limolitas abigarradas, finamente estratificadas y con intercalaciones de calizas y margas.
3	Atocongo	Ki-At	Es de origen calcárea y aflora en la extensión del área de estudio, litológicamente consiste en calizas de color gris claro, masiva y de textura micrítica. En la base de esta formación se nota la presencia de estratos delgados.
4	Chilca	Ki-Chil	Esta formación está compuesta por tobas líticas de color gris verdoso a gris amarillento, grano muy fino, brechas piroclásticas y areniscas volcánicas bien estratificadas.
5	Volcánico Quilmaná	Ki-Q/Lav	Aflora en los cerros Peñagaga y Conejo al sureste del área de estudio y en ambos flancos del sector medio de la quebrada Pucará. Está compuesta por secuencias de bancos gruesos de andesita gris a gris verdosa, textura porfirítica con variaciones afanítica y pseudoestratificada con orientación Noroeste y buzamiento 10°-20° al Noroeste y con presencia de silicificación por los efectos de la intrusión de los cuerpos del Batolito Andino.
6	Súper Unidad Patap/Diorita	Ks-Pt/Di	Esta súper unidad plutónica de color gris verdoso, de grano grueso, estructura masiva y dura, aflora en ambos flancos del río Seco en forma de pequeños stocks que instruyen a las Formaciones Atocongo, Chilca y Quilmaná. Suprayaciendo se encuentra los Botaderos cuaternarios no consolidados de origen residual y aluvial, así como los Botaderos antrópicos producidos durante la explotación de las canteras.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Geología local

Presentan secuencias sedimentarias del cretáceo inferior claramente observable en el estrato basal. Está en la unidad litográfica de Formación Atocongo, que consiste de calizas

masivas de color gris y grano fino, donde existen estratos de calizas arcillosas a margas e intrusiones de diques andesíticos. La Formación Atocongo subyace a la Formación Pamplona, cuya naturaleza consiste en intercalaciones de calizas, margas y limolitas abigarradas.

Las rocas sedimentarias del cretáceo afloran en bancos gruesos con intercalaciones de capas delgadas, que presentan secuencias de deformaciones tectónicas manifestado por numerosas fallas locales y una incipiente foliación. Están constituidas por calizas masivas que conforman terrenos aceptables para la ubicación de obras de ingeniería, teniendo su mayor distribución dentro del área de estudio. También se han identificado Botaderos cuaternarios, los cuales están conformados por Botaderos aluviales y residuales, los cuales se describen a continuación:

- **Botaderos aluviales:** Se presentan en el cauce colgado de la quebrada Río Seco y San Fernando” de larga extensión, constituidos por fragmentos subanguloso de bloques en matriz areno limosos con gravas en estado muy denso.
- **Botaderos residuales:** Se presentan mayormente en el botadero 500 y corrimientos laterales en laderas, constituidos por acumulaciones de sedimentos clásticos mal clasificados, con clastos gruesos, mayormente subangulosos, con una matriz limo-arenosa.

4.1.2.3. Geología estructural

En el área estudiada han sido definidos rasgos estructurales que se enmarcan en sistemas de lineamientos de fallas paralelas, con orientación NO-SE, fracturas y sistema de diaclasamiento producto de la actividad tectónica, siendo los principales sistemas: NO-SE y NE-SW.

El control estructural presenta un sistema de fallas paralelas de orientación Noroeste-Sureste, similar al alineamiento de los Andes, las fallas menores que ponen en contactos las formaciones Atocongo y Pamplona cruzan el Cerro Lomas de Pucará y las formaciones Chilca en el flanco derecho de la quebrada Río Seco. Además, se presentan fases de intrusión que

forman parte del batolito de la Costa, identificado como Súper unidad Patap, intrusión a las Formaciones Atocongo y Chilca como stocks, donde los mayores efectos de la intrusión han sido la deformación de las calizas con el consiguiente cambio brusco de los buzamientos de los estratos y alteración hidrotermal que ha dado origen a cuerpos de skarn en la zona de contacto. Durante la etapa del levantamiento geológico de campo no se observaron planos de fallas tectónicas activas de extensión local.

4.1.3. Geomorfología local

Se han identificado unidades geomorfológicas, en cuyo modelado externo han participado agentes como el clima y las corrientes fluviales, Las geoformas del área de estudio están marcadas por la actividad tectónica del batolito andino y rasgos estructurales, y por los subsiguientes procesos de meteorización y deposición, debido a la actividad del río seco. Estas geoformas identificadas en la zona de estudio se describen a continuación:

Tabla 12

Geomorfología local de la zona de estudio

N°	Unidad geomorfológica	Descripción
1	Colinas alineadas	Constituyen colinas alargadas orientadas de suroeste a noreste, presenta elevaciones desde 260-480 msnm. Ambos flancos presentan moderada pendiente y se encuentran limitadas por quebradas, donde el extremo noreste de la colina termina en la base de otro cerro de mayor altitud.
2	Laderas	Esta morfología se distingue en orientación longitudinal a la quebrada Río Seco y tributarios; además, presenta flancos pronunciados y fondo amplio en ambos márgenes de la quebrada. Su configuración sugiere una fuerte actividad de erosión/deposición en periodos anteriores que originó una rápida profundización y subsiguiente colmatación en un ambiente desértico de interfluvios. Asimismo, el relieve refleja modificaciones antrópicas, como resultado de depresiones confinadas, observados en las cortes del tajo.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

Mapa geológico de la zona de estudio

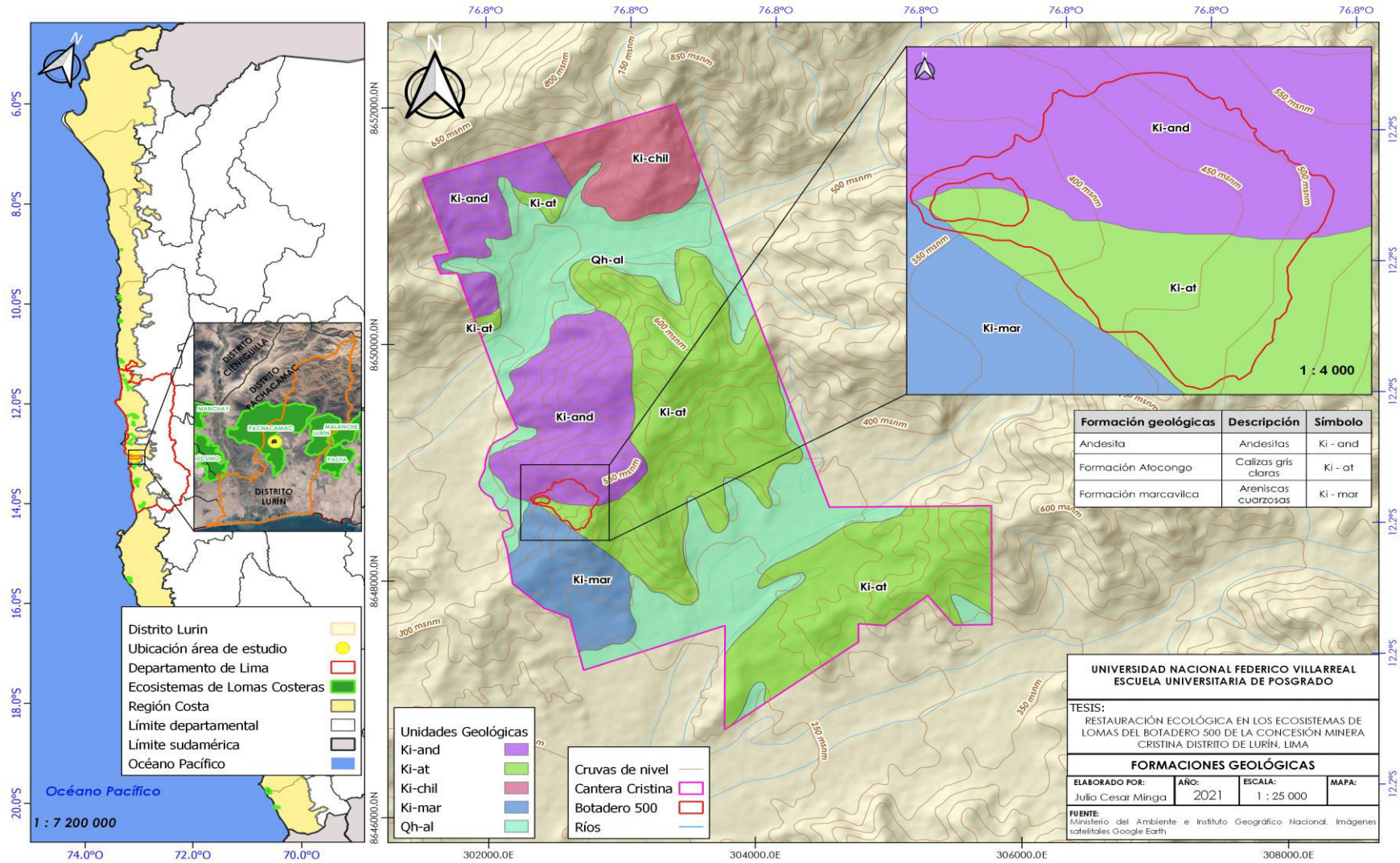
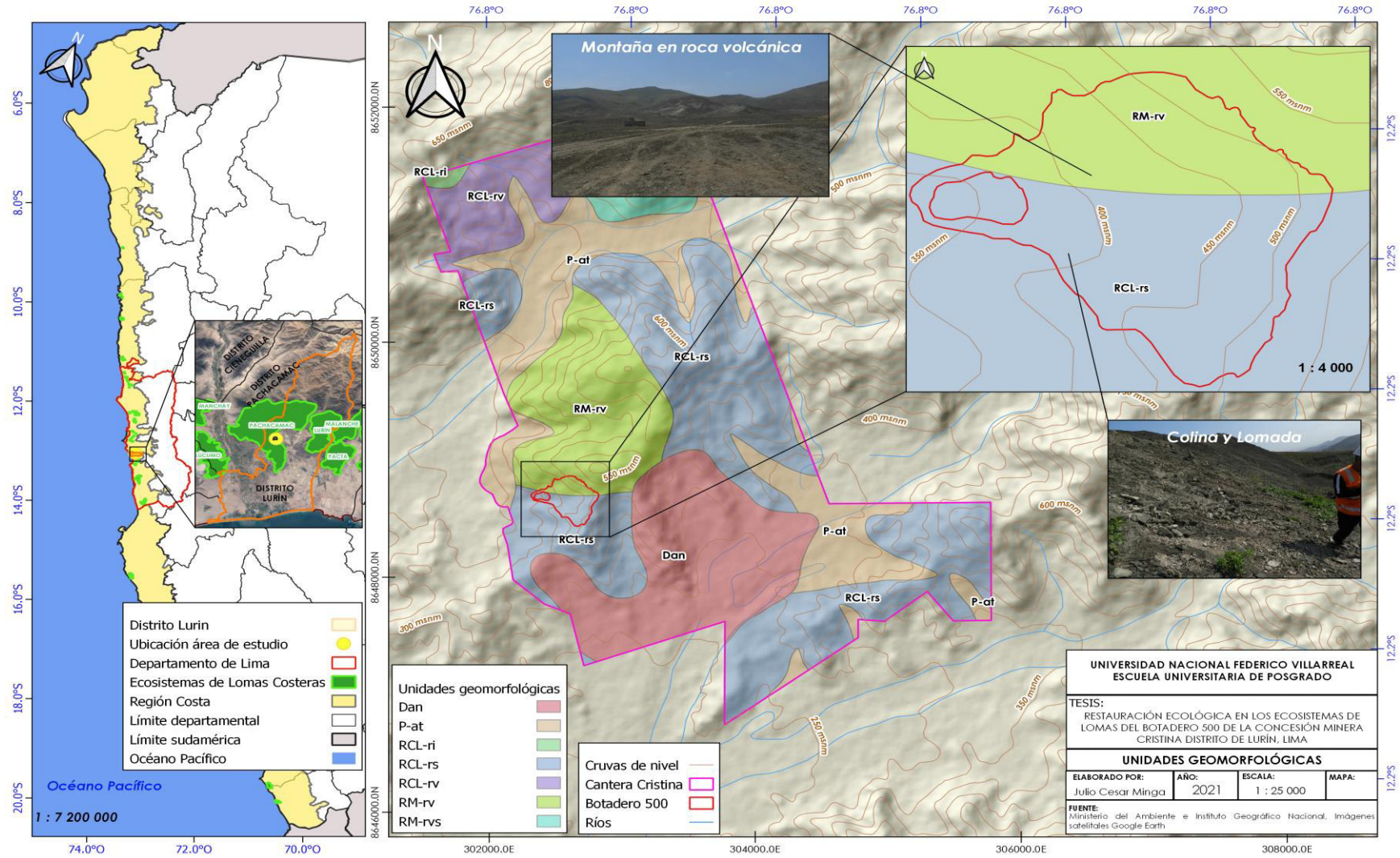


Figura 12

Mapa geomorfológico de la zona de estudio



4.1.4. Fisiografía

La fisiografía estudia las formas del relieve terrestre, es decir los paisajes. Analizándola desde un enfoque edafológico (suelo), comprende el estudio, descripción y clasificación de los “cuerpos de suelo”, con sus características externas (geoformas) e internas (perfil del suelo) y la relación que existe entre los factores de formación de suelos.

En la zona de estudio se reconoce dos grandes paisajes: Planicie y Colinoso. El primero, representado por depósito coluvial, con pendientes menores de 15% y el segundo gran paisaje es el colinoso, conformado por colinas, de relieves moderadamente empinados a muy empinados, con pendientes mayores de 15%.

4.1.5. Zonas de Vida

4.1.5.1. Desierto Desecado – Subtropical (DD-S)

De acuerdo con J. CESAR INGENIEROS Y CONSULTORES (2015) corresponde a las planicies y partes bajas de los valles costeros, desde el nivel del mar hasta 1800 metros de altura. El relieve topográfico es plano y ligeramente ondulado, variando a abrupto en los cerros aislados.

En esta zona de vida no existe vegetación o es muy escasa. Potencialmente, en la mayoría de las tierras de esta zona, eriazas, es posible la vegetación mediante riego, para llevar a cabo o fijar una agricultura de carácter permanente y económicamente productiva.

4.1.6. Cobertura vegetal

4.1.6.1. Lomas

Estas comunidades abarcan en el Perú solo 2000 km² aproximadamente (Mostacero et al., 1996), sin embargo, según la literatura científica, hay evidencia que hace 5 siglos abarcaban una cobertura de 15 000 km² sirviendo de sustento a diversos centros poblados.

Figura 13

Mapa de zonas de vida de la zona de estudio

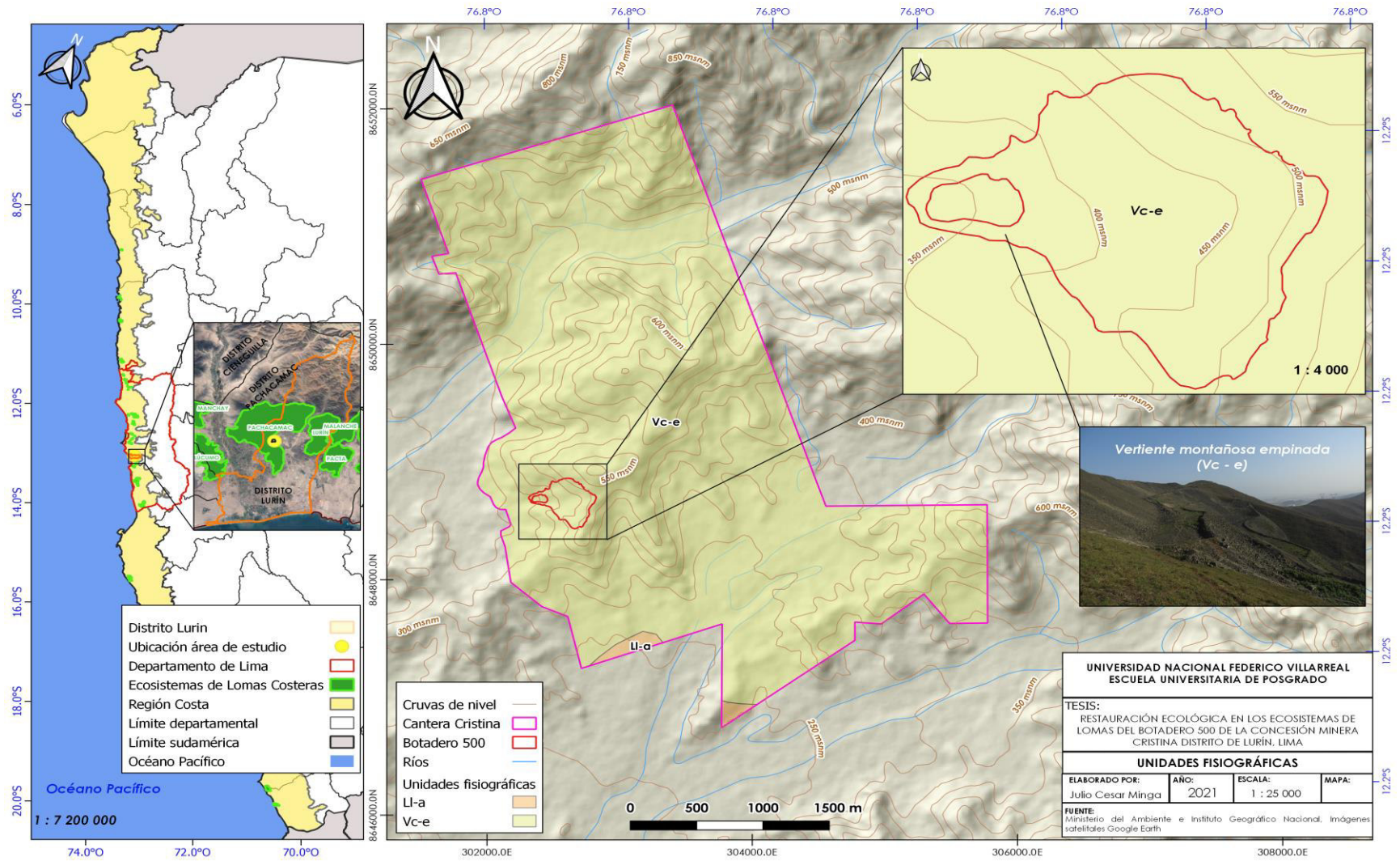
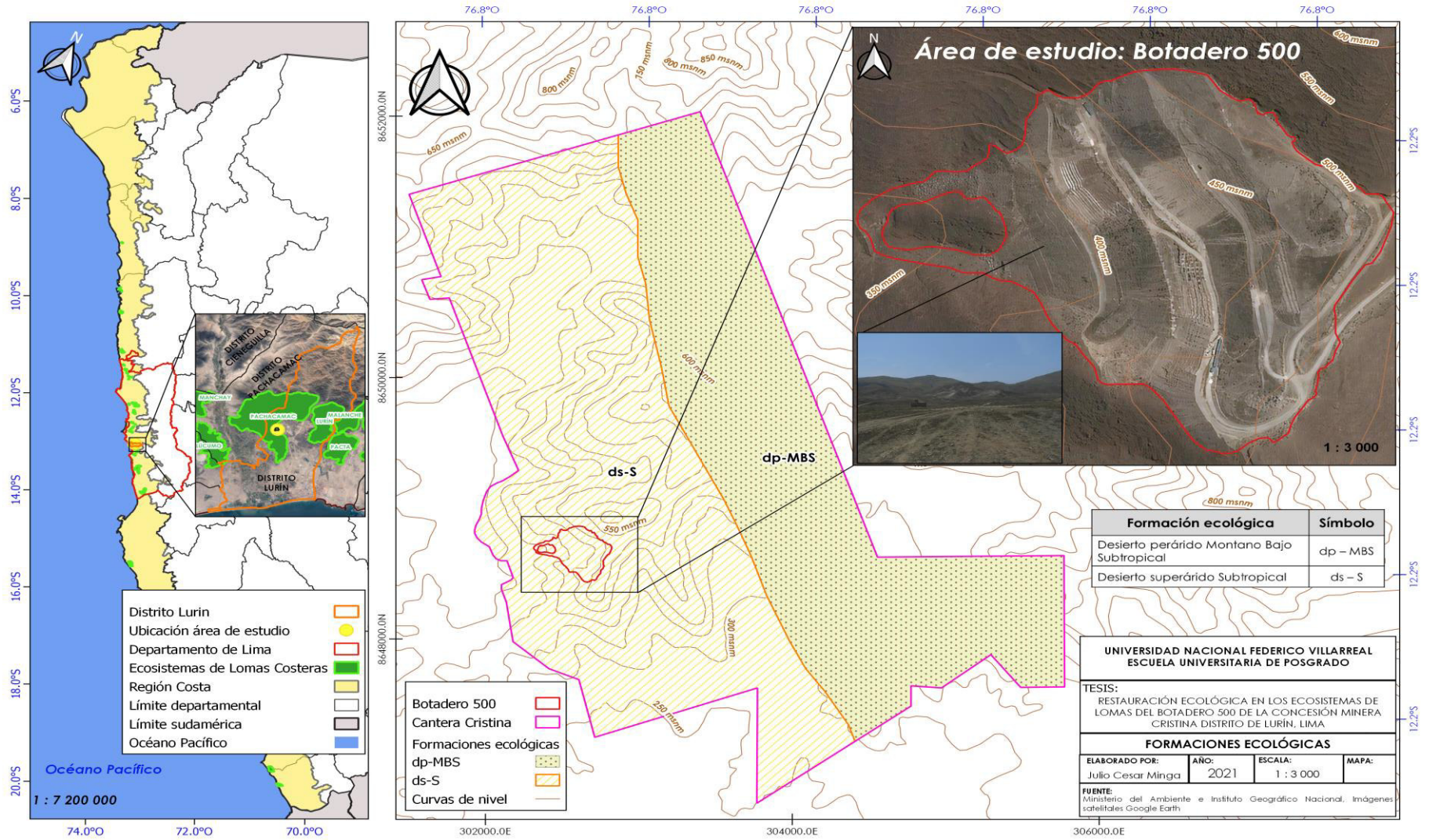


Figura 14

Mapa de formaciones ecológicas de la zona de estudio



Se trata de una formación vegetal que podría llamarse xerófila, porque queda en reposo durante un largo tiempo en temporada de sequía; sin embargo, cuando llega la temporada de lluvias y las plantas abandonan su estado de latencia estas surgen y llegan a florecer y fructificar bajo un cielo generalmente cubierto por neblina a temperaturas relativamente bajas, ostentando una organización más o menos hidrófila (J. CESAR INGENIEROS Y CONSULTORES, 2015).

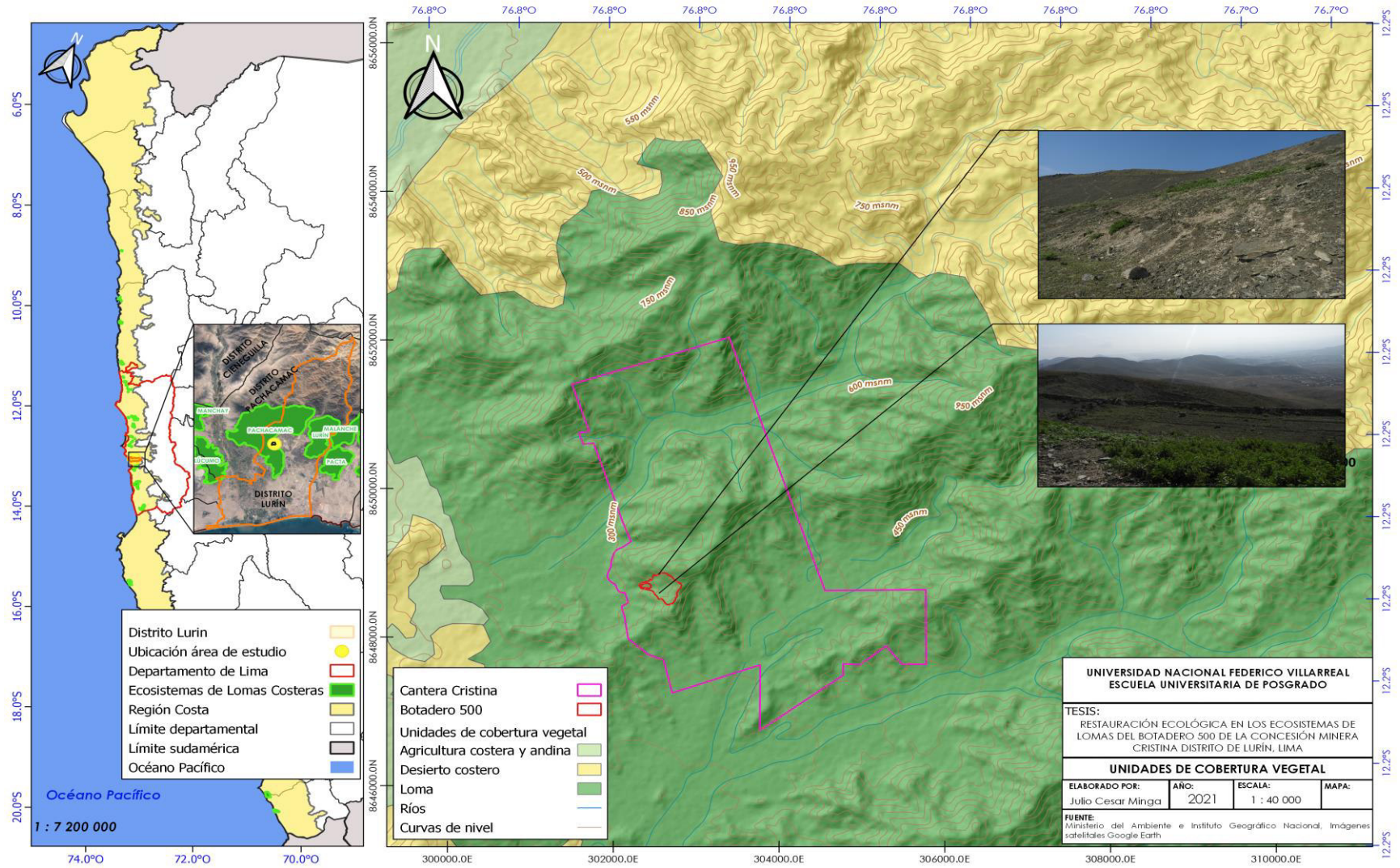
Esta formación vegetal se encuentra conformada por comunidades de vegetación ya sea permanente o anual, herbácea, arbustiva y hasta arbórea, que vive en las colinas y elevaciones que reciben directamente la brisa marina. La brisa marina viene cargada de humedad producto de la evaporación del agua de mar. La humedad se intensifica en los meses de junio a agosto que es también la temporada de neblinas y garúas invernales. En el invierno austral la Corriente Peruana o de Humboldt forma neblina que se dirige hacia la costa en donde se condensa y precipita en forma de lluvia fina o “garúa”. Esta humedad y precipitación promueve la generación de una vegetación efímera y reactiva a la flora permanente que se encuentra en estado latente.

Por otro lado, las Lomas son unidades fitogeográficas periódicas que generalmente contienen un número elevado de géneros y especies endémicas (ocupando el 42% de su flora) (Ferreyra, 1983; Mostacero et al., 1996; Müller (1985).

La formación vegetal de lomas se caracteriza por sus suelos los cuales al parecer son muy permeables y absorben la humedad de las neblinas que inciden directamente del mar. Este evento hace que estas lomas sean más secas respecto a otras que tienen suelos arenosos.

Figura 15

Mapa de unidades de cobertura vegetal de la zona de estudio



4.1.7. Hidrología e hidrogeología

De acuerdo con Anddes Asociados (2014) el modelo hidrológico e hidrogeológico fue desarrollado por SVS Ingenieros en el año 2006. Este modelo fue desarrollado de manera conceptual y generó la base geométrica y datos relacionados con las estructuras geológicas, particularidades en la construcción y condiciones de las aguas superficiales

Con esta información, se desarrolló un modelo numérico en el que se excluye a la zona donde se emplaza el Botadero de Desmonte 500, por ello se considera nula las consecuencias que pueda tener el efecto de la napa freática en el análisis de estabilidad.

Adicionalmente, en el modelo hidrológico se detallaron las precipitaciones máximas y el análisis de los caudales máximos en el área del proyecto. En dicho análisis se demostró que no tenía efecto sobre el Botadero de desmonte en estudio. Por otro lado, las precipitaciones máximas llegan alcanzar un valor de 21.6 mm; mientras que las precipitaciones promedio alcanzan una magnitud de 2.2 mm.

En el área de estudio se identificaron 3 unidades hidrogeológicas (UH) en función de los materiales geológicos identificados y de sus características hidráulicas:

- UH Detrítica.
- UH Sedimentaria.
- UH Intrusiva fracturada.

Figura 16

Mapa de unidades hidrogeológicas regionales

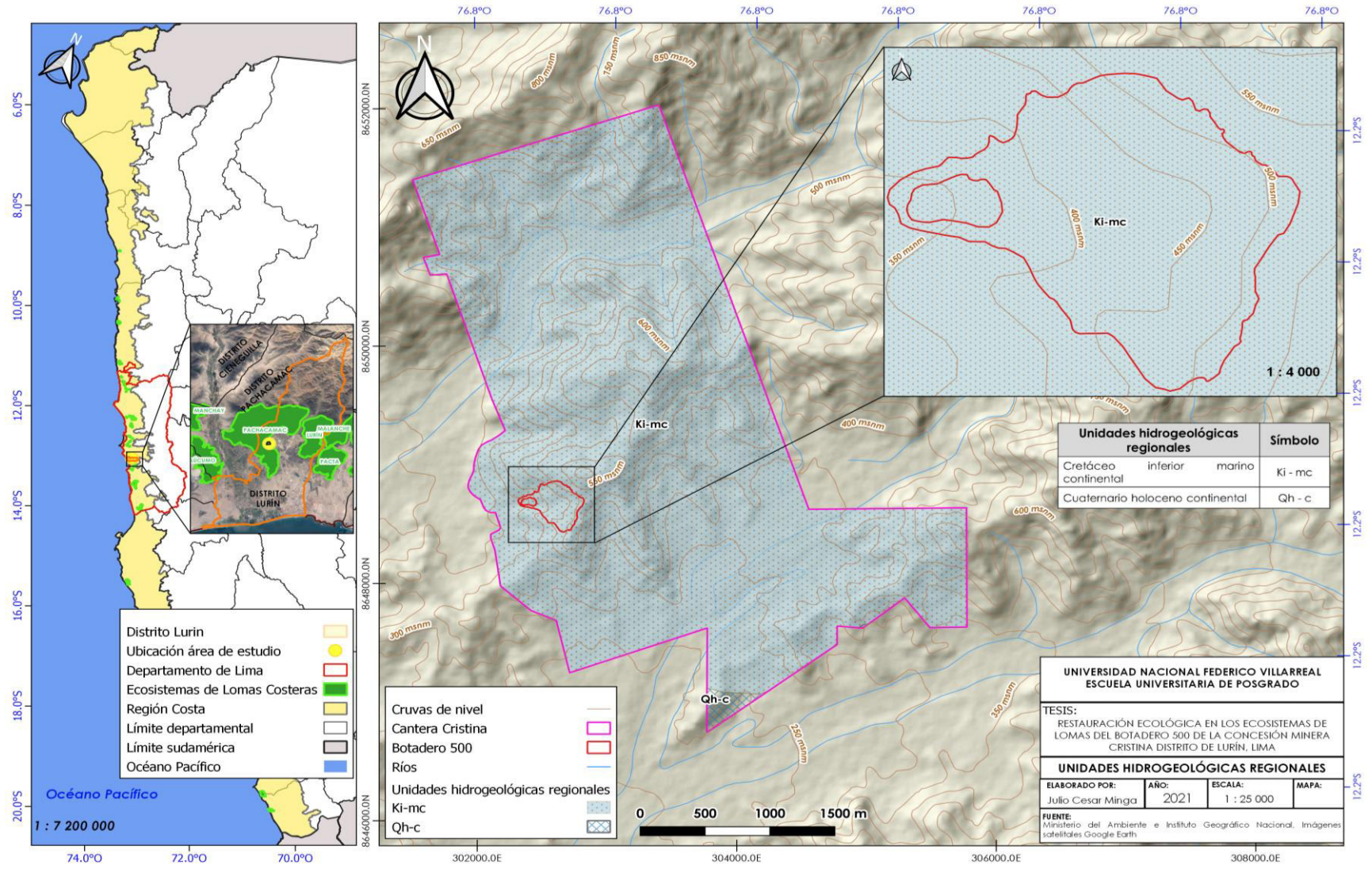


Figura 17

Mapa de unidades de suelos del área de estudio

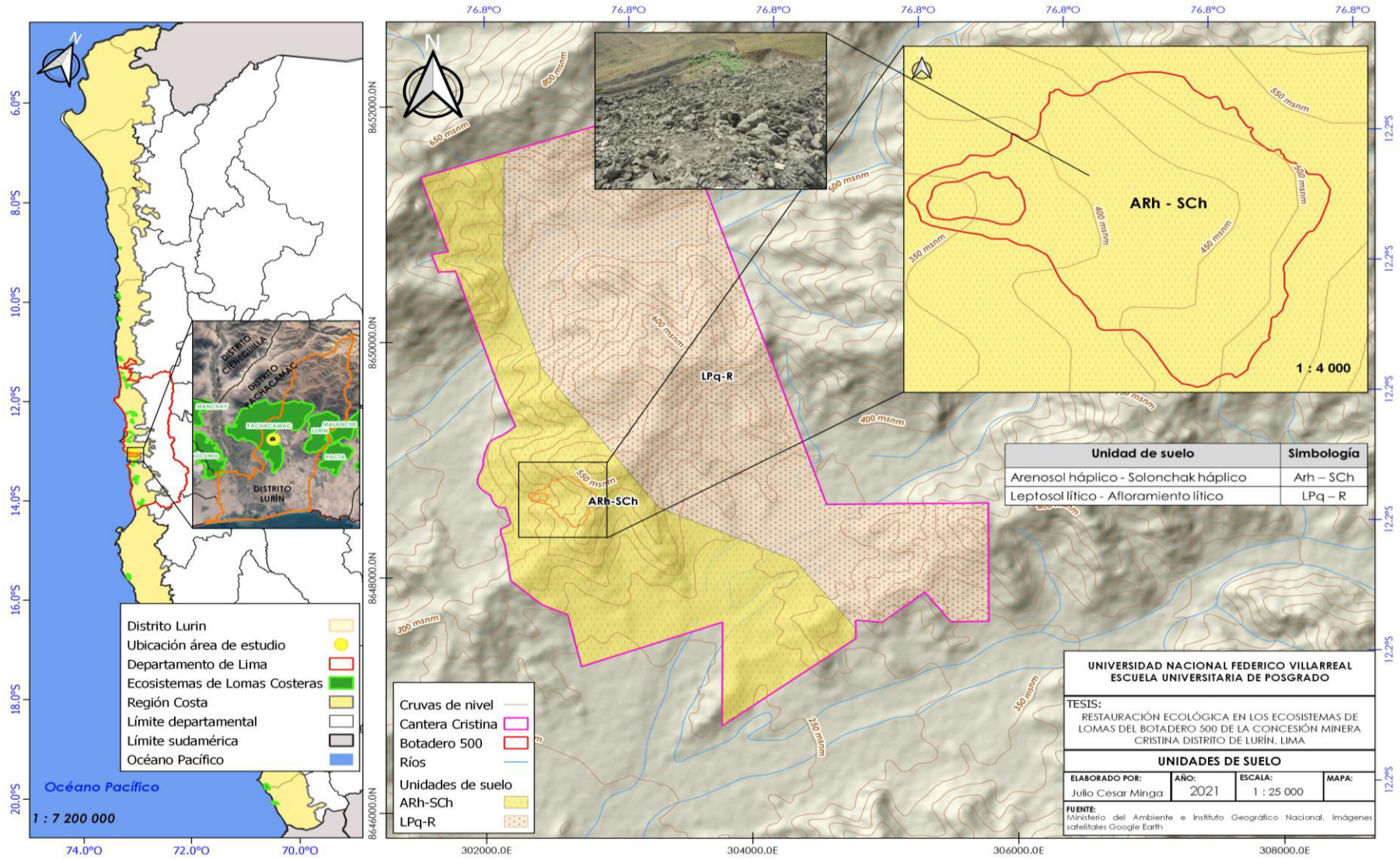
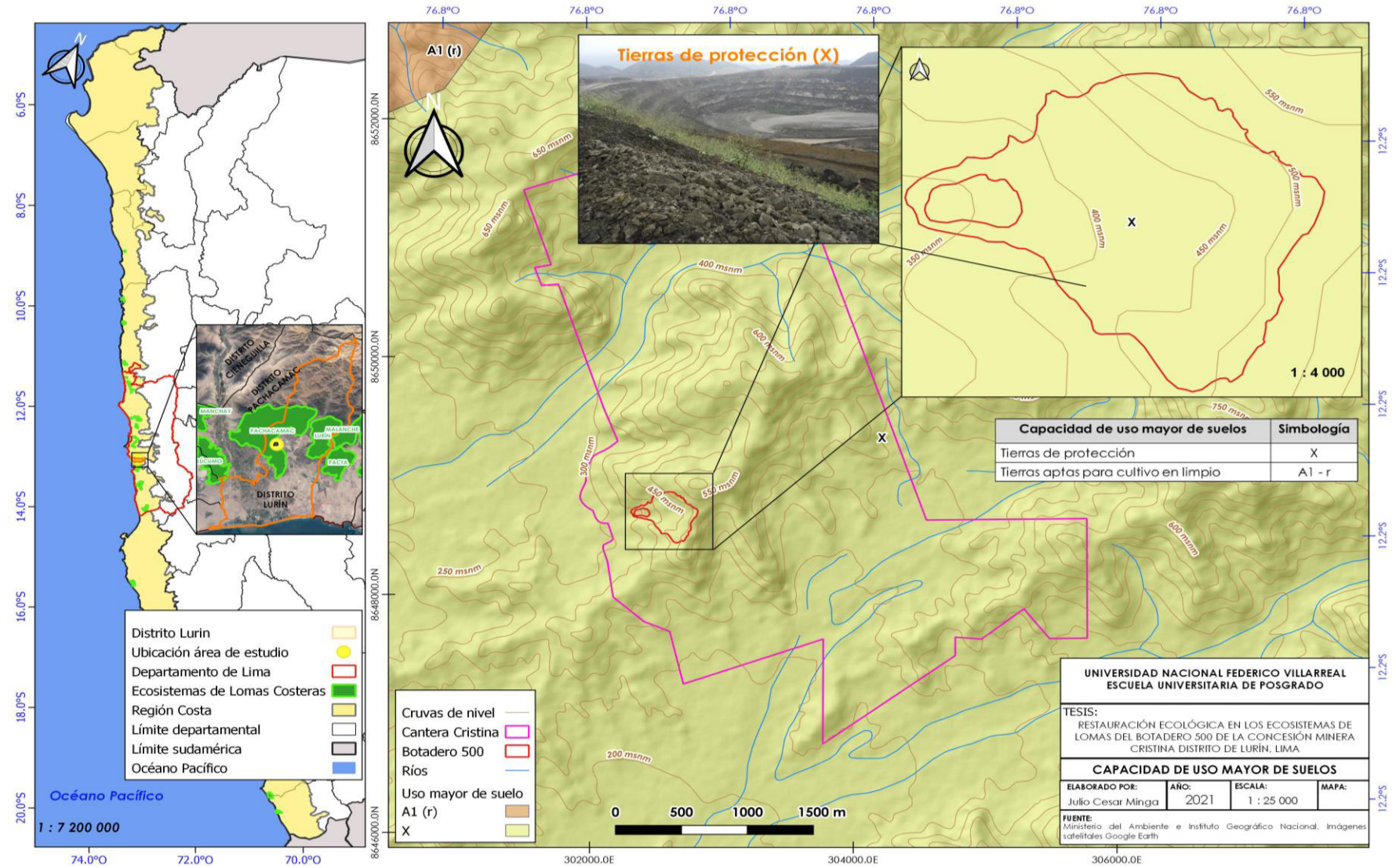


Figura 18

Mapa de capacidad de uso mayor de suelos del área de estudio



4.1.8. Riesgos en la zona de estudio

4.1.8.1. Riesgos geológicos

Se han registrado evidencias de actividad antrópica consistente en su mayoría de explotación mecanizada, resultado de las depresiones confinadas del tajo Pucará. El botadero 500, por su configuración actual presenta caídas de rocas y grietas de tracción; sin embargo, estos riesgos son controlables mediante actuaciones antrópicas, que se traducen en medidas preventivas de protección orientadas a mitigar los riesgos geológicos (ACOMISA, 2016).

4.1.8.2. Riesgo sísmico

De acuerdo con la clasificación del Instituto Geofísico del Perú, la zona de estudio está considerada como de "Sismicidad", la cual es afectada por la actividad tectónica reflejada en sismos con epicentros próximos a la superficie (pocos kilómetros) y con epicentros profundos (hasta 700 km); estos últimos son consecuencia de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Continental Sudamericana; en tanto que los sismos con epicentros superficiales están relacionados con fallas regionales, entre las que se encuentran la falla de Huaytapallana, la falla de Cayesh y la Zona de Fallas de la Cordillera Blanca.

La información y los valores de aceleración y de coeficiente sísmico son extraídos del informe de "Cantera de Caliza Atocongo - Estudio Geotécnico de los Botaderos de Escombros" (SVS Ingenieros, 2006).

A. Aceleración de diseño

Se emplea el uso de la información instrumental contenida en el Catálogo Sísmico de la NOAA National Geophysical Data Center, desarrollando una evaluación del riesgo sísmico, empleando métodos estadísticos y probabilísticos.

Para el cálculo de la aceleración máxima del terreno en la zona de estudio debido a eventos sísmicos, SVS empleó las fórmulas de atenuación de (Casaverde & Vargas, 1980), para sismos cuyo origen está asociado a fenómenos de subducción, y la fórmula de (McGuire, 1974) para

sismos cuyo origen está asociado a fallas continentales. En la siguiente tabla se resumen las aceleraciones esperadas para diferentes periodos de retorno dadas por (Anddes Asociados, 2014).

Tabla 13

Aceleraciones Máximas Esperadas del Terreno (PGA) en la Zona de Estudio

Periodo de Retorno Tr (Años)	Probabilidad de Excedencia (%)	Aceleración Sísmica (g)
2	100	0.05
5	100	0.10
10	99.48	0.13
50	63.58	0.20
100	39.5	0.24
150	28.43	0.25
200	22.17	0.27
300	15.38	0.28
400	11.76	0.30
500	9.53	0.31
1000	4.88	0.34
3000	1.65	0.39
10000	0.50	0.61

Fuente: (Anddes Asociados, 2014).

4.1.9. Estabilidad física

4.1.9.1. Análisis geotécnico

El análisis que a continuación se presenta, está conformado por una etapa de campo, donde se analiza la información obtenida de diversas fuentes, la etapa de laboratorio y la descripción final acerca de la estabilidad del botadero 500 de la unidad Cristina.

a. Etapa de campo

Se realizó una búsqueda de información de campo que pueda ser relevante para los fines de la investigación; por ello, se recurrió a fuentes primarias del levantamiento de información de campo. Al respecto, Anddes Asociados S.A.C, han realizado estudios con fines de evaluar la estabilidad del botadero 500 desde el año 1998. Así mismo, también se obtuvo información de campo correspondiente a Asesores y Consultores Mineros S.A. (ACOMISA), quienes llevaron a cabo investigaciones de campo en el año 2016.

De los sondeos de campo realizados, se obtuvo que CA-UNA13-501, 502, 503, 504, 505 y 506 son calicatas que fueron realizadas por ANDDES en Julio 2013, CA-01, CA-02 Y CA-03 son calicatas realizadas por ACOMISA en enero 2015 y C-01 en diciembre 2016.

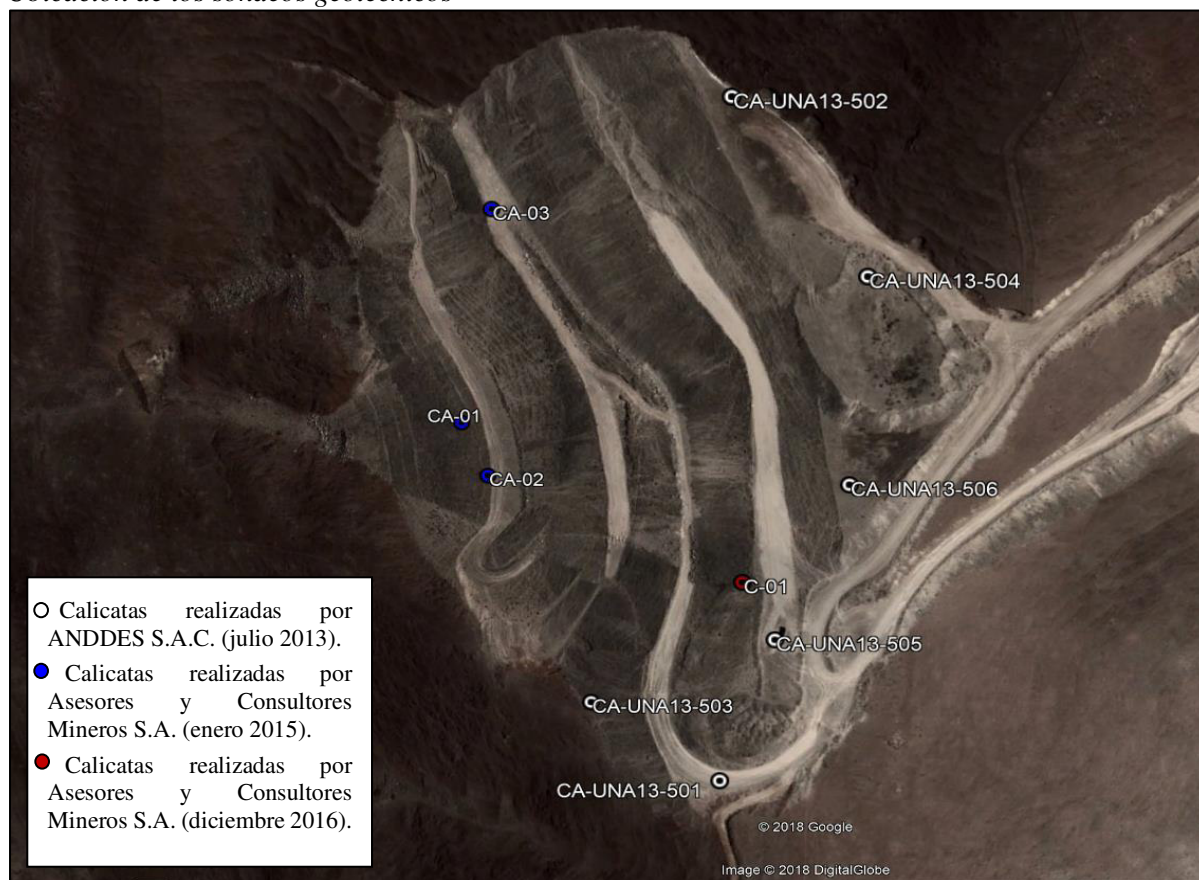
Tabla 14

Resumen de sondeos en campo

Calicata	Coordenadas		Suelo Orgánico (m)	Nivel Agua (m)	Profundidad Total (m)
	Este	Norte			
CA-UNA13-501	302679	8648462	NE	NE	4.0
CA-UNA13-502	302670	8648827	NE	NE	1.0
CA-UNA13-503	302609	8648497	NE	NE	1.0
CA-UNA13-504	302739	8648739	NE	NE	5.0
CA-UNA13-505	302703	8648541	NE	NE	5.0
CA-UNA13-506	302736	8648628	NE	NE	4.0
CA-01	302523	8648653	NE	NE	1.8
CA-02	302541	8648622	NE	NE	1.8
CA-03	302543	8648776	NE	NE	1.8
C-01	302685	8648571	NE	NE	4.0

Fuente: ACOMISA, 2016.

La ubicación de los sondeos se muestra en la siguiente figura, donde se puede apreciar que en algunos casos fue realizado sobre las banquetas donde se genera un probable tránsito de personas y vehículos, aumentando su densidad y por lo tanto mejorando sus condiciones. En el caso contrario se muestran las calicatas CA-UNA13-504, CA-UNA13-506, CA-UNA13-503, CA-01 y C-01, donde se encontraron condiciones más desfavorables por no permitir tránsito alguno y por lo tanto conservar su densidad al momento de la colocación del material de desmonte.

Figura 19*Ubicación de los sondeos geotécnicos*

De igual forma ANDDES y ACOMISA realizaron ensayos de densidad en campo aplicando el método del cono de arena según la norma ASTM 1556, de acuerdo se muestra en la siguiente tabla. Al respecto, las calicatas CA-UNA13-503 y CA-UNA13-507 han sido realizadas por la empresa ANDDES S.A.C. en julio 2013 y C-01 por la empresa ACOMISA S.A. en diciembre 2016.

Tabla 15*Resumen de las densidades de campo*

Estación Geomecánica	Muestra	Densidad Seca (gr/cm ³)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Porosidad (%)	Absor. (%)	Peso Específico Aparente (KN/m ³)
CA-UNA13-503	M-1	2.76	2.79	2.14	0.80	27.05
CA-UNA13-507	M-2	2.75	2.76	0.57	0.21	26.98
C-01	M-1	2.38	2.44	0.37	0.37	27.06

Fuente: (ACOMISA, 2016).

b. Etapa de laboratorio

Una vez finalizada la etapa de campo ACOMISA aplicó los ensayos de clasificación como los ensayos de resistencia al corte de los suelos necesarios para determinar el tipo de suelo y su resistencia tanto para el estrato de suelo, como para el basamento rocoso, conforme se detalla en la siguiente tabla.

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS, CA-01, CA-02, CA-03 son calicatas realizadas por la empresa ACOMISA S.A. en enero 2015, CA-UNA13-502, 504, 505 son calicatas realizadas por la empresa ANDDES S.A.C. en julio 2013, y C-01 calicata realizada por la empresa ACOMISA S.A. en diciembre 2016. La Cohesión y ángulo de fricción son producto de esfuerzos efectivos.

Tabla 16

Ensayos de laboratorio de muestras del suelo

Calicata	Muestras	SUCS	Profundidad (m)	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm ²)
CA-01	M-1	GP	0.00-1.80	36.7	0.02
CA-02	M-1	GP-GC	0.00-1.80	36.7	0.03
CA-03	M-2	GP-GC	0.00-1.80	37.2	0.03
Mezcla (CA-UNA13-502, CA-UNA13-504)	-	GW-GC	0.0-5.0	28	39.7
Mezcla (CA-UNA13-505)	-	GW-GC	0.15-5.0	9	43
C-01	M-1	GP-GM	0.00-4.00	33.0	0.00

Fuente: (ACOMISA, 2016).

Se observa que la calicata C-01 posee valores más desfavorables para el material de desmonte. De acuerdo con lo descrito por ACOMISA, las propiedades del basamento rocoso según el Modelo Morh-Coulomb han permitido adoptar una cohesión igual a 200 KPa y un ángulo de fricción equivalente a 40°, en cuanto a la densidad se consideró 20 KN/m³ de acuerdo con el tipo de roca.

c. Coeficiente sísmico

De acuerdo con el estudio realizado por (ACOMISA, 2016), se considera una aceleración sísmica correspondiente al “Sismo Máximo Creíble”, en el caso del depósito de desmonte 500

de Cristina corresponde a 0.31g lo cual corresponde a una probabilidad de excedencia de 9.53% para una vida de proyecto de 50 años y a un sismo de periodo de retorno de 500 años.

Debido a que las aceleraciones sísmicas máximas se manifiestan sólo durante un periodo muy corto, la aceleración de diseño se define como una fracción de la aceleración máxima, siendo una práctica aceptada internacionalmente definir la aceleración de diseño como un valor comprendido entre 1/2 y 1/3 respecto a la máxima aceleración. Asimismo, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers), recomienda el uso de un coeficiente sísmico igual al 50% de la aceleración pico de diseño, la misma que se basa en numerosos estudios del comportamiento de terraplenes durante eventos sísmicos. También, en la Guía ambiental publicada por el Ministerio de Energía y Minas, se sugiere el uso de una fracción comprendida entre 1/2 a 2/3 de la aceleración pico de diseño.

Considerando los niveles de riesgo en la zona del proyecto, se recomienda que la aceleración de diseño sea igual a 0.16g, que equivale a 1/2 de la aceleración máxima esperada.

d. Parámetros de diseño

Se conoce que la matriz del material (partículas menores a 3”) del botadero 500 esta principalmente compuesta por grava mal graduada con presencia de arena, arcilla y limo. Para el análisis se considerará el caso más desfavorable tanto en suelo como en roca, por lo que se tomará tanto el tipo de suelo como los parámetros obtenidos en la calicata C-01, en cuanto al basamento rocoso se tomará lo descrito en el ítem b información de laboratorio, según se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 17

Resumen de ensayos de suelo

Material	Peso Específico (KN/m³)	Cohesión (Kpa)	Angulo de Fricción (°)
Desmonte 500	23.8	0	33.0
Caliza, Marga, Limoarcillitas	20.0	200	40.0

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis se tomaron en cuenta 2 secciones representativas ubicadas como muestra (Figura 20). La geometría de las secciones se puede observar en las Figuras 21 y 22. Los factores de seguridad (FS) mínimos permisibles considerados en el análisis de estabilidad físico global para este estudio, considera lo recomendado en la Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades (DGAA, Vol. XVI-1998), y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18

Factores de seguridad mínimos permisibles

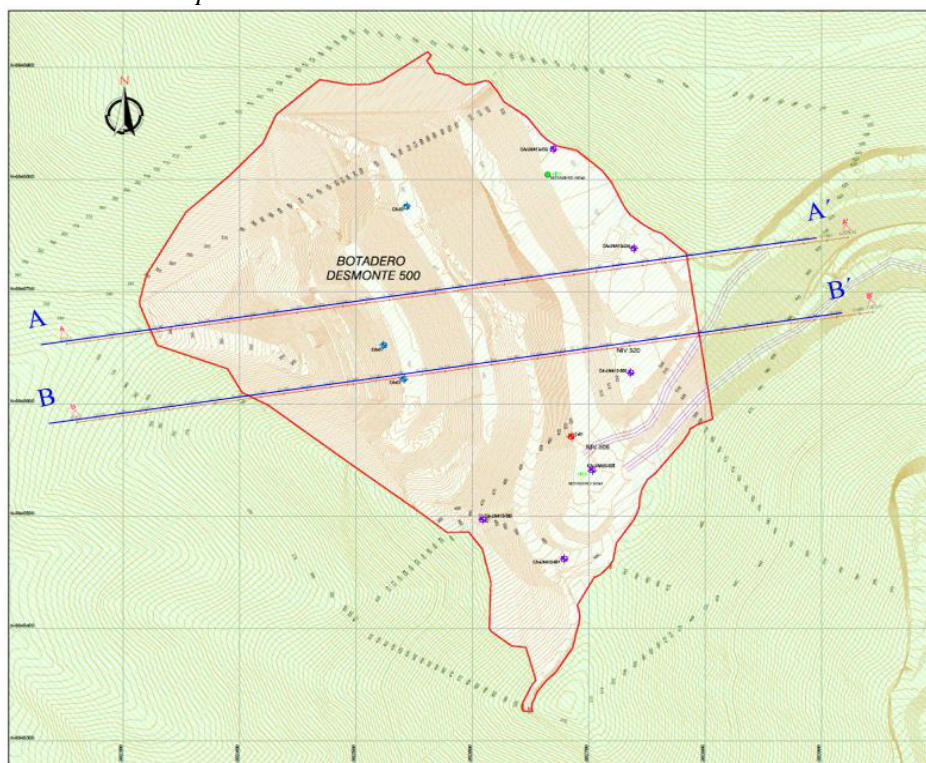
Tipo de análisis	Factores de seguridad mínimo permisible
Estático	1.5
Pseudo Estático	1

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el material de desmonte, se plantea una falla circular propia de los taludes de suelo, de igual forma también se evaluó la posibilidad de una falla lineal debido a la disposición de los estratos y la geometría del depósito de desmonte en general.

Figura 20

Ubicación de las secciones para el análisis



Fuente: (ACOMISA, 2016).

Figura 21

Secciones para el análisis (situación actual) sesión A – A’

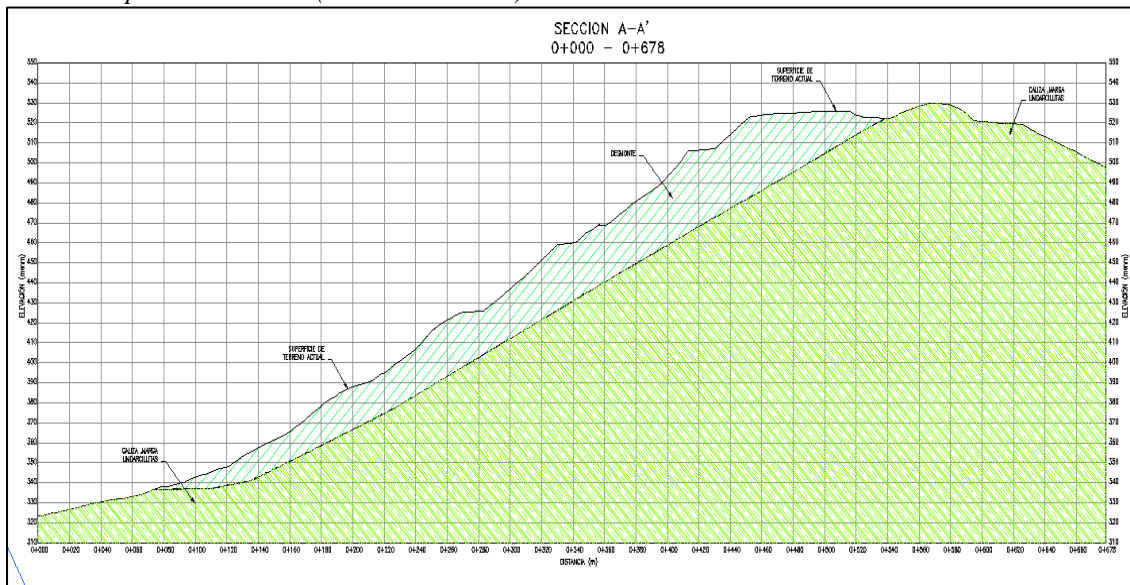
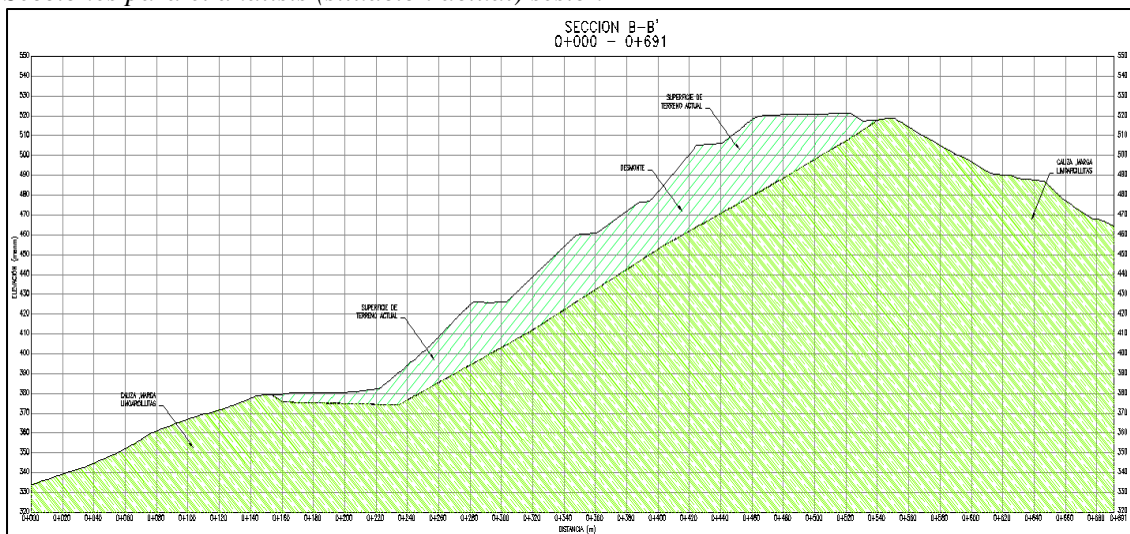


Figura 22

Secciones para el análisis (situación actual) sesión A – A’



Fuente: (ACOMISA, 2016).

Ayala (1988) explica que la rotura plana se produce sobre todo en macizos rocosos; sin embargo, se evaluó la posibilidad de dicha falla dada la geometría presentada en la sección modelada en estudios anteriores, correspondiente al depósito de desmonte 500 de cristina, y conociendo que se compone de un suelo pétreo con poca presencia de finos, dispuesto directamente sobre un basamento rocoso que presenta un plano continuo e inclinado.

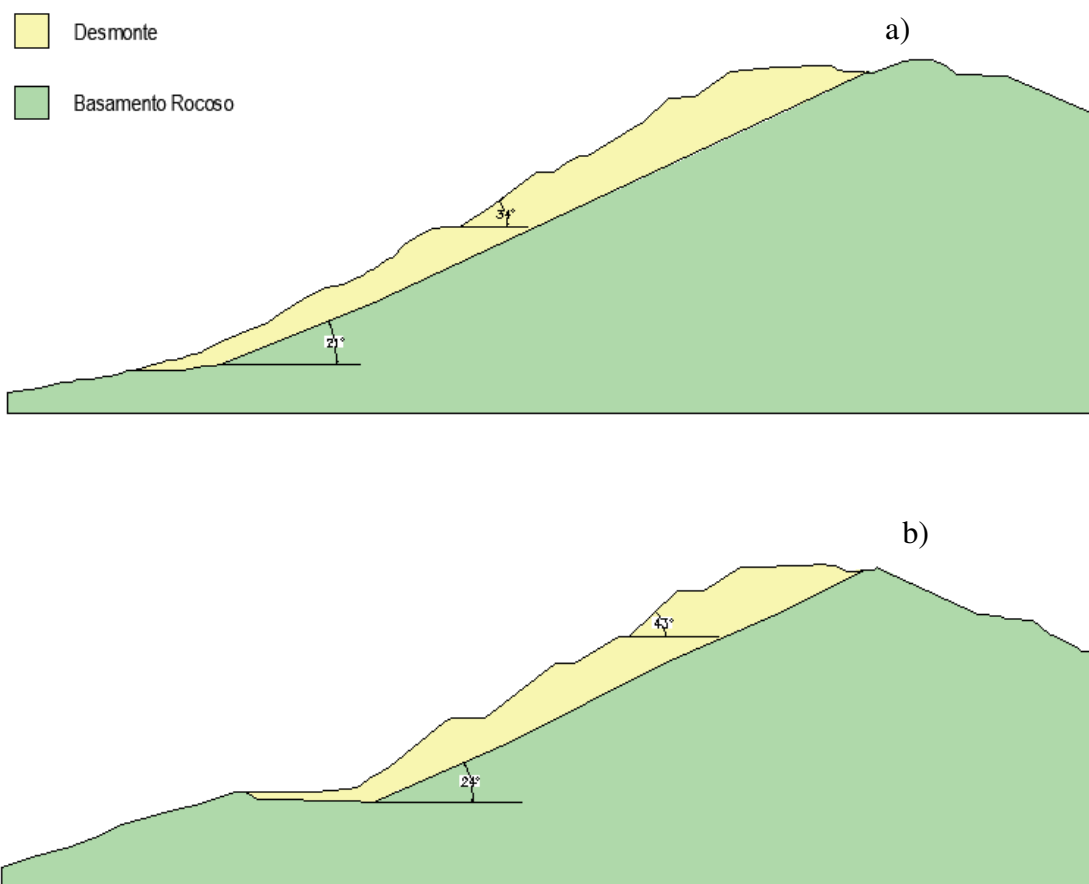
Para la rotura plana es necesario fijar el plano de falla para su evaluación, en este caso se consideró situado sobre el basamento rocoso. Según (Ayala, 1988) indica que se deben cumplir las siguientes condiciones para que se genere una falla lineal:

- Deben existir zonas de debilidad en las partes laterales del talud.
- El Rumbo del plano del talud debe ser sensiblemente paralelo al del plano de discontinuidad.
- La inclinación del plano del talud debe ser mayor que el del plano de la discontinuidad.
- El ángulo de fricción en el plano de rotura es menor a la inclinación de dicho plano.

Para el análisis de los puntos anteriores se tiene la siguiente figura:

Figura 23

Secciones para el análisis de rotura lineal



a) Perfil A-A'

b) Perfil B-B'

Fuente: Elaboración propia.

- Se considera que existe una zona de debilidad en el cambio de estrato del desmonte y el basamento rocoso.
- Rumbo del plano del talud en el primer caso tiene 13° de diferencia con el plano de falla y en el segundo caso 19° con el plano de falla; (Hoek & Brown, 1980) indican que debe ser aproximadamente paralelo ($\pm 20^\circ$).
- La inclinación del plano del talud en ambos casos es mayor que la inclinación del plano de la discontinuidad ($34 > 21$ y $43 > 24$).
- El ángulo de fricción en el plano de rotura (40°) es “mayor” a la inclinación de dicho plano por lo tanto no se cumple con esta condición para considerar la posibilidad de la rotura plana.

Por lo evaluado anteriormente se realizó un cálculo alternativo para una falla lineal delimitando la posibilidad de falla en el cambio de material de basamento rocoso a material de desmonte, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 19

Factores de seguridad para falla planar

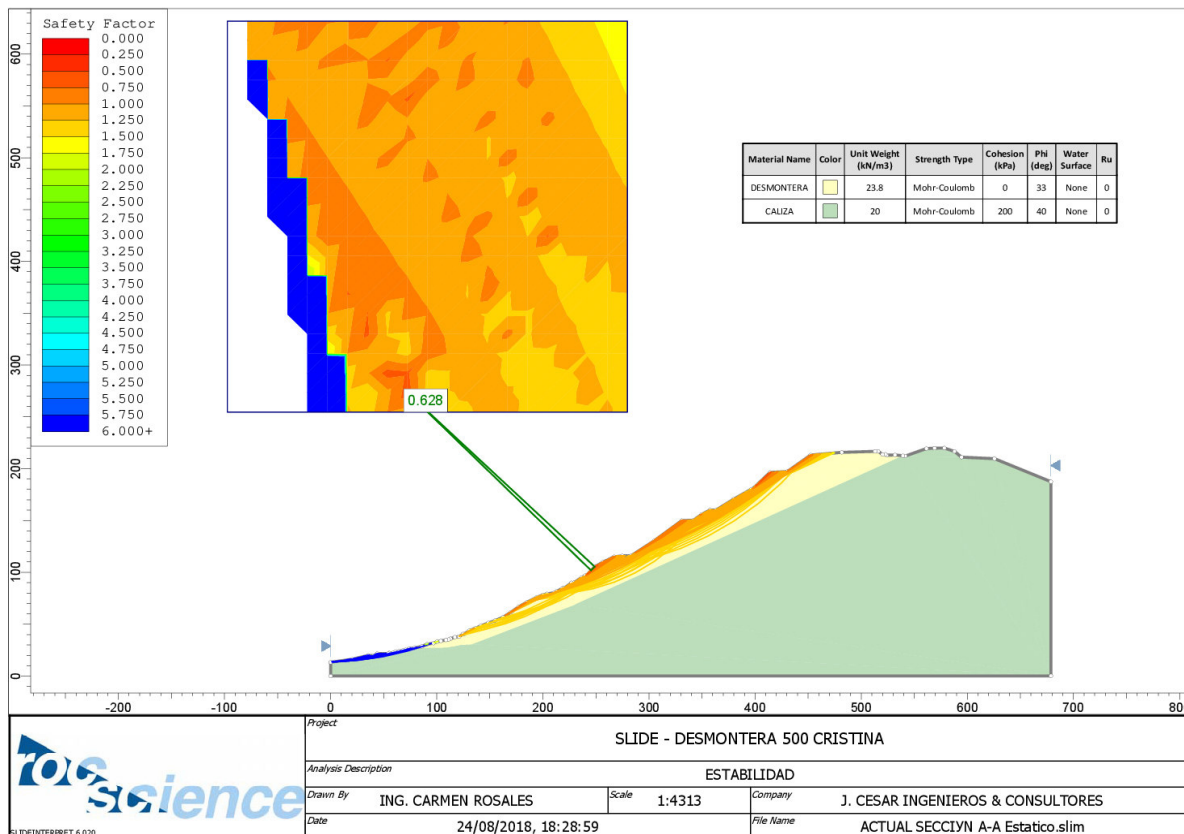
Análisis de Sección	Análisis Estático (F.S)	A. Estático Mínimo F.S a Largo Plazo ($\geq F.S_{min}$)	Análisis Pseudo Estático (F.S)	A. Pseudo Estático Mínimo F. S a Largo Plazo ($\geq F.S_{min}$)
Sección A-A' (Global)	2.627	1.5 (Ok)	1.878	1.0 (Ok)
Sección B-B' (Global)	1.805	1.5 (OK)	1.269	1.0 (Ok)

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior no existe inestabilidad por la discontinuidad presentada por el cambio de material en las secciones presentadas. Según las condiciones descritas en el análisis geotécnico, se desarrollaron los cálculos a través del programa Slide 6.02 (Figuras 24, 25, 26 y 27) evaluando la estabilidad de los taludes a través del Método Spencer, en la Tabla 19 se muestran los factores de seguridad obtenidos.

Figura 24

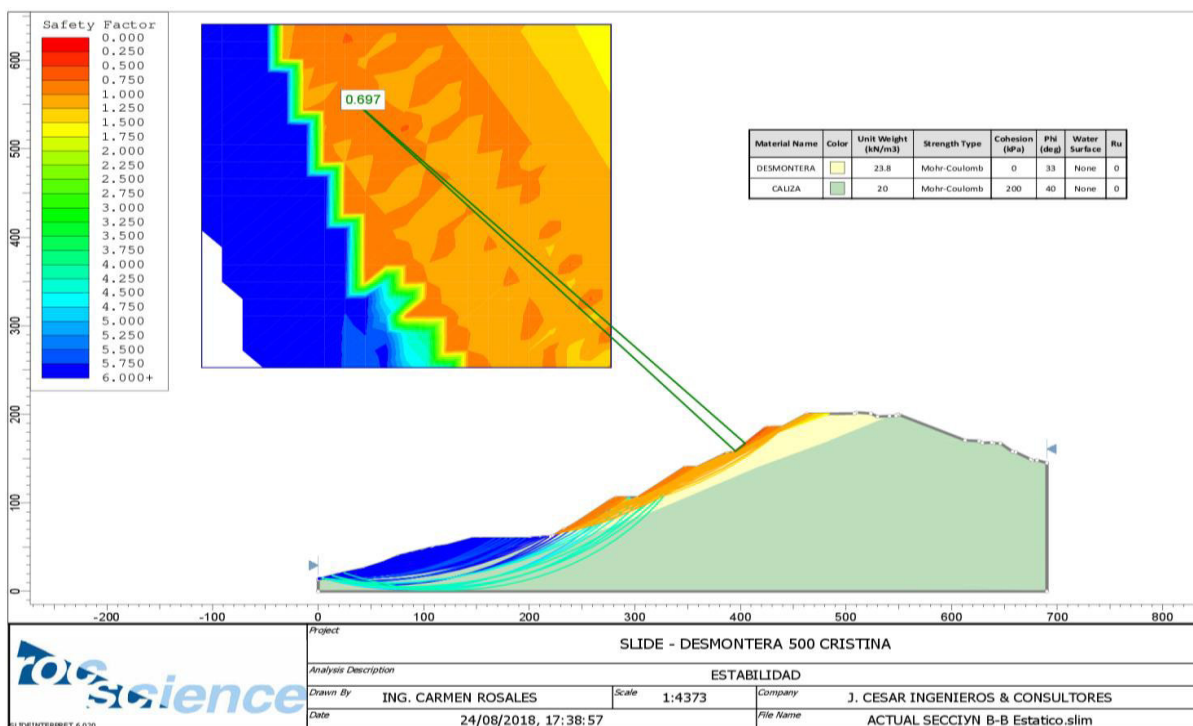
Sección A-A' Análisis estático



Fuente: Slide 6.02.

Figura 25

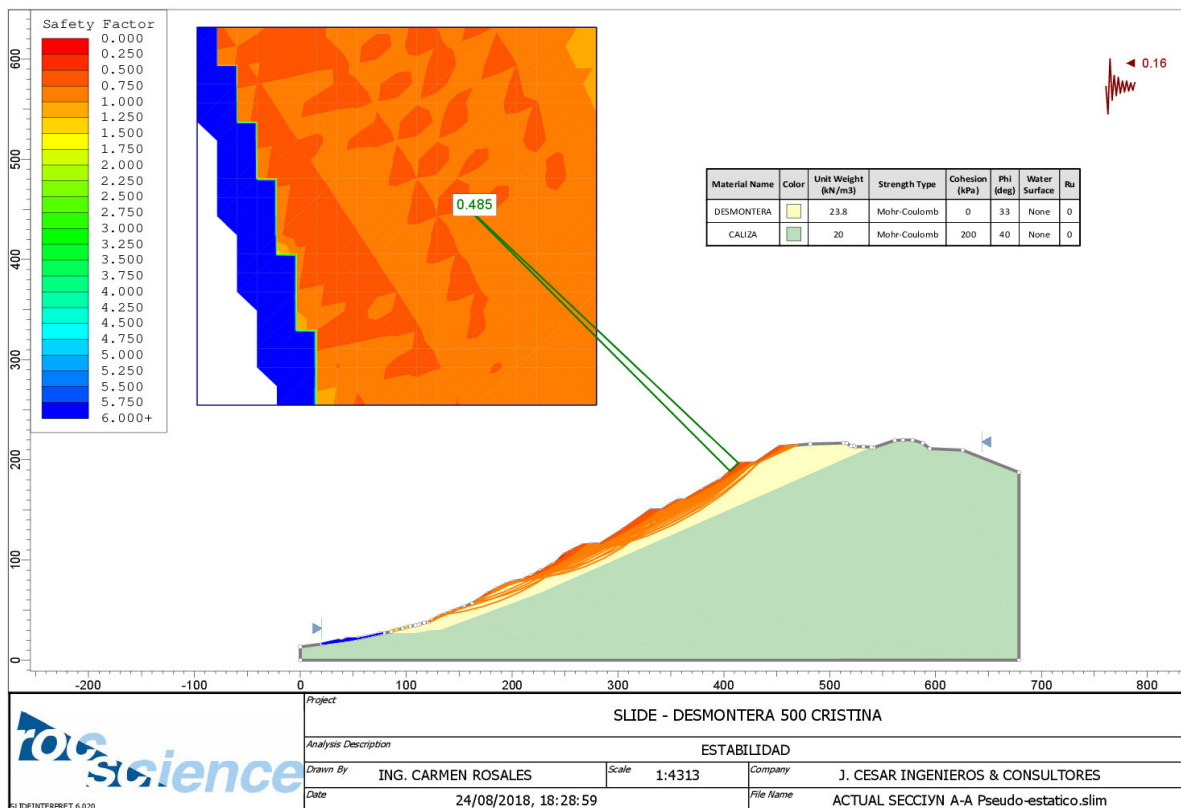
Sección B-B' Análisis estático



Fuente: Slide 6.02.

Figura 26

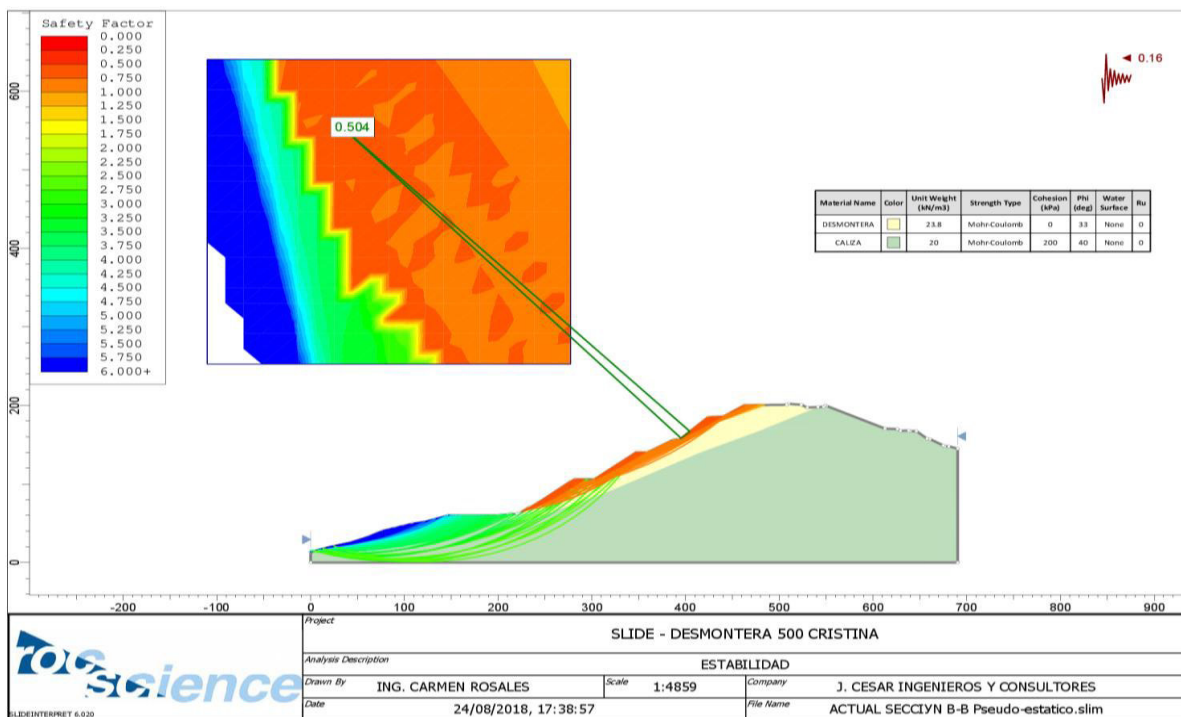
Sección A-A' análisis Pseudo estático



Fuente: Slide 6.02.

Figura 27

Sección B-B' análisis Pseudo estático



Fuente: Slide 6.02.

Tabla 20*Factores de seguridad para falla*

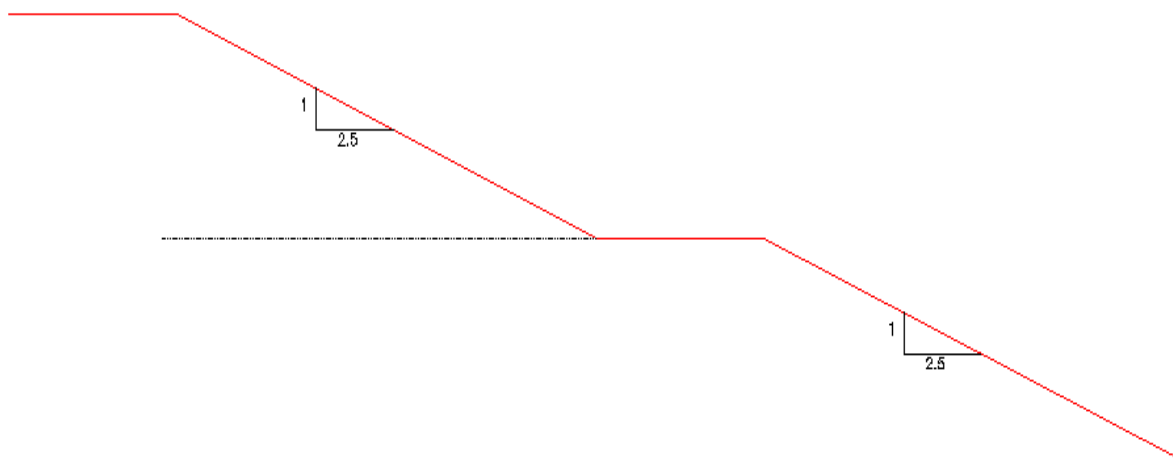
Análisis de Sección	Análisis Estático (F.S)	A. Estático Mínimo F.S a Largo Plazo ($\geq F.S_{min}$)	Análisis Pseudo Estático (F.S)	A. Pseudo Estático Mínimo F. S a Largo Plazo ($\geq F.S_{min}$)
Sección A-A' (Global)	0.628	1.5 (No Cumple)	0.485	1.0 (No Cumple)
Sección B-B' (Global)	0.694	1.5 (No Cumple)	0.504	1.0 (No Cumple)

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior el desmonte es inestable en las capas superficiales por lo que es necesario estabilizar dicho talud. A partir de los parámetros y la sección del suelo suministrado por UNACEM, de los estudios de estabilidad del depósito de desmonte 500 de Cristina de años anteriores, se realizó una revisión de la estabilidad del desmonte, resultando inestable con factores de seguridad que van de 0.628 a 0.694 para la condición estática y de 0.485 a 0.504 para la condición pseudo-estática.

4.1.9.2. Propuesta de estabilidad

Para garantizar la estabilidad de los taludes conservando sus condiciones actuales es necesario disminuir sus pendientes con una relación de 2.5H:1V realizando bermas con alturas de 25 a 80 m aproximadamente.

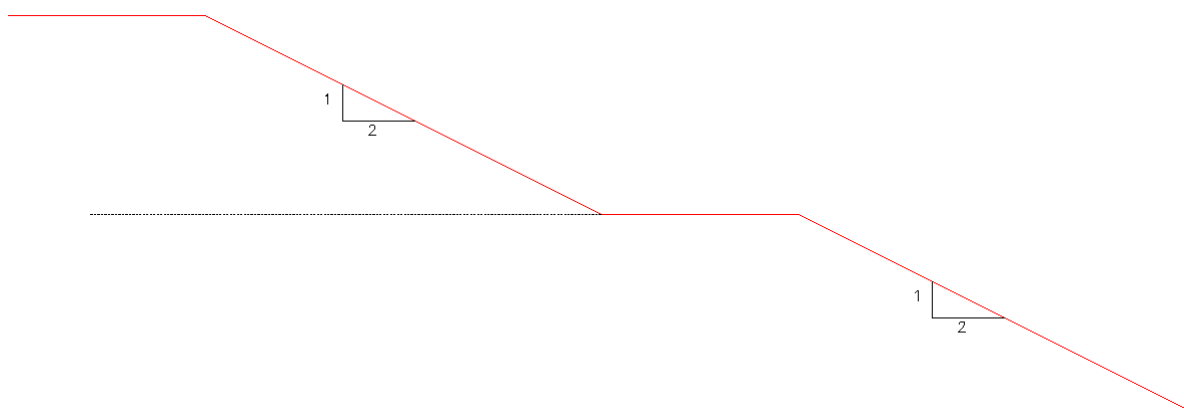
Figura 28*Geometría para estabilizar el talud en condiciones actuales*

Fuente: Elaboración propia.

Como segunda solución se considera la compactación del material lo cual aumentaría los parámetros de resistencia del suelo, generando al menos un ángulo de fricción de 36° que permitirá la construcción de pendientes con una relación de 2H:1V.

Figura 29

Geometría para estabilizar el talud compactando el terreno



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21

Resultados del cálculo

Inclinación	Análisis de Sección	Análisis Estático (F.S)	A. Estático Mínimo F.S a Largo Plazo ($\geq F.S_{min}$)	Análisis Pseudo Estático (F.S)	A. Pseudo Estático Mínimo F. S a Largo Plazo ($\geq F.S_{min}$)
2,5H: 1V	Sección A-A' (Global)	1.532	1.5 (Ok)	1.037	1.0 (Ok)
2,5H: 1V	Sección B-B' (Global)	1.624	1.5 (OK)	1.086	1.0 (Ok)
2H: 1V	Sección A-A' (Global)	1.508	1.5 (Ok)	1.051	1.0 (Ok)
2H: 1V	Sección B-B' (Global)	1.508	1.5 (OK)	1.050	1.0 (Ok)

Fuente: Elaboración propia.

La inestabilidad del desmonte se manifiesta en sus capas superficiales, donde se infiere un material más suelto que el que se encuentra en las capas internas, donde se asume mayor compactación debido al peso del material colocado sobre este y las vibraciones propias de la descarga de dicho material en la superficie, lo que genera el reacomodo de las partículas y su compactación.

Para la estabilidad del desmonte se recomienda modificar la geometría según la propuesta de estabilidad presentada, asumiendo las condiciones actuales; como segunda opción se plantea

la compactación del material con el fin de aumentar la resistencia del suelo y con ello optimizar la geometría planteada con los parámetros actuales.

4.1.10. Caracterización de suelos

La caracterización consistió en 4 fases: (i) precampo, (ii) campo, (iii) laboratorio y (iv) gabinete. En la fase (i) se identificó posibles puntos de muestreo de suelos, utilizando los mapas temáticos elaborados previamente: geología, topografía, climatología, etc. Posteriormente, en la fase (ii) se corroboró lo planteado en la etapa anterior y se enfocó en las zonas donde se llevaron a cabo los tratamientos de restauración. Se georreferenciaron los puntos de muestreo, los cuales se observan en la siguiente Tabla y en Mapa de caracterización de suelos. En la fase (iii), las muestras fueron secadas al aire, molidas para desterronar los agregados y tamizadas a través de un cernidor de malla de 2 mm. El suelo que pasó por el tamiz es llamado Tierra Fina Seca al Aire (TFSA), y comprende las fracciones minerales (partículas de arena, limo y arcilla) y orgánica.

Tabla 22

Estaciones de caracterización de suelos

Tratamiento	Estaciones de evaluación	Descripción	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18 Sur		Altitud msnm
			Este	Norte	
Área Rocosa ¹	AR	Ubicada en el sector norte de la Desmontera Cristina	302 520	8 648 812	458
Área de terrazas ¹	AT-M1	Emplazada en el sector norcentral de la Desmontera Cristina	302 539	8 648 745	455
	AT-M2	Ubicada en el sector noreste de la Desmontera Cristina	302 623	8 648 749	505
Área de Parcelas ¹	AP-M1	Ubicado en el sector sur central de la Desmontera Cristina	302 631	8 648 615	472
	AP-M2	Ubicado en el sector sureste de la Desmontera Cristina	302 716	8 648 595	512
Área de restauración pasiva (asistida) ¹	ARP	Emplazado en el sector sur de la Desmontera Cristina	302 579	8 648 527	451
Área de Ecosistema de referencia (loma) ²	AC-1	Ubicado al noreste de AT-M2	302 679	8 648 832	535
	AC-2				
Área control de botadero	CB	Ubicado al este de AT-M2	302 657	8 648 755	516

1: Está en función al tratamiento asignado en la restauración ecológica.

2: Corresponde al perfil de suelo del ecosistema de referencia.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.10.1. Clasificación y descripción de los suelos

Dentro del área de estudio se ha identificado 1 orden, 1 suborden, 1 gran grupo y 2 subgrupos de suelos. Para mayor facilidad, a los subgrupos se les ha asignado un nombre local que tipifican las actividades zonales tales como toponimia local. La siguiente tabla, presenta las unidades taxonómicas identificadas, organizadas jerárquicamente.

Tabla 23
Clasificación de suelos

<i>Soil Taxonomy (2014)</i>				Nombre Común de Suelos
Orden	Sub orden	Gran grupo	Sub grupo	
<i>Entisols</i>	<i>Orthents</i>	<i>Torriorthents</i>	<i>Lithic Torriorthents</i>	Lomas (Lo)
			<i>Anthraltic Torriorthents</i>	Restauración (Re)

Fuente: Elaboración propia.

4.1.10.2. Descripción de las unidades cartográficas

Los suelos del área de evaluación se distribuyen en pendientes plana a ligeramente inclinada (0-4 %), fuertemente inclinada (8-15 %), moderadamente empinada (15 – 25%), empinada (25 – 50%) y muy empinada (50 – 75%), a estas pendientes se le asigna una letra, tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 24
Unidades cartográficas

Término Descriptivo	Rango (%)	Símbolo
Plana a ligeramente inclinada	0 - 4	A
Moderadamente inclinada	4 - 8	B
Fuertemente inclinada	8 - 15	C
Moderadamente empinada	15 - 25	D
Empinada	25 - 50	E
Muy empinada	50 - 75	F

Fuente: Adaptado de D.S. N.º 017-2009-AG.

A partir del subgrupo identificado se ha definido 2 consociaciones, las cuales están representadas considerando sus fases por pendiente y un área miscelánea. A continuación, se

describirá cada una de las unidades cartográficas delimitadas, en la Tabla 25 se muestra el resumen de estas.

a. Consociación Lomas

Pertenece al subgrupo *Lithic Torriorthents*. Presenta un perfil con horizontes de tipificación A-C, con horizonte de diagnóstico denominado óchrico. Esta consociación agrupa a los suelos originados a partir de materiales residuales, con pendientes entre 15% y 75%, y con relieves moderadamente empinados a muy empinados. El régimen de temperatura es isotérmico y el de humedad es arídico (tórrico). En el mapa de suelos se presenta en fases por pendiente D, E y F.

- **Suelo Lomas (Lo)**

Es un suelo superficial con textura franca, de estructura en bloques subangulares de tamaño fino y de grado fuerte, de color marrón (7.5YR 4/2) a marrón oscuro (7.5Y 3/2). Presenta pedregosidad superficial de clase moderadamente pedregoso, de consistencia ligeramente duro en seco, no adherente ni plástico, con una proporción de fragmentos rocosos muy poco a frecuente, principalmente grava fina a gruesa con forma redondeada esferoidal a subredondeado esferoidal. La permeabilidad es moderada y el drenaje es bueno. Presenta raíces finas y muy finas con una abundancia de clase común. Presentan un grado de erosión hídrica muy ligera, debido a la pendiente y las condiciones climáticas propias de la zona.

Presenta una reacción ligeramente ácida (pH: 6.13) en superficie a moderadamente ácida (pH: 5.75) en profundidad, muy ligeramente salino (1.03 a 0.88 dS/m), la presencia de carbonatos es nula a lo largo del perfil (0.0 %). El nivel de materia orgánica es alto (6.62 a 5.79%), el nivel de fósforo disponible es bajo (0.8 a 3.7 ppm), el nivel de potasio disponible (234 a 150 ppm) es medio y el contenido de nitrógeno es bajo (0.42 a 0.39%).

La CIC efectiva es muy alta (25.6 a 24.3 meq/100 g) debido a la escasa presencia de los coloides arcilla y humus, el calcio (16.6 meq/100 g) es el catión que muestra las mayores

concentraciones en el complejo arcillo-húmico. El PSB representa el 100 % de la CIC efectiva, no presentan yeso soluble, el catión y anión soluble de mayor presencia es el sodio Na^{+1} con 10.35 meq/l y cloruro Cl^{-} con 17.5 meq/l. El riesgo de sodificación es bajo (RAS menor a 10) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es 2.85%, lo que le permite no ser clasificado dentro de los suelos salinos. La fertilidad natural del suelo en la capa arable es baja.

b. Consociación Restauración

Pertenece al subgrupo Anthraltic Torriorthents. Este suelo se encuentra sobre materiales transportados por el hombre (depósito de desmonte), por lo que se le asigno el Subgrupo Anthrodensic. Esta consociación cuenta con pendientes entre 0% y 75%, y con relieves plano a ligeramente inclinado a muy empinados. El régimen de temperatura es isotérmico y el de humedad es arídico (tórrico). En el mapa de suelos se presenta en la fase por pendiente A, C, D, E y F.

- **Suelo Restauración (Re)**

Este suelo se presenta en los diversos tratamientos realizados los cuales se detallan a continuación:

Tratamiento de parcelas

Es un suelo superficial con textura franco-arenosa, de estructura en bloques subangulares de tamaño fino a muy fino y de grado moderado, no adhesiva ni plástica, de color marrón pálido (10YR 8/2) a gris pálido (10YR 7/2). Presentan pedregosidad superficial de clase moderadamente pedregoso, de consistencia suave en seco, con poca presencia de fragmentos de roca, principalmente grava media a fina con forma subredondeado esferoidal a redondeado tabular. La permeabilidad es moderadamente rápida y el drenaje es bueno. Presenta raíces muy finas con una abundancia de clase poca. Presentan un grado de erosión hídrica nula, debido a las condiciones climáticas propias de la zona.

Presenta una reacción moderadamente alcalina (pH: 7.93) en la primera parcela a ligeramente alcalina (pH: 7.72) en la segunda parcela; muy ligeramente salino (1.05 dS/m) a moderadamente salino (5.53 dS/m) y con niveles muy altos de carbonatos (24.8 a 26.2 %). El nivel de materia orgánica es bajo (0.76 a 1.45 %), el nivel de fósforo disponible es medio a alto (8.4 a 48.4 ppm), el nivel de potasio disponible (154 a 708 ppm) es medio a alto y el contenido de nitrógeno es bajo (0.1%). La CIC efectiva es media a baja (14.72 a 9.28 meq/100 g) debido a la escasa presencia de los coloides arcilla y humus, el calcio (11.2 a 6.71 meq/100 g) es el catión que muestra las mayores concentraciones en el complejo arcillo-húmico. El PSB representa el 100 % de la CIC efectiva, no presentan yeso soluble, el sodio Na^{+1} (12.83 meq/l) y calcio Ca^{+2} (71.0 meq/l) son los cationes solubles que muestra las mayores concentraciones; por otra parte, el anión soluble de mayor presencia es el cloruro con Cl^{-} con 15 a 112 meq/l para las parcelas 1 y 2, respectivamente. El riesgo de sodificación es bajo (RAS menor a 10) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es 3.25 a 2.8%, lo que le permite no ser clasificado dentro de los suelos salinos. La fertilidad natural del suelo en el material de cobertura.

Tratamiento de terrazas

Es un suelo superficial con textura franco-arenosa, de estructura en bloques subangulares de tamaño muy fino de grado moderado, no adhesiva ni plástica, de color gris parduzco claro (2.5Y 6/2) a marrón pálido (2.5Y 8/2). Presentan pedregosidad superficial de clase ligeramente pedregoso, de consistencia suave en seco, con frecuente a muy poca presencia de fragmentos de roca, principalmente grava media a fina con forma subredondeado tabular a redondeado planar. La permeabilidad es moderadamente rápida y el drenaje es bueno. Presenta raíces muy finas con una abundancia de clase poca. Presentan un grado de erosión hídrica nula, debido a las condiciones climáticas propias de la zona.

Presenta una reacción ligeramente alcalina (pH: 7.72 a 7.89) en ambas terrazas; muy ligeramente salino (0.92 a 0.94 dS/m) y con niveles muy altos de carbonatos (45.8 a 59.6 %). El nivel de materia orgánica es bajo (0.97 a 0.62 %), el nivel de fósforo disponible es bajo a medio (5.9 a 12.9 ppm), el nivel de potasio disponible (80 a 123 ppm) es bajo a medio y el contenido de nitrógeno es bajo (0.1%). La CIC efectiva es baja muy baja (8.48 a 3.48 meq/100 g) debido a la escasa presencia de los coloides arcilla y humus, el calcio (6.42 a 2.66 meq/100 g) es el catión que muestra las mayores concentraciones en el complejo arcillo-húmico. El PSB representa el 100 % de la CIC efectiva, no presentan yeso soluble, calcio Ca^{+2} (13.15 a 18.2 meq/l) es el catión soluble que muestra las mayores concentraciones; por otra parte, los aniones solubles de mayor presencia son el cloruro con Cl^- con 12.4 meq/l y Sulfato SO_4^{-2} con 18.27 para las terrazas 1 y 2, respectivamente. El riesgo de sodificación es bajo (RAS menor a 10) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es 2.97 a 3.17%, lo que le permite no ser clasificado dentro de los suelos salinos. La fertilidad natural del suelo en el material de cobertura es baja.

Área Rocosa

Es un suelo superficial con textura franca, de estructura en bloques subangulares de tamaño fino a medio, no adhesiva ni plástica, de color gris parduzco claro (2.5Y 6/2). Presentan pedregosidad superficial de clase extremadamente pedregoso, de consistencia suelta en seco, con presencia de fragmentos de roca de tamaño grueso a medio, principalmente grava de forma redondeada planar en el primer. La permeabilidad es moderada y el drenaje es algo bueno. Presenta raíces finas y muy finas con una abundancia de clase poca. Presentan un grado de erosión hídrica nula, debido a las condiciones climáticas propias de la zona.

Presenta una reacción ligeramente alcalina (pH: 7.76), muy ligeramente salino (0.87 dS/m) y con muy altos niveles de carbonatos (21.5 %). El nivel de materia orgánica es medio (2.48 %), el nivel de fósforo disponible es medio (13.5 ppm), el nivel de potasio disponible (208

ppm) es medio y el contenido de nitrógeno es alto (0.27%). La CIC efectiva es media (13.76 meq/100 g) debido a la escasa presencia de los coloides arcilla y humus, el calcio (10.68 meq/100 g) es el catión que muestra las mayores concentraciones en el complejo arcillo-húmico. El PSB representa el 100 % de la CIC efectiva, no presentan yeso soluble, el catión y anión soluble de mayor presencia es el calcio Ca^{+2} con 12.25 meq/l y sulfato SO_4^{-2} con 22.0 meq/l. El riesgo de sodificación es bajo (RAS menor a 10) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es 2.4%, lo que le permite no ser clasificado dentro de los suelos salinos. La fertilidad natural del suelo en el material de cobertura es media.

Área de Restauración Pasiva

Es un suelo superficial con textura franco-arenosa de estructura granular, no adhesiva ni plástica, de color marrón pálido (2.5Y 7/3). Presentan pedregosidad superficial de clase muy pedregoso, de consistencia suelta en seco, con presencia de fragmentos de roca de tipo grava de tamaño medio a grueso y de forma subangular esferoidal. La permeabilidad es moderadamente rápida y el drenaje es bueno. Presenta raíces finas y muy finas con una abundancia de clase poca. Presentan un grado de erosión hídrica nula, debido a las condiciones climáticas propias de la zona.

Presenta una reacción moderadamente alcalina (pH: 8.15), muy ligeramente salino (0.46 dS/m) y con niveles muy altos de carbonatos (21.94 %). El nivel de materia orgánica es bajo (0.48 %), el nivel de fósforo disponible es bajo (4.7 ppm), el nivel de potasio disponible (53 ppm) es bajo y el contenido de nitrógeno es bajo (0.08%). La CIC efectiva es media (11.68 meq/100 g) debido a la escasa presencia de los coloides arcilla y humus, el calcio (9.61 meq/100 g) es el catión que muestra las mayores concentraciones en el complejo arcillo-húmico. El PSB representa el 100 % de la CIC efectiva, no presentan yeso soluble, el catión y anión soluble de mayor presencia es el calcio Ca^{+2} con 5.65 meq/l y cloruro Cl^- con 7.1 meq/l. El riesgo de sodificación es bajo (RAS menor a 10) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es 2.31%,

lo que le permite no ser clasificado dentro de los suelos salinos. La fertilidad natural del suelo en el material de cobertura es baja.

Área de Control Botadero

Es un suelo superficial con textura franco-arenosa, de estructura granular, no adhesiva ni plástica, de color amarillo pálido (5Y 8/2). Presentan pedregosidad superficial de clase muy pedregoso, de consistencia suelta en seco, con presencia de fragmentos de roca con una proporción de volumen frecuente, principalmente grava de tamaño media a fina con forma subredondeado esferoidal.

La permeabilidad es moderadamente rápida y el drenaje es bueno. Presenta raíces finas y muy finas con una abundancia de clase poca. Presentan un grado de erosión hídrica nula, debido a las condiciones climáticas propias de la zona.

Presenta una reacción fuertemente alcalina (pH: 8.44), muy ligeramente salino (0.46 dS/m) y con niveles muy altos de carbonatos (21.94 %). El nivel de materia orgánica es bajo (0.7 %), el nivel de fósforo disponible es alto (18.3 ppm), el nivel de potasio disponible (123.4 ppm) es medio y el contenido de nitrógeno es bajo (0.03%). La CIC efectiva es baja (8.09 meq/100 g) debido a la escasa presencia de los coloides arcilla y humus, el calcio (7.21 meq/100 g) es el catión que muestra las mayores concentraciones en el complejo arcillo-húmico. El PSB representa el 100 % de la CIC efectiva y el cloruro Cl⁻ como anión soluble presenta un valor de 31.56 meq/l. El riesgo de sodificación es bajo (RAS menor a 10) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es 1.98%, lo que le permite no ser clasificado dentro de los suelos salinos. La fertilidad natural del suelo en el material de cobertura es baja.

c. Áreas misceláneas

Accesos compactados

Estas áreas engloban a los accesos conformados a lo largo de la Desmontera 500; se ubican con dirección sur a norte. A continuación, se muestra un cuadro resumen de la caracterización realizada en el trabajo de campo, laboratorio y gabinete.

Tabla 25
Unidades cartográficas de suelos

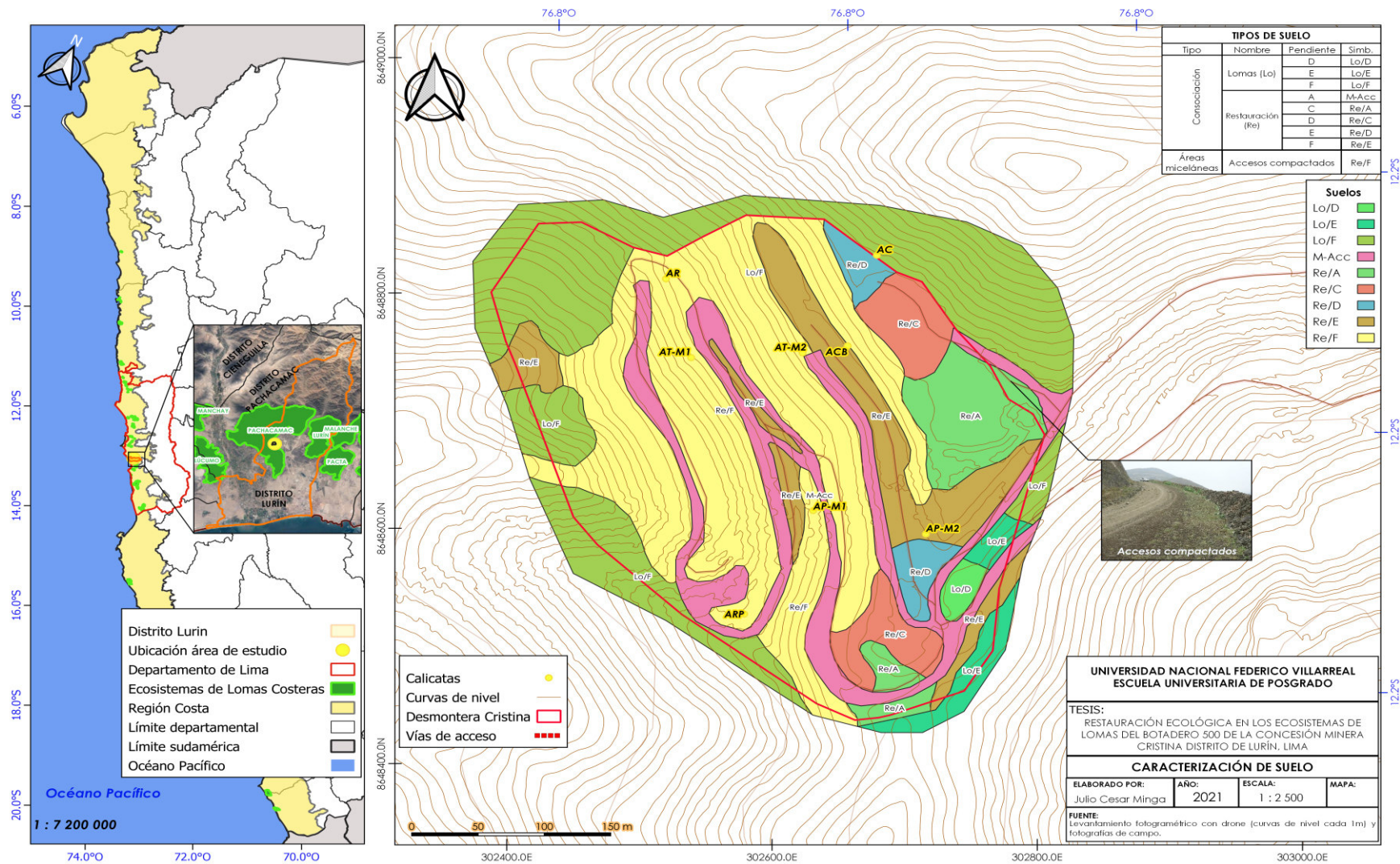
Tipo	Nombre	Fase por pendiente	Proporción	Símbolo
Consociación	Lomas	D	100	Lo/D
		E		Lo/E
		F		Lo/F
	Restauración ¹	A		Re/A
		C		Re/C
		D		Re/D
		E		Re/E
Áreas Misceláneas	Accesos compactados	F	Re/F	
			M-Acc	

¹Engloba a los diversos tratamientos que se han implementado.

Elaboración: (JCI, 2021).

Figura 30

Mapa de caracterización de suelos



4.1.11. Caracterización biológica

Se seleccionó a una superficie de tipo herbácea cercana al botadero 500 de la cantera Cristina a fin de realizar la evaluación de la vegetación mediante el transecto intercepción – punto.

Figura 31

Ecosistema de referencia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32

Transecto intersección punto



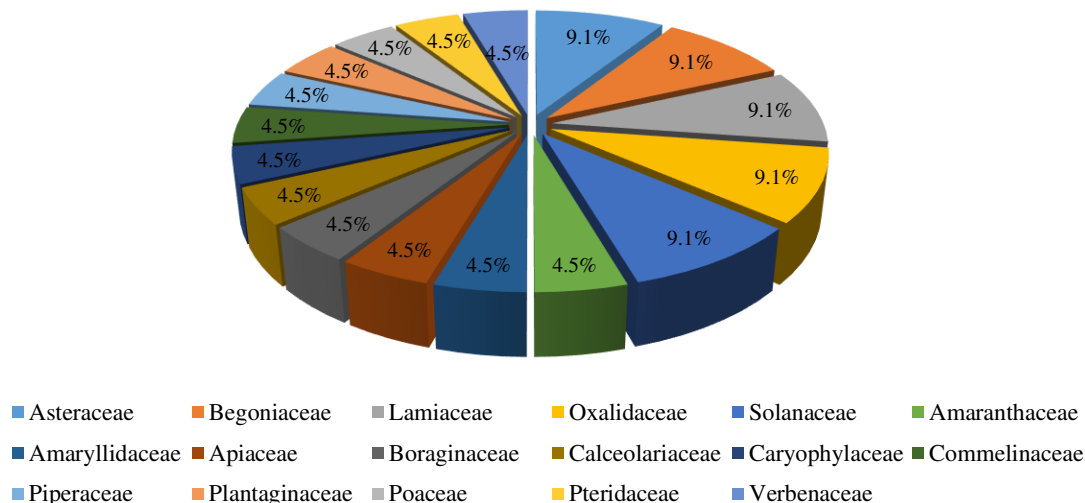
Fuente: Elaboración propia.

Se registraron 22 especies agrupadas en 17 familias botánicas, siendo Asteraceae, Begoniaceae, Lamiaceae, Oxalidaceae y Solanaceae las más representativas con el 9.1% cada

una y 2 especies respectivamente; mientras que, las 12 familias restantes registraron una especie y representan el 4.5% respectivamente.

Figura 33

Composición de especies por familia botánica

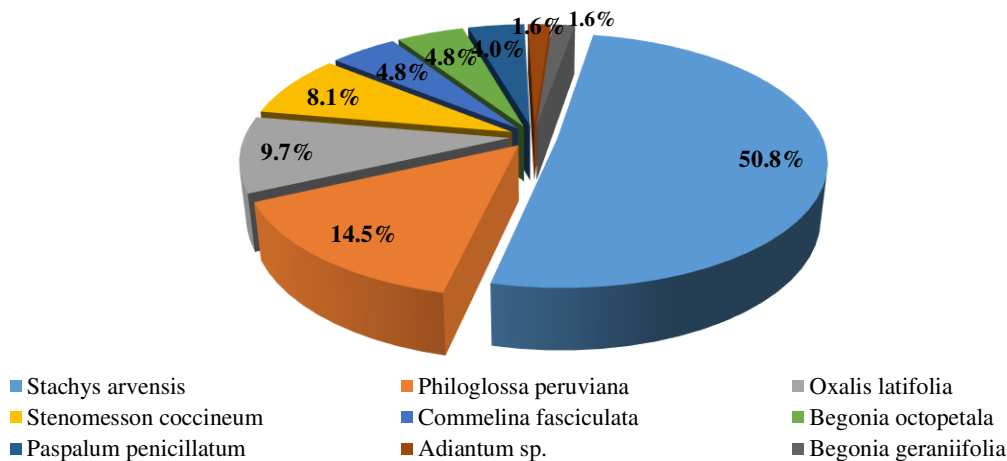


Fuente: Elaboración propia.

Además, registraron 9 especies con mayor representatividad: *Stachys arvensis* presentó una cobertura de 50.8% de representatividad, seguida por *Philoglossa peruviana* con 14.5%, *Oxalis latifolia* con 9.7% de cobertura, *Stenomesson coccineum* con 8.1%, *Commelina fasciculata* y *Begonia octopetala* presentaron 4.84%, *Paspalum penicillatum* registró 4%, y *Adiantum* sp. y *Begonia geraniifolia* tienen una cobertura 1.6% cada una (Figura 34).

Figura 34

Cobertura por especie registrada en el ecosistema de referencia

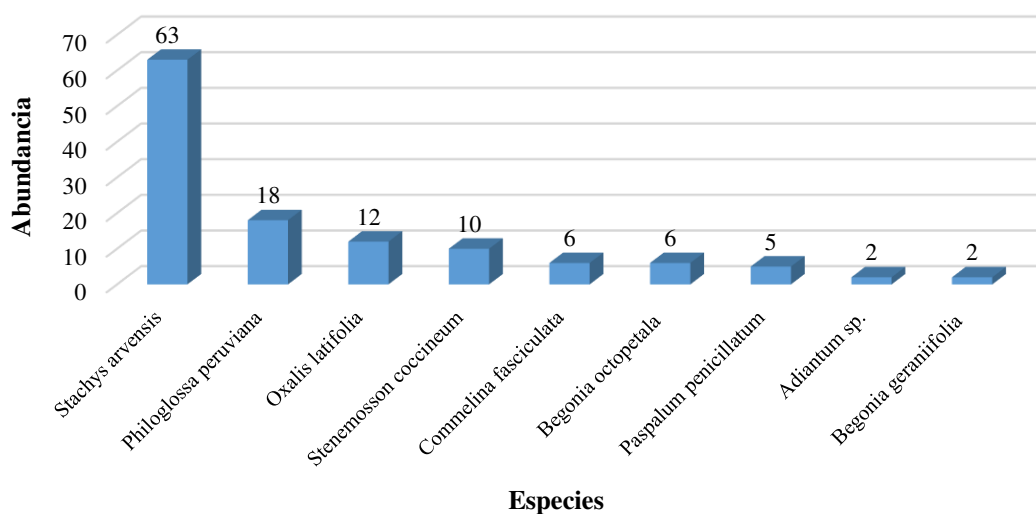


Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la abundancia por especies, en el área de referencia la más abundante fue *Stachys arvensis* con 63 individuos, seguida de *Philoglossa peruviana* con 18 individuos, *Oxalis latifolia* con 12, *Stenomesson coccineum* con 10, *Commelina fasciculata* y *Begonia octopetala* con 6 individuos cada una, *Paspalum penicillatum* con 5 y finalmente *Adiantum sp.* y *Begonia geraniifolia* con 2 individuos cada una.

Figura 35

Abundancia por especie registrada en el ecosistema de referencia



Fuente: Elaboración propia.

La lista total de especies registradas en el ecosistema de referencia se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 26

Lista de especies registradas en el ecosistema de referencia

Nº	Familia	Especie
1	Amaranthaceae	<i>Alternanthera halimifolia</i> (Lam.) Standl. ex Pittier
2	Amaryllidaceae	<i>Stenomesson coccineum</i>
3	Apiaceae	<i>Cyclospermum laciniatum</i>
4	Asteraceae	<i>Erigeron leptorhizon</i> DC
5	Asteraceae	<i>Philoglossa peruviana</i> DC.
6	Begoniaceae	<i>Begonia geraniifolia</i> Hook
7	Begoniaceae	<i>Begonia octopetala</i> L'Hér.
8	Boraginaceae	<i>Heliotropium angiospermum</i> Murray
9	Calceolariaceae	<i>Calceolaria pinnata</i> Ruiz & Pav.

10	Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i> (L.) Cirillo
11	Commelinaceae	<i>Commelina fasciculata</i> Ruiz & Pav.
12	Lamiaceae	<i>Salvia paposana</i> Phil
13	Lamiaceae	<i>Stachys arvensis</i> (L.) L.
14	Oxalidaceae	<i>Oxalis latifolia</i> Kunth
15	Oxalidaceae	<i>Oxalis megalorrhiza</i> Jacq
16	Piperaceae	<i>Peperomia umbilicata</i> Ruiz & Pav.
17	Plantaginaceae	<i>Veronica persica</i> Poir
18	Poaceae	<i>Paspalum penicillatum</i>
19	Pteridaceae	<i>Adiantum</i> sp.
20	Solanaceae	<i>Nicotiana paniculata</i> L.
21	Solanaceae	<i>Solanum montanum</i> L.
22	Verbenaceae	<i>Verbena litoralis</i> Kunth

Fuente: Elaboración propia.

Se registró una especie categorizada en el Decreto supremo N° 043-2006; mientras que a nivel internacional IUCN y Cites no se registró ninguna especie. Respecto a endemismos, se registraron 2 especies de amplia distribución en el ámbito peruano (ver Tabla 21).

Tabla 27

Lista de especies registradas en el ecosistema de referencia

Familia	Especie	D.S. N° 043-2006	IUCN (2020-3)	Cites (2020)	Endemismo
Begoniaceae	<i>Begonia octopetala</i>	EN	-	-	-
Asteraceae	<i>Philoglossa peruviana</i>	-	-	-	AN, AR, CA, LL, LI, TA.
Solanaceae	<i>Nicotiana paniculata</i>	-	-	-	AN, AR, AY, CA, IC, JU, LA, LL, LI, MO.

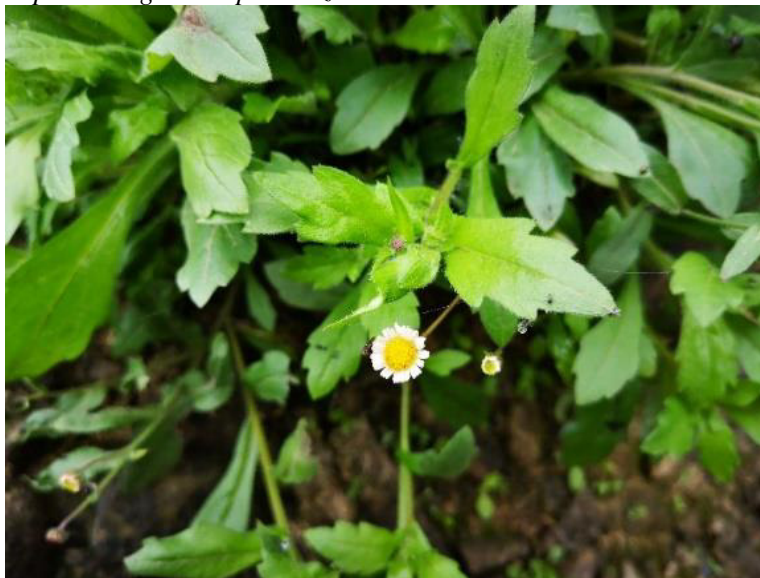
Fuente: Elaboración propia.

Figura 36

Especie Veronica pérsica



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37*Especie Erigeron leptorrhizon*

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Pruebas de ensayo

En base a las visitas de campo e información recopilada durante la etapa del diagnóstico físico – ambiental del área de estudio, se determinó el potencial de regeneración del ecosistema, para lo cual se realizaron pruebas experimentales en parcelas de ensayo para ejecutar la restauración ecológica en el depósito de desmonte 500 de la Cantera Cristina.

Figura 38*Vista panorámica del depósito de desmonte 500 Cristina en el cual se instalarán las parcelas de ensayo*

Fuente: Elaboración propia.

Se seleccionó un área de 800 m² dentro del depósito de desmonte 500 con una pendiente de 45°, sobre el cual se propuso establecer 6 ensayos de propagación para identificar cuál de

los propuestos es el más efectivo acorde a los objetivos planteados, identificar y estimar la cantidad de insumos a necesitar para la restauración, entre otros indicadores clave a monitorear.

Se aplicarán los siguientes ensayos:

- T1: 5 parcelas de 1 m² con incorporación de suelo superficial (control).
- T2: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial con incorporación de broza y semillas de lomas.
- T3: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial con incorporación de lluvia de semillas colectadas de loma.
- T4: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial donde se sembrará en surcos u hoyos las semillas con hidrogel.
- T5: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial y siembra de semillas seleccionadas en vivero.
- T6: 5 parcelas de 1 m² con una capa de suelo superficial regado con solución de Macronutrientes y micronutrientes, lluvia de semillas colectadas de campo y broza.

Las parcelas fueron ubicadas con una separación equidistante de 4 m aproximadamente y en cada una de ellas se acondicionó el material litológico superficial existente con el objetivo de evitar el deslizamiento debido a la fuerte pendiente de la ladera.

Cada parcela fue codificada para realizar las evaluaciones postratamiento: germinación, riqueza y cobertura. También se consideró el efecto borde para las parcelas de ensayo (Figura 39).

Figura 39*Diseño de parcelas de ensayo*

		EFECTO BORDE									
		1	2	3	4	5	6	7	8		
EFECTO BORDE	6										EFECTO BORDE
	11										
	16										
	21										
	26										
	27										
	28										
	29										
		EFECTO BORDE									

Fuente: Elaboración propia.

T1	Control (sustrato 5 cm de altura)
T2	Sustrato + broza + semillas de campo
T3	Sustrato con semillas de campo
T4	Sustrato con semillas de campo + hidrogel
T5	Sustrato con semillas de especies seleccionadas de vivero
T6	Sustrato, con broza, semillas de campo y solución macro y micronutriente.

Fuente: Elaboración propia.

Además, fue necesario establecer puntos de anclajes y líneas de vida mediante el cual el personal con el uso de arneses y herramientas manuales estableció las parcelas 1x1 m de cada uno de los tratamientos.

Figura 40*Trabajos con arneses en la implementación de parcelas de ensayo*

Fuente: Elaboración propia.

Cada parcela fue pircada con rocas propias del depósito de desmonte 500 para evitar la erosión del suelo, se instalaron estacas para delimitar su área y cinta flagging para el marcaje

y su codificación. Se propuso un plan de monitoreo semanal, en el cual se evaluó el número de individuos, la cobertura vegetal y riqueza de las especies. Adicionalmente, para la ejecución de la investigación, se involucró a las comunidades cercanas al área de estudio que comprendió Cardal, Cucuya y Cerro El Manzano. El personal seleccionado fue capacitado con inducciones de seguridad, exámenes médicos, uso de arneses, colecta y almacenamiento de semillas, identificaciones de especies botánicas de lomas costeras, entre otros. El trabajo fue realizado en la temporada seca, estableciendo 6 ensayos experimentales que involucró la colecta de semillas, broza y sustrato.

4.2.1. Primera etapa

4.2.1.1. Colecta de semillas

Para los ensayos propuestos se recolectaron semillas de 12 especies, ascendiendo a una cantidad de 3700g. Se debe mencionar que la baja cantidad de especies estuvo condicionada a la temporada seca en que se inició el proyecto, periodo en el cual la gran cantidad de las especies de lomas se encontraban en su último estadio fenológico y cuyas semillas ya habían sido dispersadas por el viento; mientras que, otras especies todavía se encontraban en floración o fructificación y se decidió no colectarlas porque la recolección temprana podría afectar los procesos fisiológicos de los individuos disminuyendo significativamente la germinación de las semillas.

Tabla 28

Lista de especies colectadas para los ensayos

N°	Familia	Especie	Peso bruto (g)
1	<i>Asteraceae</i>	<i>Acmella oleracea</i>	600
2	<i>Asteraceae</i>	<i>Erigeron leptorhizon</i>	600
3	<i>Asteraceae</i>	<i>Villanova oppositiflora</i>	150
4	<i>Asteraceae</i>	<i>Ophryosporus pubescens</i>	600
5	<i>Boraginaceae</i>	<i>Heliotropium angiospermum</i>	100
6	<i>Calceolariaceae</i>	<i>Calceolaria pinnata</i>	200
7	<i>Lamiaceae</i>	<i>Salvia paposana</i>	250
8	<i>Lamiaceae</i>	<i>Stachys arvensis</i>	100
9	<i>Malvaceae</i>	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	400
10	<i>Papaveraceae</i>	<i>Argemone subsiformis</i>	100
11	<i>Plantaginaceae</i>	<i>Veronica persica</i>	200
12	<i>Solanaceae</i>	<i>Nicotiana paniculata</i>	400
		<i>Total</i>	3 700

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41*Recolección de semillas*

Fuente: Elaboración propia

Luego de la recolección de las semillas, se realizó el secado de semillas de especies de loma colectadas en las inmediaciones del depósito de desmonte 500.

Figura 42*Secado de semillas*

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2. Colecta de broza

Para la implementación de los ensayos se recolectaron 80kg de broza del área referencial con ayuda de un machete se cortará todo el material vegetativo de lomas, se armarán cinco (5) fardos con la finalidad que cada una de ellas cubra las cinco parcelas de 1 m². Los fardos deberán contener broza de las especies registradas en la zona de referencia.

Figura 43

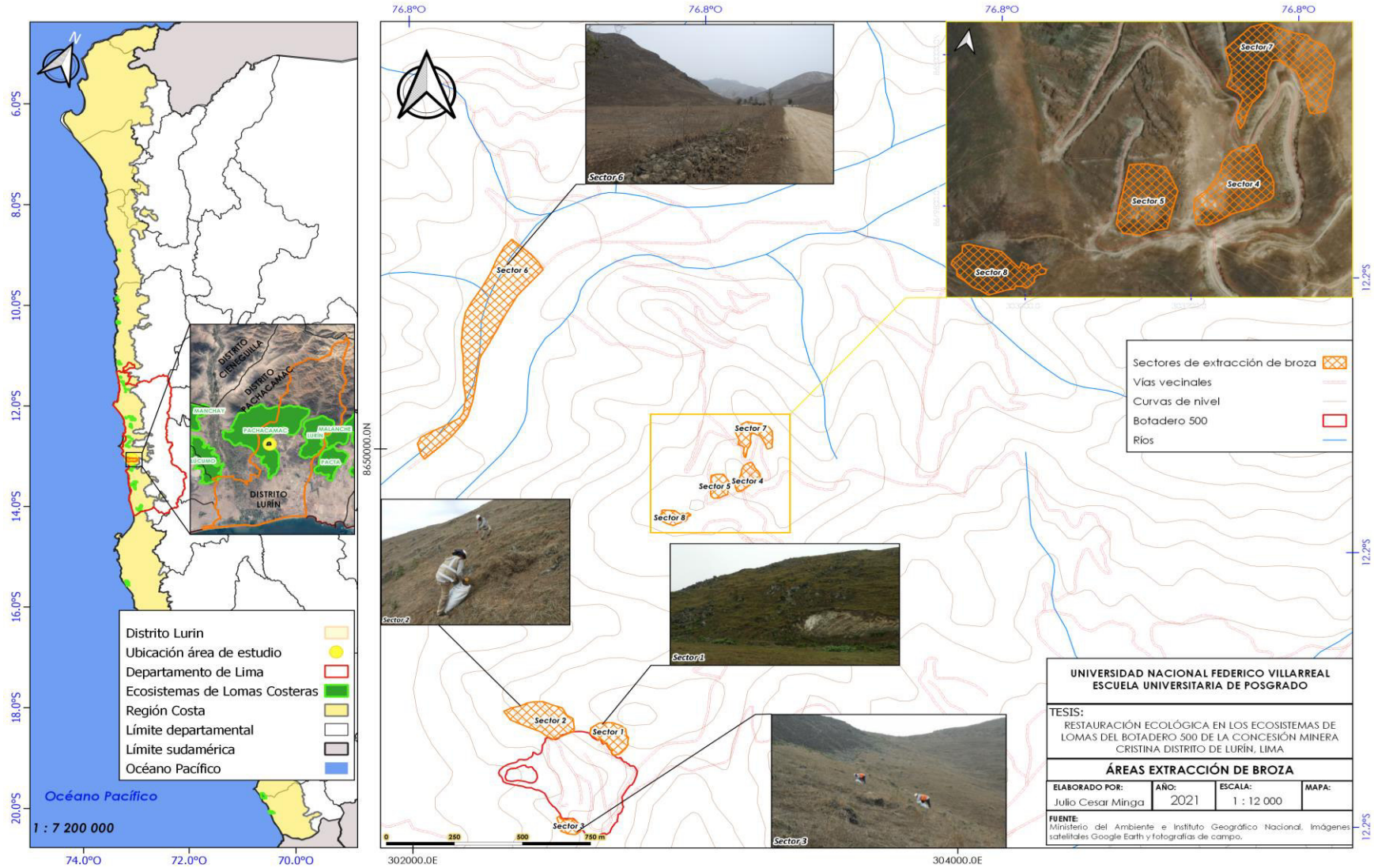
Colecta de broza



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44

Mapa de áreas de extracción de broza



4.2.1.3. Selección de sustrato

El sustrato fue colectado de montículos de tierra previamente identificados durante el diagnóstico, el cual fue obtenido a partir de una profundidad de 20 cm bajo la superficie, para evitar la contaminación de otro tipo de semillas ajenas a las ya colectadas para el ensayo; además, el sustrato fue cernido para evitar el material particulado y transportado hacia el área de establecimiento de las parcelas.

Figura 45

Fuente de sustrato suelo en los alrededores del depósito de desmonte 500 de la cantera Cristina



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46

Fuente de sustrato suelo en los alrededores del depósito de desmonte 500 de la cantera Cristina (2)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47*Recolección del sustrato*

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, fue colocado en cada una de las parcelas de manera manual, de acuerdo con su tratamiento respectivo, y se procedió a instalar un sistema de riego por goteo, pues no se contaba con las condiciones climáticas propias de loma en temporada húmeda (temperatura, precipitación y humedad) y la germinación tuvo que ser inducida por riego continuo.

4.2.1.4. Siembra

Para el proceso de siembra se añadió 25g (peso bruto) de semillas, según las proporciones de la Tabla 29 a cada parcela y por tratamiento, a excepción del tratamiento control (T1) el cual solo se le aplicó sustrato; y el tratamiento T5 al cual se le aplicó semillas de especies de un vivero que únicamente correspondió a la especie *Salvia rhombifolia*.

En total se utilizaron 500g de los 3700g colectados, y se seleccionaron 8 especies herbáceas. Para el tratamiento T2 y T3 estas serán sembradas mediante lluvias de semillas y broza de requerir acorde al plan de investigación, para el tratamiento T4 las semillas serán sembradas en surcos u hoyos incorporados con hidrogel.

Tabla 29

Proporción de semillas por especie aplicada para los tratamientos ensayo

N°	Familia	Especie	Peso bruto (gr)
1	Malvaceae	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	10
2	Lamiaceae	<i>Salvia paposana</i>	3
3	Lamiaceae	<i>Stachys arvensis</i>	3
4	Asteraceae	<i>Acmella oleracea</i>	2
5	Asteraceae	<i>Erigeron leptorhizon</i>	2
6	Asteraceae	<i>Villanova oppositiflora</i>	2
7	Plantaginaceae	<i>Veronica persica</i>	2
8	Solanaceae	<i>Nicotiana paniculata</i>	1
Total			25

Fuente: Elaboración propia.

Figura 48

Tratamiento (T2 y T3) siembra en lluvia de semillas y tratamiento T4 siembra en surcos



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se estableció un programa de riego continuo que consistió en regar las parcelas 3 veces al día durante las 2 primeras semanas de establecimiento de los ensayos, con una cantidad de 4 L por parcelas, y una vez identificada la germinación de las plántulas la frecuencia de riego disminuyó a 2 veces al día durante 6 semanas adicionales que duró el ensayo haciendo un periodo total de 2 meses. Asimismo, se implementó un cronograma de monitoreo semanal en el cual se realizó el conteo de plántulas germinadas, la cobertura vegetal y la riqueza de las especies.

Figura 49

Vista panorámica de los tratamientos de ensayo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 50

Implementación de parcelas al tratamiento T2



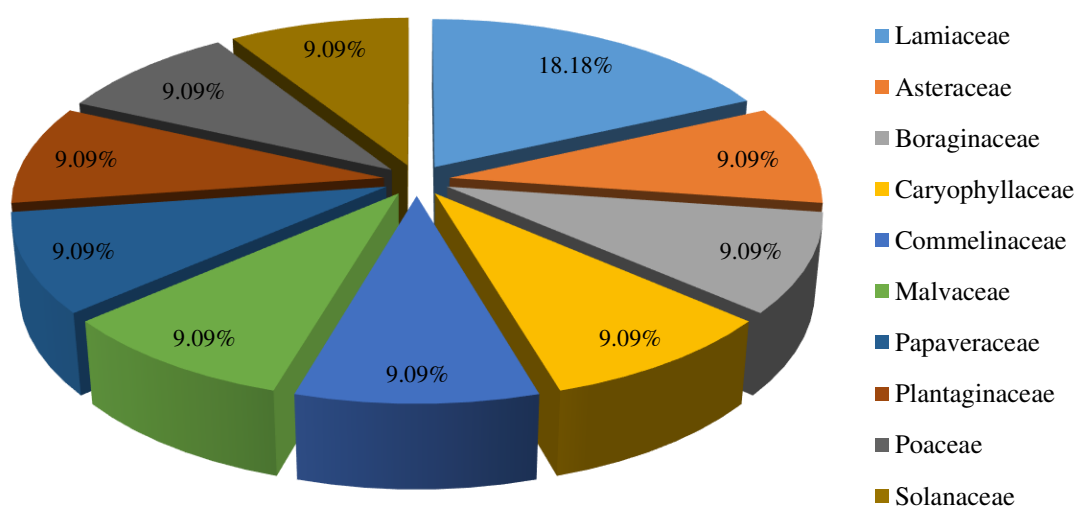
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.5. Registro de especies

De manera general en los 2 meses que duró el ensayo se registraron 11 especies en todos los tratamientos, distribuidas en 10 familias botánicas, siendo *Lamiaceae* la mejor representada con el 18.18% (2 especies); mientras que, el resto de las familias solo se registró una especie representando el 9.09 % respectivamente.

Figura 51

Composición de especie por familia botánica



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 30 se muestran las especies registradas en los tratamientos de ensayo.

Tabla 30

Lista de especies pioneras registradas en los tratamientos ensayo 1x1m

Nº	Familia	Especies	Especie sembrada	Especie nueva
1	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i>	-	X
2	Boraginaceae	<i>Heliotropium angiospermum</i>	-	X
3	Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i>	-	X
4	Commelinaceae	<i>Commelina fasciculata</i>	-	X
5	Lamiaceae	<i>Stachys arvensis</i>	X	-
		<i>Salvia rhombifolia</i>	X	-
6	Malvaceae	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	X	-
7	Papaveraceae	<i>Fumaria capreolata</i>	-	X
8	Plantaginaceae	<i>Veronica persica</i>	X	-
9	Poaceae	<i>Paspalum penicillatum</i>	-	X
10	Solanaceae	<i>Nicotiana paniculata</i>	X	-

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 52 se observan las primeras plántulas que brotan en los tratamientos de ensayo.

Figura 52

Primeras plántulas en los tratamientos de ensayo



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, luego de 8 monitoreos continuos se identificó que el tratamiento T2 (Sustrato con broza + semillas de campo) presentó los mejores resultados con el 100% de germinación en todas las parcelas establecidas. En la Figura 53, se aprecia una de las parcelas correspondientes al tratamiento T2, donde se evidencia gran cantidad de plántulas.

Figura 53

Tratamiento T2



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 54, se muestra una de las parcelas correspondiente al tratamiento T2, donde se evidencia una gran cantidad de plántulas, alcanzando el 80% de cobertura de la parcela.

Figura 54

Parcela de tratamiento T2 – 80% de cobertura



Fuente: Elaboración propia.

El tratamiento T3 (sustrato + semillas de campo) registró el 80% de germinación en 4 de las 5 parcelas, que se mantuvo hasta el término del periodo experimental; similar desempeño presentó el tratamiento T4 (sustrato + semillas de campo + hidrogel) que inicialmente presentó un 80% de éxito; sin embargo, en los monitoreos continuos disminuyó el 60%. En la siguiente figura se observa una de las parcelas correspondiente al tratamiento T3. Además, en la Figura 56 se tiene la vista panorámica de otra parcela de Tratamiento T3, donde se evidencia una gran cantidad de plántulas alcanzando el 30 % de cobertura de la parcela.

Figura 55

Tratamiento T3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 56*Tratamiento T3 con 30% de cobertura*

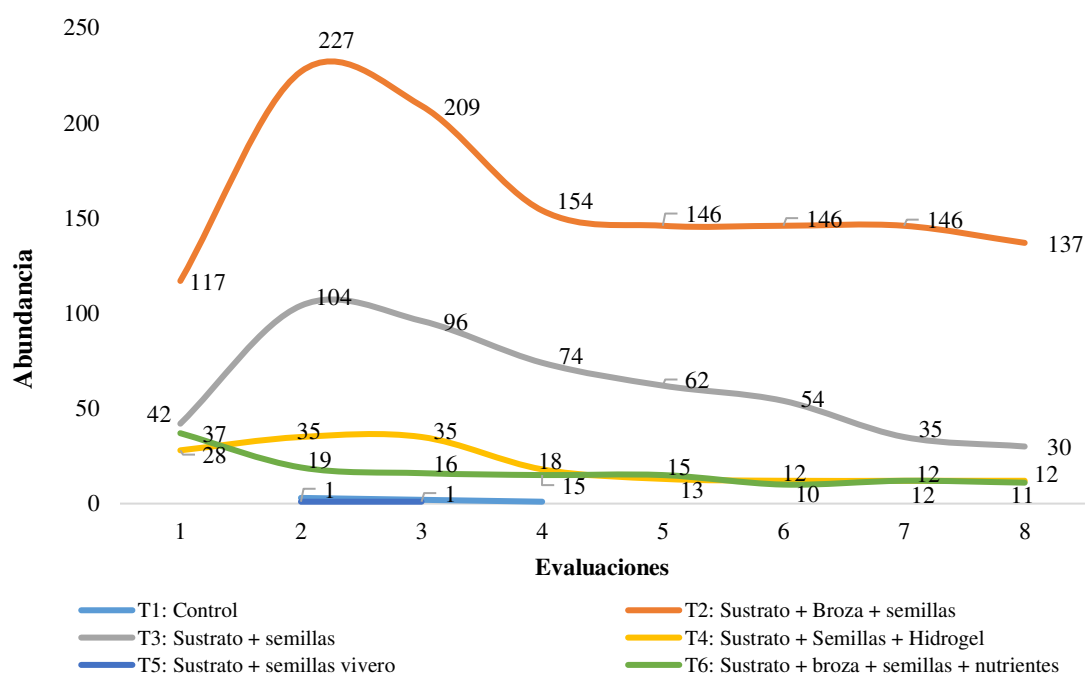
Fuente: Elaboración propia.

El tratamiento T5 (sustrato + semillas de vivero) no presentó germinación en ninguna de las parcelas establecidas al igual que el tratamiento control T1. El tratamiento T6 (Sustrato con broza + semillas de campo + solución de macro y micronutrientes) solo presentó el 40% de éxito para la germinación.

Con respecto a la abundancia, se evidencia que los mayores valores fueron registrados en el tratamiento T2, con un valor más alto en el segundo monitoreo con 227 plántulas, que disminuyó progresivamente hasta 137 individuos en la última evaluación. De igual manera, el tratamiento T3 registró su valor más alto en la segunda evaluación con 104 plántulas; sin embargo, disminuyó significativamente a 30 individuos durante la última evaluación, presentando el mismo comportamiento en el resto de los tratamientos (ver Figura 57).

Figura 57

Abundancia total registrada por Tratamiento ensayo en cada monitoreo de evaluación



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 58, se observa la Plántula de la especie *Stachys arvensis* infectada con el insecto plaga *Bemisia tabaco*.

Figura 58

Plántula de la especie *Stachys arvensis*



Fuente: Elaboración propia.

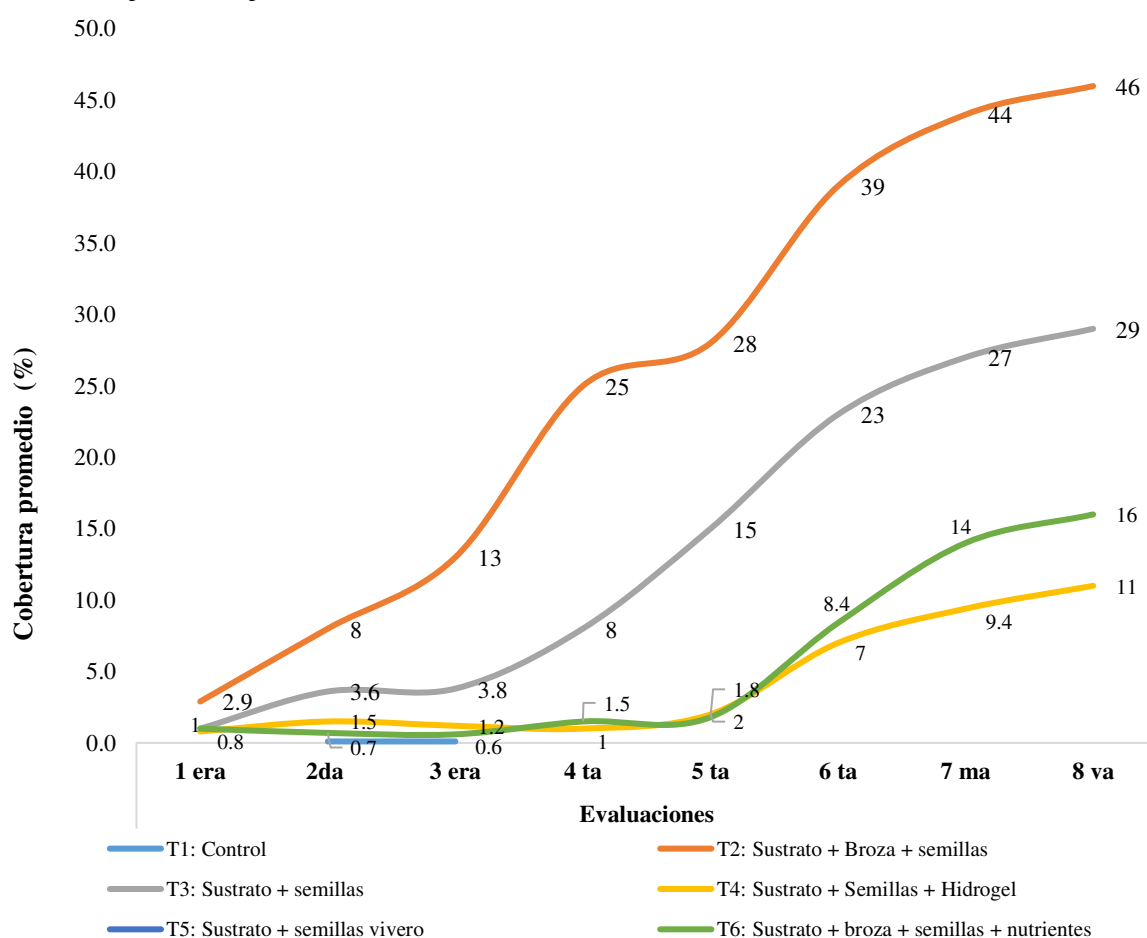
Por lo tanto, si todas las parcelas se encontraron bajo las mismas condiciones ambientales y de riego, se entiende que la broza ha sido un factor importante que permitió el desarrollo de las plántulas manteniendo la humedad del sustrato y protegiéndolas de radiación directa,

evitando la evapotranspiración y haciendo que este proceso sea más lento a diferencia del resto de los tratamientos que no presentaron este tipo de protección.

Del mismo modo, respecto a la cobertura vegetal, el tratamiento T2, luego de los 8 monitoreos continuos, presentó la mayor cobertura promedio con el 46%, seguida del tratamiento T3 con 29%, el tratamiento T6 con 16% y el tratamiento T4 con el 11%; mientras que, el tratamiento control T1 y T5 no presentaron cobertura vegetal. (ver Figura 25),

Figura 59

Cobertura promedio por Tratamiento en cada monitoreo de evaluación



Fuente: Elaboración propia.

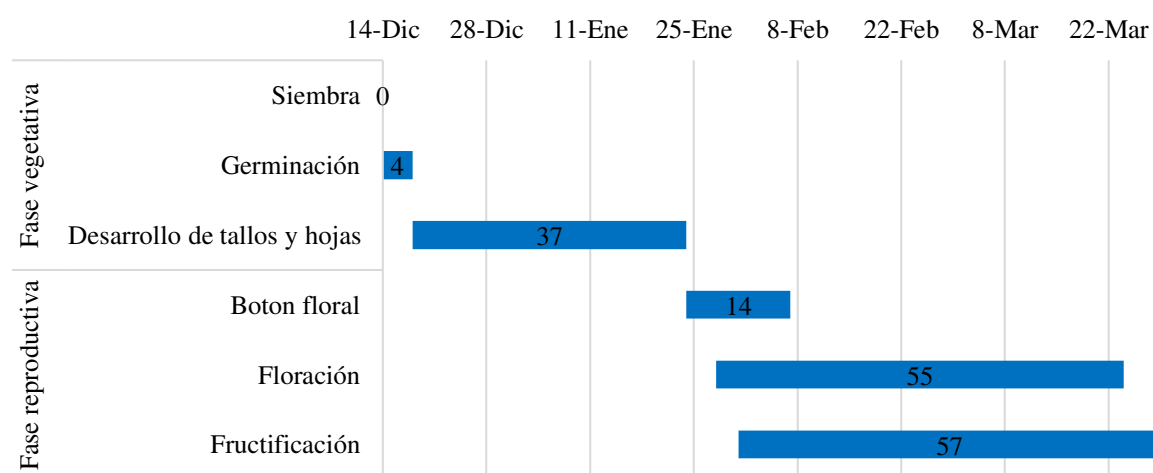
4.2.1.6. Fenología de algunas especies pioneras bajo condiciones inducidas

Las aplicaciones de la fenología en general tienen que ver con la conservación, mejoramiento y manejo de especies. En ecosistemas naturales, el conocimiento y la comprensión de los patrones fenológicos de especies arbóreas, por ejemplo; son de interés

básico en estudios ecológicos sobre las épocas de floración, fructificación, cantidad de follaje, brotaduras de hojas y frutos, y su relación con factores climáticos o estímulos ambientales. Además, contribuye a la búsqueda de la optimización del rendimiento de las especies de mayor importancia para el hombre en el aprovechamiento forestal, la fenología contribuye a la toma de decisiones de cuándo y cómo realizar los planes de corta, pues tiene un efecto directo sobre la regeneración de especies vegetales, así como el comportamiento, migración y dieta de la fauna. En las siguientes figuras se detalla la información de los estados fenológicos para las especies *Fuertesimalva peruviana*, *Stachys arvensis*, *Veronica pérsica* y *Heliotropium angiospermum*. Para la especie *Fuertesimalva peruviana*, la fase vegetativa inicia con el estado de germinación a partir del cuarto día, pasando al estado de formación de tallos y hojas que tiene un periodo aproximado de 37 días; por lo tanto, toda la fase vegetativa duró en promedio 41 días, a partir del cual se observa la aparición de los primeros botones florales, prolongándose por un tiempo estimado de 14 días. Luego de 45 días inicia la floración con la apertura de los primeros botones florales, que duró un estimado de 55 días. El estado de fructificación se evidencia en el día 48, teniendo una duración aproximada de 57 días. Transcurrido 105 días de evaluación, los individuos han cumplido la mayoría de sus estados fenológicos y se encuentran en la fase de maduración fisiológica. Ver Figura 60.

Figura 60

Estados fenológicos para la especie Fuertesimalva peruviana

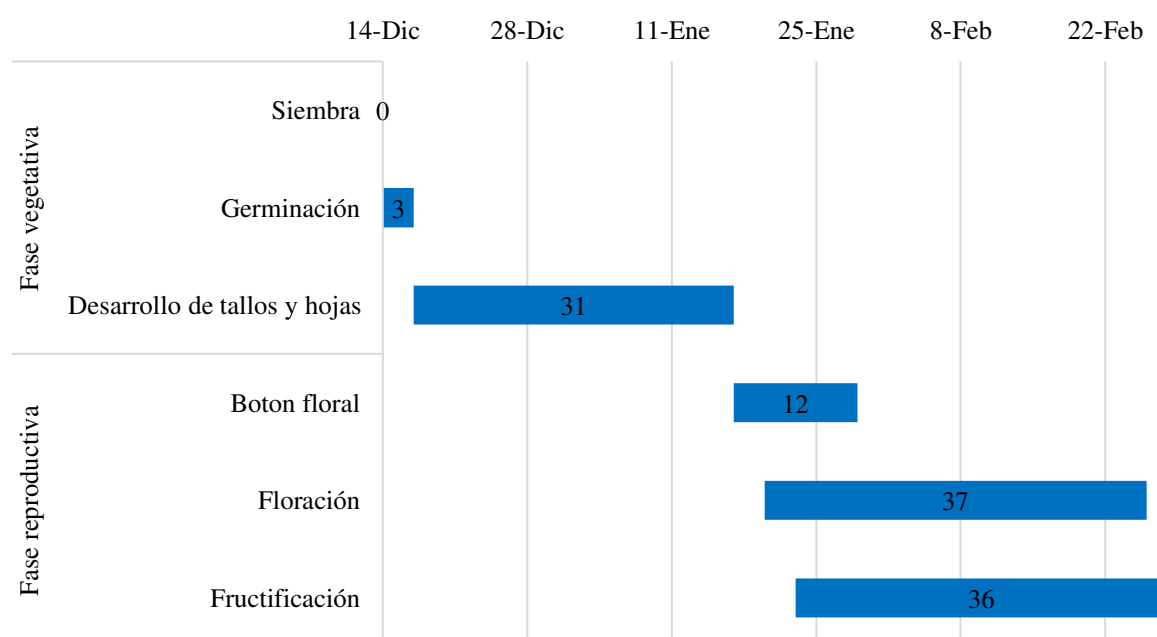


Fuente: Elaboración propia.

Para la especie *Stachys arvensis*, donde la fase vegetativa inicia con el estado de germinación a partir del tercer día, pasando al estado de formación de tallos y hojas que tuvo un periodo aproximado de 31 días; por lo tanto, toda la fase vegetativa dura en promedio 34 días, a partir del cual se observa la aparición de los primeros botones florales, iniciando la fase reproductiva, prolongándose por un estimado de 12 días. Luego de 37 días se inicia la floración con la apertura de los botones florales lo cual duró un estimado de 37 días. El estado de fructificación se evidencia en el día 40, teniendo una duración aproximada de 36 días. Transcurridos 76 días de evaluación los individuos han cumplido la mayoría de sus estados fenológicos y se encuentran en una fase de maduración fisiológica. Ver Figura 61.

Figura 61

Estados fenológicos para la especie Stachys arvensis



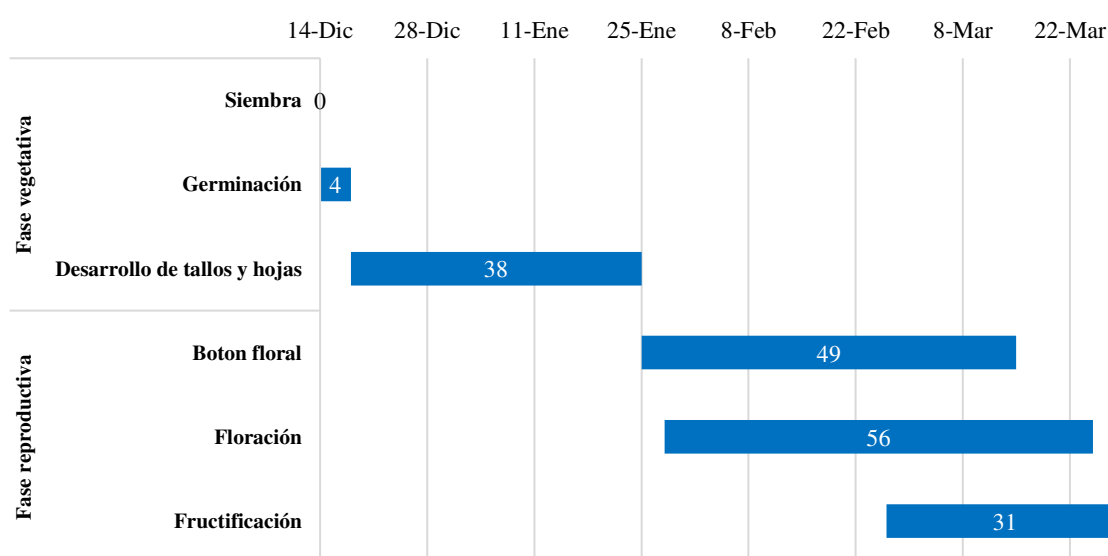
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, los resultados para la especie *Veronica persica*, donde la fase vegetativa inició con el estado de germinación a partir del cuarto día, pasando al estado de formación de tallos y hojas que tiene un periodo aproximado de 38 días; por lo tanto, toda la fase vegetativa duró en promedio 42 días, a partir del cual se observó la aparición de los primeros botones florales,

iniciando la fase reproductiva, prolongándose por un estimado de 49 días. Luego de 45 días inició la floración con la apertura de los botones florales que dura un estimado de 56 días. El estado de fructificación se evidencia en el día 74 teniendo una duración aproximada de 31 días. Transcurridos 105 días de evaluación los individuos han cumplido la mayoría de sus estados fenológicos y se encuentran en la fase de maduración fisiológica. Ver Figura 62.

Figura 62

Estados fenológicos para la especie Veronica pérsica



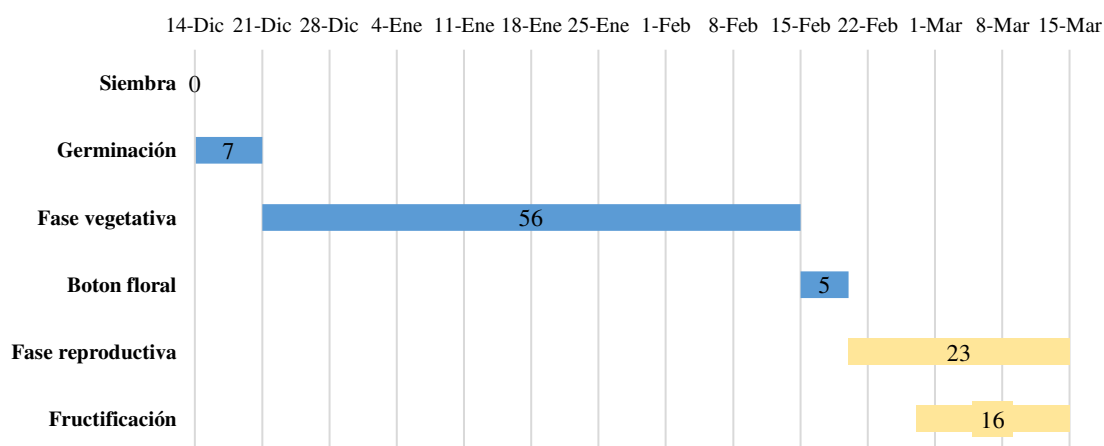
Fuente: Elaboración propia.

Así también, en la Figura 63 se observan los resultados de la especie *Heliotropium angiospermum*, donde la fase vegetativa inicia con el estado de germinación a partir del séptimo día, pasando al estado de formación de tallos y hojas que tiene un periodo aproximado de 56 días; por lo tanto, toda la fase vegetativa dura en promedio 63 días, luego en un periodo de 5 días se observa la aparición de los primeros botones florales. Luego de los 68 días inicia la floración y con la apertura de los botones florales que dura un estimado de 38 días. El estado de fructificación se evidencia a partir del día 75, este estado tiene una duración aproximada de 50 días. Luego de 125 días de evaluación los 2 últimos estados fenológicos continúan.

Esta especie presenta hábito herbáceo o subarbusto anual, lo que significa que está presente durante toda la época del año en las lomas, ello se ha podido evidenciar en campo en zonas del botadero y áreas aledañas con poblaciones significativas a partir de los cuales se extrajo un gran número de semillas.

Figura 63

Estados fenológicos para la especie Heliotropium angiospermum



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Segunda etapa

Se estableció monitorear 27 parcelas de 3x3 m en donde se realizó la restauración mediante el tratamiento correspondiente a sustrato + broza + semillas. Los monitoreos se realizaron por un periodo de 14 semanas con una frecuencia semanal.

Figura 64

Implementación a mayor escala (3 m x 3 m) del tratamiento T2



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 65, se observa la implementación a mayor escala del tratamiento T2 considerado como el más óptimo, en parcelas con dimensiones 3 m x 3 m, colocado de insumos y siembra.

Figura 65

Implementación del tratamiento T2 colocando insumos



Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron 14 especies que fueron sembradas en las parcelas de 3 m x 3 m, las cuales se detallan en la Tabla 31, que son productos de las actividades continuas de colecta de semillas que se desarrollaron en la investigación.

Tabla 31

Lista de especies sembradas en las parcelas 3x3 m según Tratamiento 2

Nº	Familia	Especie
1	Amarillidaceae	<i>Stenomesson coccineum</i>
2	Asteraceae	<i>Oprhyosporus pubescens</i>
3	Asteraceae	<i>Acmella oleracea</i>
4	Asteraceae	<i>Erigeron leptorhizon*</i>
5	Asteraceae	<i>Villanova oppositifolia</i>
6	Boraginaceae	<i>Heliotropium arborescens</i>
7	Boraginaceae	<i>Heliotropium angiospermum</i>
8	Lamiaceae	<i>Stachys arvensis</i>
9	Malvaceae	<i>Fuertesimalva peruviana</i>
10	Plantaginaceae	<i>Veronica persica</i>
11	Solanaceae	<i>Nicotiana paniculata</i>
12	Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i>
13	Lamiaceae	<i>Salvia paposana</i>
14	Orobanchaceae	<i>Calceolaria pinnata</i>

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 66 se muestra la vista panorámica de las 27 parcelas establecidas con dimensiones de 3 m * 3 m del tratamiento T2.

Figura 66

Parcelas 3 m x 3 m – vista panorámica

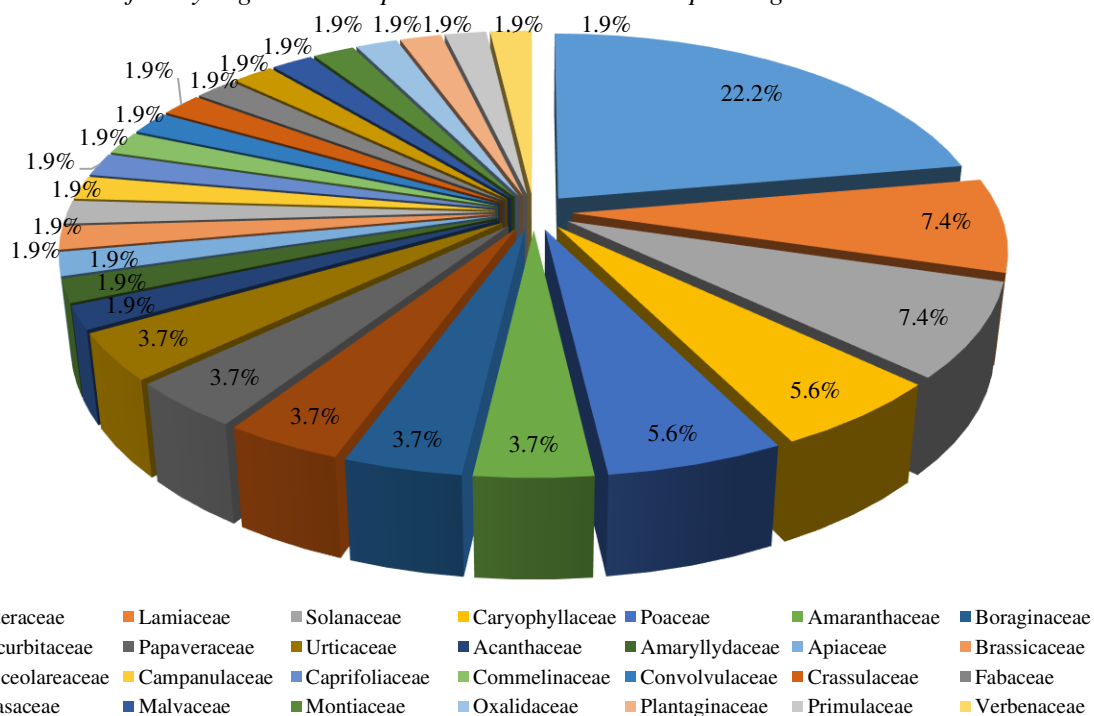


Fuente: Elaboración propia.

Luego de 14 evaluaciones continuas se registraron 54 especies de flora que se agrupan en 28 familias botánicas, siendo Asteraceae la más representativa con 12 especies lo cual representa el 22.22%, seguida de Lamiaceae y Solanaceae con 4 especies y el 7.41% respectivamente, Caryophyllaceae y Poaceae con 3 especies cada una (5.56%); mientras que, Amaranthaceae, Boraginaceae, Cucurbitaceae, Papaveraceae y Urticaceae registran 2 especies cada una y el 3.7% respectivamente. Las familias restantes que agrupan a Acanthaceae, Amaryllidaceae, Apiaceae, Brassicaceae, Calceolariaceae, Campanulaceae, Caprifoliaceae, Commelinaceae, Convolvulaceae, Crassulaceae, Fabaceae, Loasaceae, Malvaceae, Montiaceae, Oxalidaceae, Plantaginaceae, Primulaceae y Verbenaceae registraron una especie con una representación del 1.85% (Figura 67).

Figura 67

Composición de flora y vegetación en parcelas 3x3 m inducidas por riego a la 14° evaluación

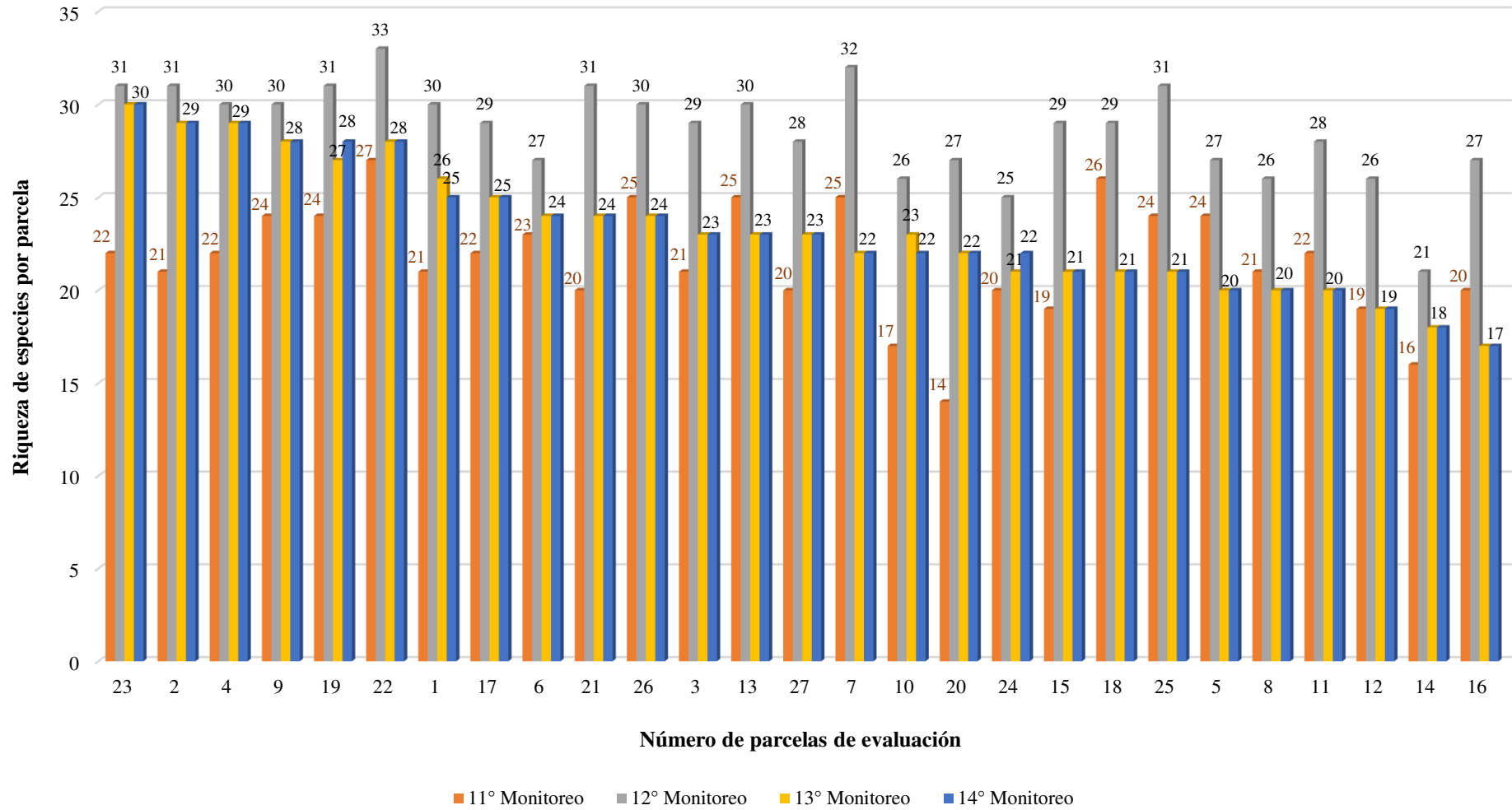


Fuente: Elaboración propia.

La parcela 22 registró el mayor número de especies con 33, seguida de la parcela 7 con 32, le siguen las parcelas 2, 19, 21, 23 y 25 con 31 especies cada una, las parcelas 1, 4, 9, 13 y 26 con 30 especies cada una, las parcela 3, 15, 17 y 18 registraron 29 especies cada una, las parcelas 11 y 27 registraron 28 especies cada una, las parcelas 5, 6, 16 y 20 con 27 especies, las parcelas 8, 10 y 12 con 26 especies cada una; finalmente, las parcelas 24 y 14 presentaron 25 y 21 respectivamente, valores alcanzados durante la 12° evaluación (Figura 68). La siguiente figura muestra la cobertura vegetal por cada parcela de monitoreo durante las 4 últimas evaluaciones realizadas en el mes de junio y julio, registrándose valores entre el 40% y 100% , algunas parcelas entre ellas las parcelas 5, 6, 13, 14, 15, 17, 21, 23 y 26 han registrado descensos en la cobertura, probablemente por la senescencia de algunas especies por haber cumplido su ciclo fenológico; mientras que, el resto de las parcelas muestran los mismos valores o se han incrementado entre ellas las parcelas que han registrado valores mayores o igual al 90% y son 6, 12, 14, 15, 19, 23, 24, 25 y 26.

Figura 68

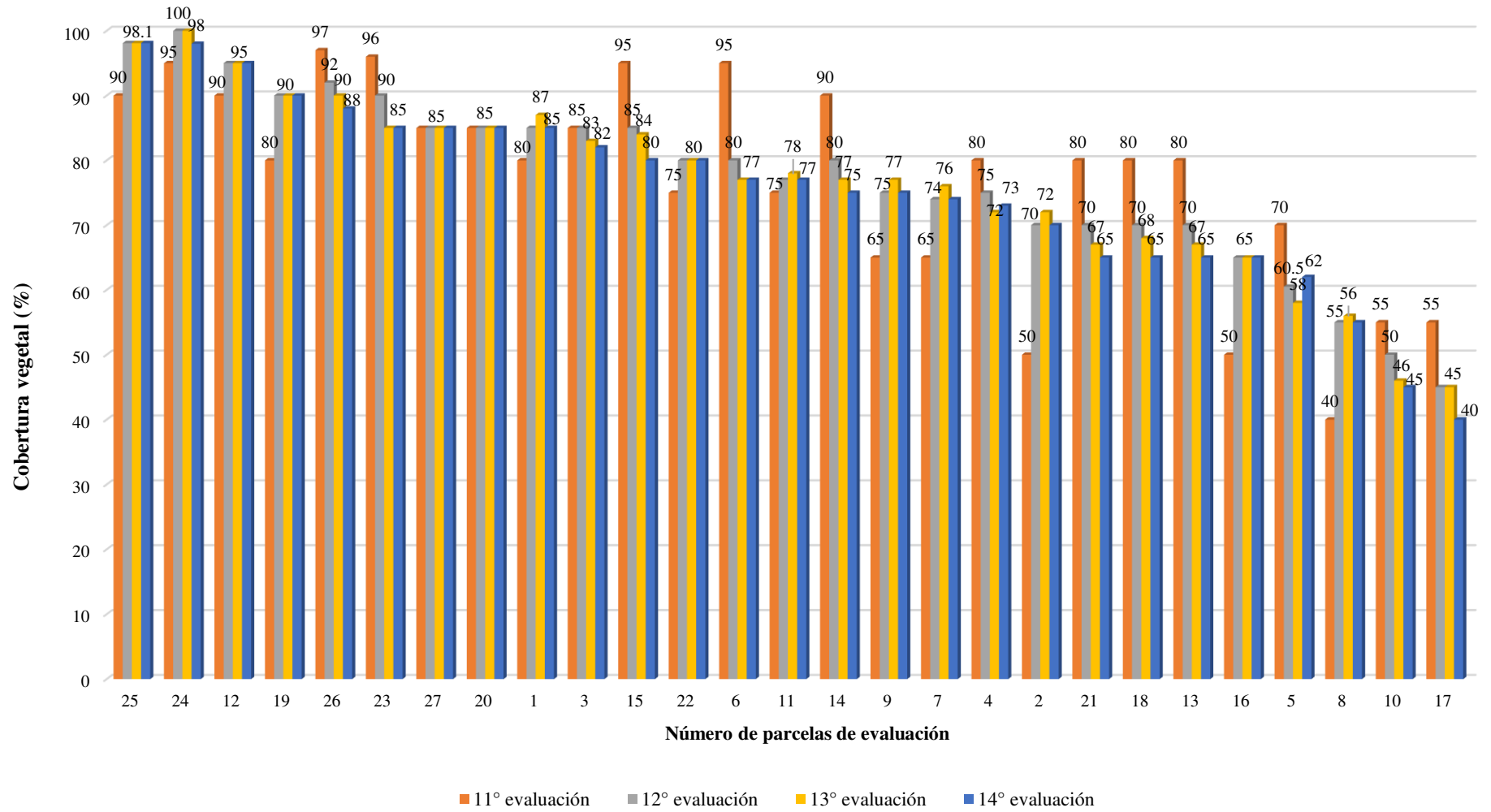
Comparativo de la riqueza de especies durante los 4 últimos monitoreos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 69

Comparativo de la cobertura vegetal durante los 4 últimos monitoreos



Fuente: Elaboración propia.

La figura 69 muestra la relación temporal entre la riqueza de especies, la cobertura vegetal y las variables climáticas promedio (temperatura y humedad). Durante las 2 primeras evaluaciones no se pudieron identificar a las plántulas a nivel de especie, debido a que presentaban únicamente hojas cotiledóneas (primeras hojas), por lo tanto, solo se registró la cobertura vegetal.

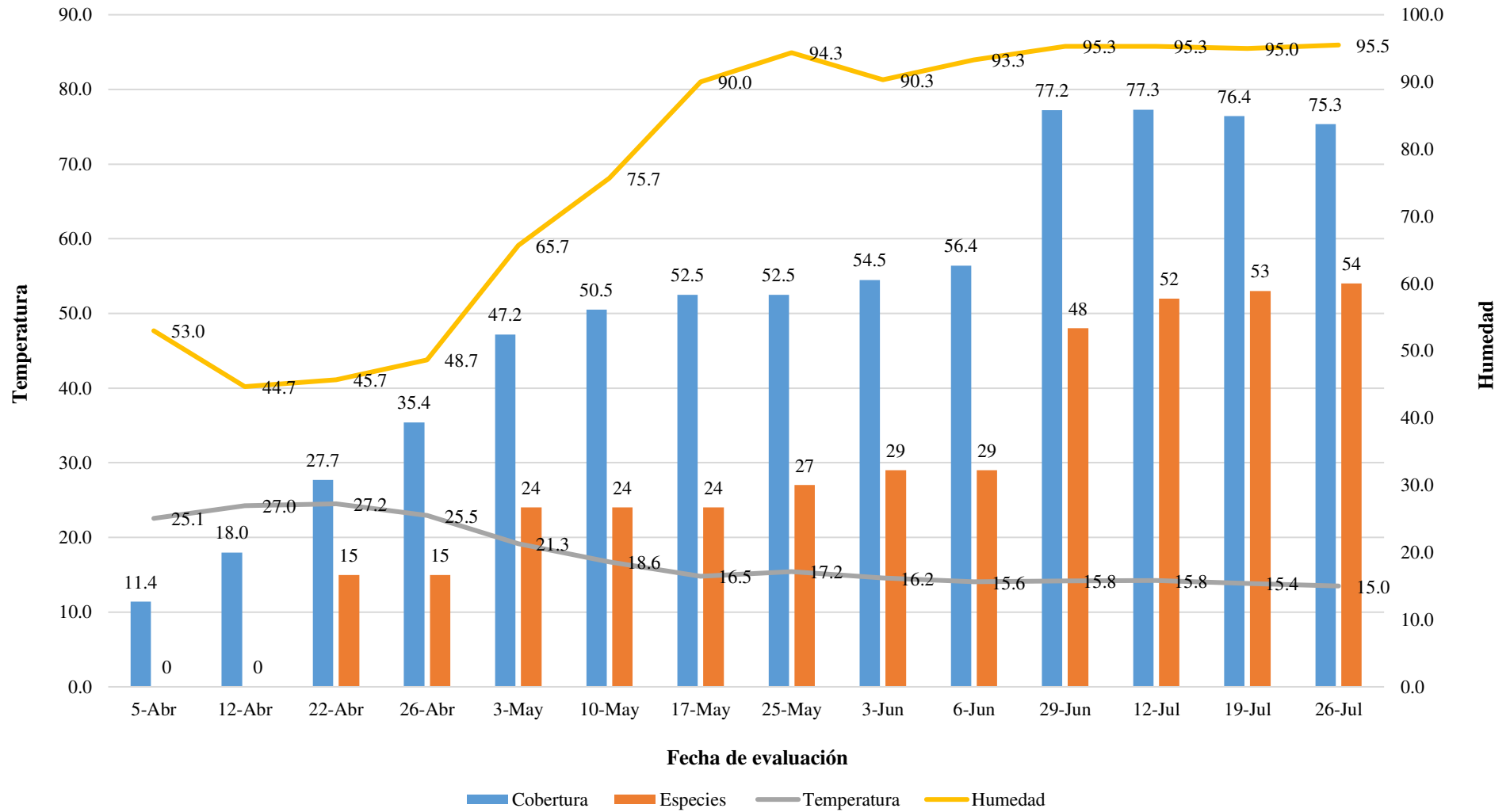
Luego, en la Tabla 32, se muestra que, a partir de la 3° evaluación se pudo agrupar a nivel de familias y especies; registrando 15 especies distribuidas en 11 familias valor que se mantuvo constante por un promedio de 2 semanas, en este momento la humedad promedio fue constante (48.7%) al igual que la temperatura (25.5 °C). Para la 5° evaluación, 9 nuevas especies fueron registradas, su aparición puede deberse en gran medida al incremento de la humedad (65.7%) y la disminución de la temperatura (21.3° C) siendo un total de 24 especies, número que se mantuvo constante por un periodo de 3 semanas. En la 8° evaluación, se registraron 3 nuevas especies (*Astrephia chaerophylloides*, *Acmella oleracea* y *Coniza bonariensis*), periodo en el cual la humedad y temperatura registraron cambios progresivos hasta llegar a valores de 94.3% y 17.2 °C respectivamente; para la 9°, se registraron 2 nuevas especies correspondientes a *Stenomesson coccineum* y *Erigeron leptorhizon*, durante este periodo de tiempo los valores de humedad y temperatura se hicieron constantes 90.3% y 16.2 °C respectivamente, cuyos valores no variaron significativamente en la 10° evaluación (Humedad: 93.3%; Temperatura: 15.6 °C) en donde se registró el mismo número de especies; sin embargo, durante la 11° evaluación se registraron 19 nuevas especies periodo en el cual las condiciones de humedad se mantuvieron constante, para la 12° evaluación se registraron 5 nuevas especies correspondientes a *Cotula australis*, *Cerastium glomeratum*, *Galinsoga* sp. y *Gnaphalium* sp., la humedad y temperatura se mantuvieron constantes durante este periodo de tiempo con 95.3% y 15.8 °C, finalmente para la 13° evaluación se registró una nueva especie correspondiente a *Anagallis arvensis*; mientras que, en la 14° evaluación se registró a la especie *Triodanis perfoliata*.

La cobertura vegetal registró inicialmente una superficie de 11.4% para la 1° evaluación, y para las evaluaciones del 2° al 6°, de 18 %, 27.7%, 35.4%, 47.2% y 50.5% respectivamente; mientras que en la 7°, 8°, 9° y 10°, la cobertura se mantuvo relativamente constante con valores que oscilaron entre el 52.5% y el 56.4% respectivamente, para la evaluación 11° la cobertura registró una cobertura del 77.2%, para la 12° evaluación la cobertura no presentó mayores cambios 77.3%; finalmente, en las evaluaciones 13° y 14° se comenzaron a registrar descensos consecutivos llegando a registrar 75.3%.

La Figura 70 muestra como a partir de la evaluación 11° los valores no muestran cambios significativos con respecto a las variables evaluadas (riqueza, cobertura, temperatura y humedad) llegando a evidenciarse la asíntota en la curva de especies, por lo cual, es de esperarse que no habrá nuevos registros de especies y a partir de la última evaluación la cobertura como la riqueza comenzará a disminuir de manera progresiva; de tal modo, que se da por finalizado el seguimiento a las parcelas experimentales inducidas bajo el tratamiento T2 (sustrato + broza + semillas).

Figura 70

Cobertura vegetal y riqueza de especies por monitoreo en relación con la temperatura y humedad



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32

Lista de especies registradas y su sucesión a nivel de flora a lo largo de los monitoreos

3° evaluación	5° evaluación	8° evaluación	9° evaluación Especies	11° evaluación	12° evaluación	13° evaluación	14° evaluación
<i>Fumaria capreolata</i>	<i>Verbena litoralis</i>	<i>Acmella oleracea</i>	<i>Erigeron leptorgizon</i>	<i>Cucurbitaceae</i> sp.	<i>Cerastium glomeratum</i>	<i>Anagallis arvensis</i>	<i>Triodanis perfoliata</i>
<i>Philoglossa peruviana</i>	<i>Brassica</i> sp.	<i>Conyza bonariensis</i>	<i>Stenomesson coccineum</i>	<i>Calandrinia acaulis</i>	<i>Cotula australis</i>	-	-
<i>Salvia cf rhombifolia</i>	<i>Dichondra</i> sp.	<i>Astrephia chaerophylloides</i>	-	<i>Calceolaria</i> sp.	<i>Galinsoga</i> sp.	-	-
<i>Oxalis</i> sp.	<i>Argemone subfusiformis</i>	-	-	<i>Commelina fasciculata</i>	<i>Gnaphalium</i> sp.	-	-
<i>Villanova oppositifolia</i>	<i>Alternanthera halimifolia</i>	-	-	<i>Cyclopermun laciniatum</i>	-	-	-
<i>Chenopodium petiolare</i>	<i>Hyptis sidifolia</i>	-	-	<i>Dicliptera cf montana</i>	-	-	-
<i>Siegesbeckia flosculosa</i>	<i>Stellaria</i> sp.	-	-	<i>Heliotropium arborescens</i>	-	-	-
<i>Nicandra physalodes</i>	<i>Paspalum penicillatum</i>	-	-	<i>Marrubium vulgare</i>	-	-	-
<i>Stachys arvensis</i>	-	-	-	<i>Solanum montanum</i>	-	-	-
<i>Poa annua</i>	-	-	-	<i>Medicago polymorfa</i>	-	-	-
<i>Stellaria media</i>	-	-	-	<i>Nasa urens</i>	-	-	-
<i>Heliotropium angiospermun</i>	-	-	-	<i>Ophryosporus pubescens</i>	-	-	-
<i>Fuertesimalva peruviana</i>	-	-	-	<i>Parietria debilis</i>	-	-	-
<i>Veronica persica</i>	-	-	-	<i>Sycios baderoa</i>	-	-	-
<i>Nicotiana paniculata</i>	-	-	-	<i>Taraxacum officinale</i>	-	-	-
-	-	-	-	<i>Urtica</i> sp.	-	-	-
-	-	-	-	<i>Crassula</i> sp.	-	-	-
-	-	-	-	<i>Lamarkia</i> sp.*	-	-	-
-	-	-	-	<i>Cestrum auriculatum</i> *	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

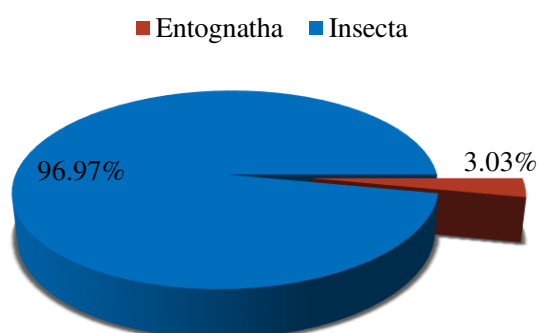
En la tabla anterior se muestra una estimación de cómo se produciría la sucesión de especies en ecosistemas de lomas, siendo las especies de *Fumaria capreolata*, *Philoglossa peruviana*, *salvia cf rhombifolia*, *Oxalis* sp., *Villanova oppositifolia*, *Chenopodium petiolare*, *Siegesbeckia flosculosa*, *Nicandra physalodes*, *Stachys arvensis*, *Lamarkia aurea*, *Stellaria media*, *Heliotropium angiospermum*, *Fuertesimalva peruviana*, *Veronica pérsica* y *Nicotiana paniculata* las primeras en aparecer con el inicio de las lloviznas durante la temporada húmeda y el establecimiento de estas especies incrementan la humedad en el suelo y regulan la temperatura permitiendo la germinación y desarrollo de otras especies; por lo tanto, se puede decir que las exigencias climatológicas no son las mismas para todas las especies y que las primeras en germinar serían consideradas “especies pioneras”.

Las siguientes especies en aparecer serían *Verbena litoralis*, *Brassica* sp., *Dichondra* sp., *Argemone subfusiformis*, *Alternanthera* sp., *Hyptis sidifolia*, *Stellaria* sp., y *Paspalum penicillatum*, seguida de las especies *Acmella oleracea*, *Astrephia chaerophylloides* y *Coniza bonariensis*. Al cabo de la 9° evaluación aparecen *Erigeron leptorhizon* y *Stenomesson coccineum*, para la 11° le seguiría *Calandrinia acaulis*, *Calceolaria pinnata*, *Commelina fasciculata*, *Cyclosporum laciniatum*, *Dicliptera* sp., *Heliotropium arborescens*, *Marrubium vulgare*, *Solanum* sp., *Medicago polymorfa.*, *Nasa urens*, *Ophryosporus pubescens*, *Parietaria debilis*, *Sycios baderoa*, *Taraxacum officinale*, *Urtica* sp., *Crassula* sp., *Lamarkia aurea* y *Cestrum auriculatum*. Para la 12° evaluación germinan las especies *Cerastium glomeratum*, *Cotula australis*, *Galinsoga* sp. y *Gnaphalium* sp., las cuales se estarían estableciendo a condiciones de temperatura y humedad constante como se muestra en la tabla anterior, finalmente la últimas en aparecer serían *Anagallis arvensis* y *Triodanis perfoliata*.

Para el caso de los artrópodos, se ha realizado la separación de los individuos por morfoespecies. Se tiene 33 morfoespecies de las cuales 32 son de la clase Insecta representando el 96.72% y solo una es de la clase Entognatha, con el 3%. Ver Figura 34.

Figura 71

Clase de artrópodos registrados en las parcelas de 3x3 m

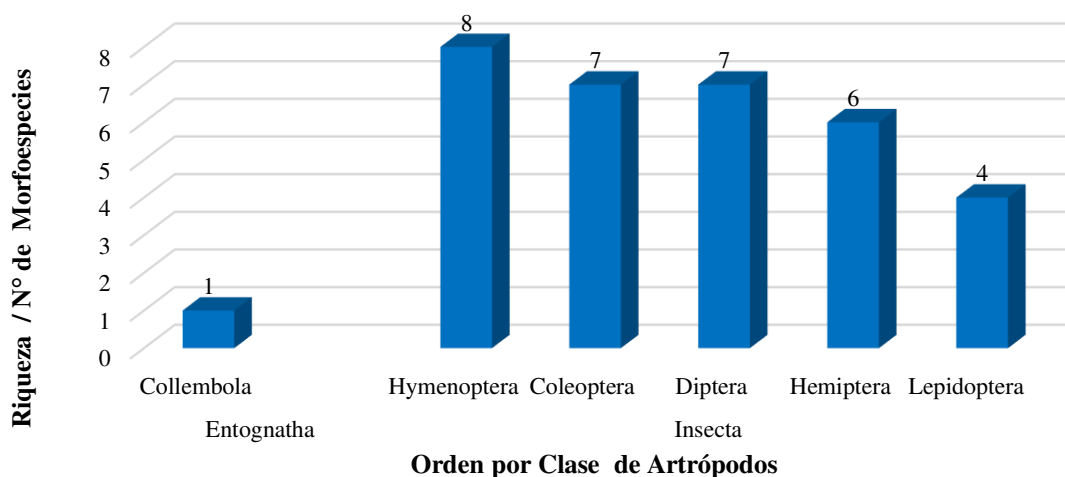


Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la siguiente figura se detallan los órdenes registrados por clase de artrópodos; en la Clase Entognatha hay una morfoespecie del orden Collembola, En relación con la clase Insecta se registraron 5 órdenes siendo Hymenoptera con el mayor número de morfoespecies seguido de Coleoptera y Diptera, ambos con 7 morfoespecies. El orden Hemiptera registró 6 morfoespecies y Lepidoptera registró 4.

Figura 72

Composición a nivel de orden de los artrópodos registrados en las parcelas 3x3 m



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Tercera etapa: Estrategias de restauración

Se enfocó en 2 subetapas, la primera que comprende la obtención de insumos necesarios para realizar la restauración de las distintas zonificaciones en el depósito de desmonte 500 que

comprende un área estimada de 11.15 ha y la segunda en las diferentes estrategias de restauración planteadas para cada una de las zonificaciones.

4.2.3.1. Recolección de insumos para la restauración del Depósito de Desmonte 500

Una vez elaborado los ensayos donde se identificó que el tratamiento T2 (sustrato + broza + semillas) resultó ser el más efectivo para la restauración (reconfirmado con la implementación a mayor escala mediante las parcelas de 3x3 m), quedó claro que los insumos a necesitar son las semillas, broza y sustrato.

Por lo que, se realizó un diagnóstico dentro de la Cantera Cristina en aquellas áreas con gran potencial para la obtención de semillas y broza las cuales fueron georreferenciadas y mapeadas (Mapa de Áreas de extracción de broza y Mapa de Áreas de extracción de semillas), que serán monitoreadas con el fin de determinar algún impacto negativo por su extracción.

Se identificaron 10 sectores de colecta de semillas, los cuales presentan una alta concentración plantas con semillas de las especies *Fuertesimalva peruviana*, *Acmella oleracea*, *Ophryosporus pubescens*, *Nicotiana paniculata*, *Heliotropium angiospermum*, *Heliotropium arborescens*, *Argemone subfusiformis* y *Stellaria media*. Los sectores se muestran en el Mapa. En total se recolectaron semillas de 24 especies. Las cantidades de semillas por especie y por sector se detallan en la Tabla 33 y 34 respectivamente, teniendo un total estimado de 75.8 kg.

La especie con mayor cantidad de semillas colectadas correspondió a *Fuertesimalva peruviana* con 63 988 gr, seguida de *Heliotropium angiospermum* con 4498g, *Siegesbeckia flosculosa* con 2192 gr y *Ophryosporus pubescens* con 1229 gr; mientras que, el resto de las especies se colectó entre 2.5 a 662 gr de semillas.

Tabla 33*Cantidad de semillas colectadas por especie*

Nº	Familia	Especie	Cantidad de semillas (gr)
1	Amaranthaceae	<i>Alternanthera halimifolia</i>	30
2	Amarillidaceae	<i>Stenomesson coccineum</i>	450
3	Asteraceae	<i>Oprhyosporus pubescens</i>	1229
4	Asteraceae	<i>Acmella oleracea</i>	84.7
5	Asteraceae	<i>Erigeron leptorhizon</i>	409
6	Asteraceae	<i>Villanova oppositifolia</i>	7.4
7	Boraginaceae	<i>Heliotropium arborescens</i>	438
8	Boraginaceae	<i>Heliotropium angiospermum</i>	4498
9	Lamiaceae	<i>Salvia paposana</i>	64
10	Lamiaceae	<i>Stachys arvensis</i>	66
11	Lamiaceae	<i>Marrubium vulgare</i>	528
12	Malvaceae	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	63988
13	Calceolariaceae	<i>Calceolaria pinnata</i>	29.6
14	Papaveraceae	<i>Argemone subfusiformis</i>	662
15	Plantaginaceae	<i>Veronica persica</i>	32.7
16	Solanaceae	<i>Nicotiana paniculata</i>	150
17	Verbenaceae	<i>Verbena litoralis</i>	269
18	Asteraceae	<i>Siegesbeckia flosculosa</i>	2192
19	Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i>	332
20	Onagraceae	<i>Oenothera sp.</i>	8.1
21	Plantaginaceae	<i>Scoparia dulcis</i>	2.5
22	Lamiaceae	<i>Hyptis sidifolia</i>	151
23	Verbenaceae	<i>Lippia nodiflora</i>	74
24	Solanaceae	<i>Cestrum auriculatum</i>	139.5
Total			75 834.5

Fuente: Elaboración propia.

A nivel de sectores, fue el sector 6 de la Zona 1 de donde se extrajo la mayor cantidad de semillas con un estimado de 22 002g correspondiente a las especies *Fuertesimalva peruviana* y *Siegesbeckia flosculosa*, seguida del sector 6 Zona 2, donde se extrajo 12 747 gr y el sector 8 con 10 320 gr; mientras que, en el resto de los sectores la cantidad de semillas extraídas osciló entre 110.1g y 8752.4 gr.

Figura 73*Rotulación de semillas*

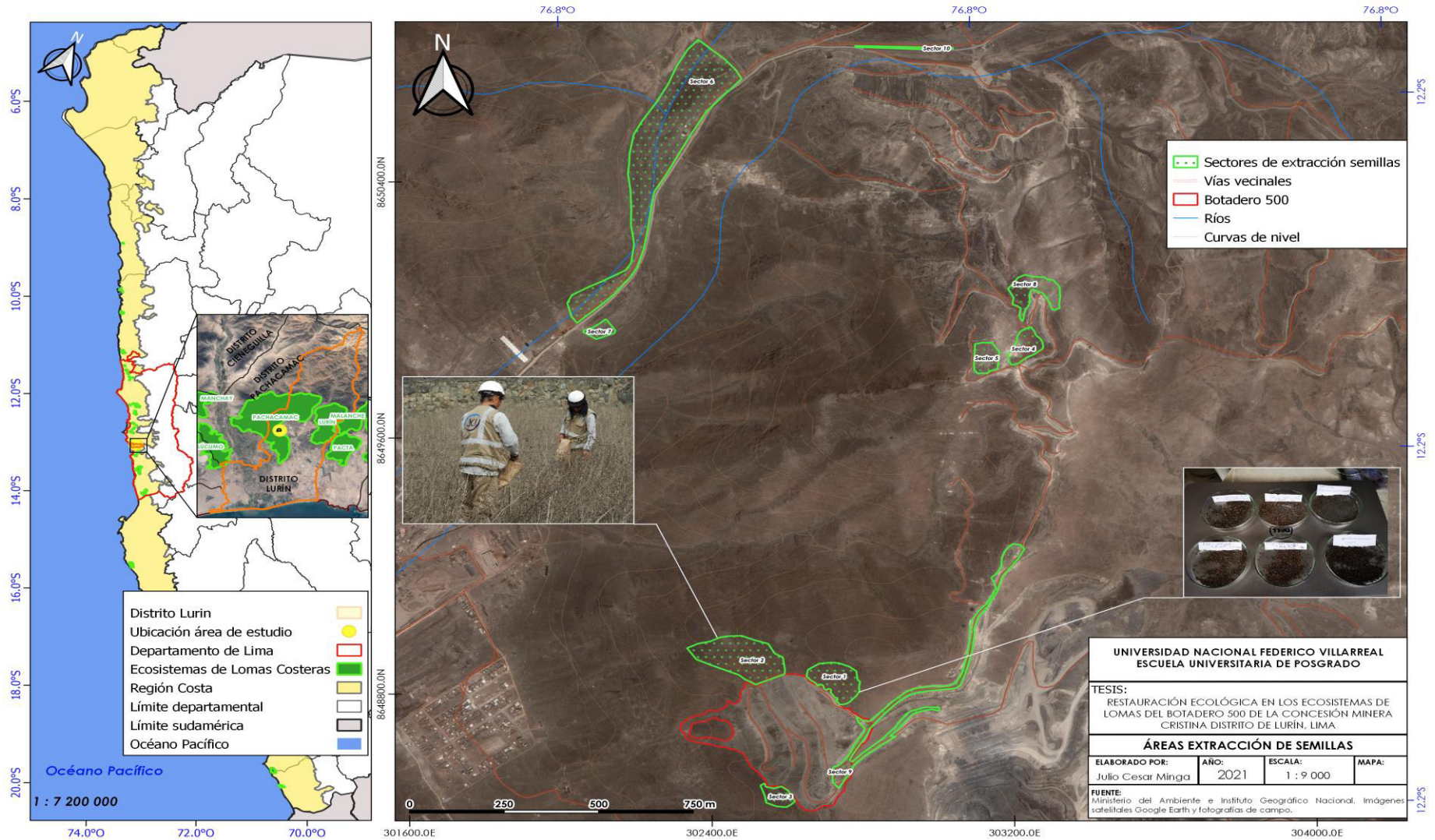
Fuente: Elaboración propia.

Figura 74*Inventario de semillas*

Fuente: Elaboración propia.

Figura 75

Composición a nivel de orden de los artrópodos registrados en las parcelas 3x3 m



Por otro lado, se identificó 11 sectores de extracción de broza, donde se extrajo de 9 de ellos un total de 1874 sacos de broza que expresados en una unidad de masa representan 3748 kg aproximadamente. Cada uno de los sectores fue georreferenciado y caracterizado a partir de las especies que se encontraban en cada uno de ellos, siendo el Sector 6 Zona 1 el área de donde se extrajo la mayor cantidad de sacos de broza correspondiente a 351 sacos (702 kg). De igual manera, la cantidad extraída del resto de sectores fue similar, a excepción del Sector 4 de donde se extrajo 16 sacos (32 kg de broza); mientras que, de los sectores 5 y 7 no se extrajo broza; sin embargo, se georreferenciaron con fines de uso de extracción a futuro. Los sectores se muestran en el Mapa de Sectores de extracción de broza y Tabla 34. Finalmente, el sustrato fue proporcionado por la empresa UNACEM. S.A.A.

Figura 76

Composición a nivel de orden de los artrópodos registrados en las parcelas 3x3 m

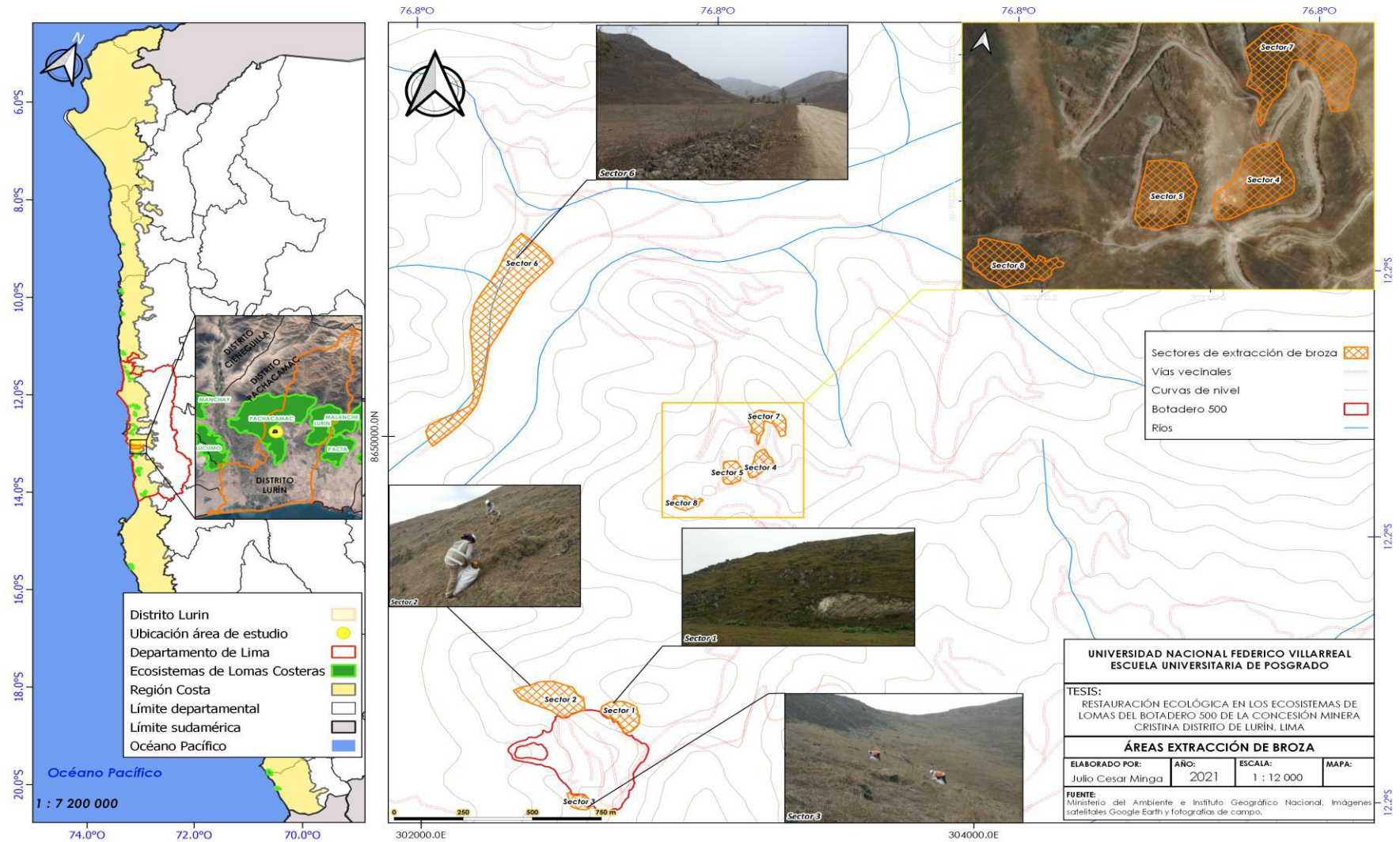


Tabla 34

Cantidad de semillas colectadas por sector

N°	Familia	Especie	Cantidad extraída en Gramos										Total			
			Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6				Sector 7		Sector 8	Sector 9	Sector 10
								Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4					
1	Amaranthaceae	<i>Alternanthera halimifolia</i>												30	30	
2	Amarillidaceae	<i>Stenomesson coccineum</i>			450										450	
3	Asteraceae	<i>Oprhyosporus pubescens</i>											1229		1229	
4	Asteraceae	<i>Acmella oleracea</i>											84.7		84.7	
5	Asteraceae	<i>Erigeron leptorhizon</i>											409		409	
6	Asteraceae	<i>Villanova oppositifolia</i>	7.4												7.4	
7	Boraginaceae	<i>Heliotropium arborescens</i>											438		438	
8	Boraginaceae	<i>Heliotropium angiospermum</i>											4498		4498	
9	Lamiaceae	<i>Salvia paposana</i>	44										20		64	
10	Lamiaceae	<i>Stachys arvensis</i>	46										20		66	
11	Lamiaceae	<i>Marrubium vulgare</i>											528		528	
12	Malvaceae	<i>Fuertesimalva peruviana</i>			1508	6465	1518	21560	11370	2879	5368	3000	10320		63988	
13	Orobanchaceae	<i>Orobanchaceae sp.</i>											29.6		29.6	
14	Papaveraceae	<i>Argemone subfusiformis</i>											662		662	
15	Plantaginaceae	<i>Veronica persica</i>	12.7										20		32.7	
16	Solanaceae	<i>Nicotiana paniculata</i>											150		150	
17	Verbenaceae	<i>Verbena litoralis</i>											269		269	
18	Asteraceae	<i>Siegesbeckia flosculosa</i>						442	1377	373					2192	
19	Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i>													332	
20	Onagraceae	<i>Oenothera sp.</i>											8.1		8.1	
21	Plantaginaceae	<i>Scoparia dulcis</i>											2.5		2.5	
22	Lamiaceae	<i>Hyptis sidifolia</i>											151		151	
23	Verbenaceae	<i>Lippia nodiflora</i>											74		74	
24	Solanaceae	<i>Cestrum auriculatum</i>											129.5		129.5	
			Total										75 824.5			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35

Cantidad de broza extraído en los diferentes sectores

Sectores de extracción	Subdivisión	Descripción del hábitat	Área (ha)	Número de costales extraídos a la fecha
Sector 1		Loma herbácea	1.16	160
Sector 2		Loma herbácea	2.37	300
Sector 3		Ladera Herbácea con dominancia de <i>Fuertesimalva</i>	0.41	46
Sector 4		Ladera Herbácea con dominancia de <i>Fuertesimalva</i>	0.62	16
Sector 5		Ladera Herbácea con dominancia de <i>Fuertesimalva</i>	0.55	-
	Zona 1	Loma herbácea con dominancia de Nasa y <i>Fuertesimalva</i>		351
	Zona 2	Loma herbácea con dominancia de Nasa y <i>Fuertesimalva</i>		321
Sector 6	Zona 3	Loma herbácea con dominancia de Nasa y <i>Fuertesimalva</i>	8.24	234
	Zona 4	Loma herbácea con dominancia de Nasa y <i>Fuertesimalva</i>		196
Sector 7		Loma herbácea con dominancia de <i>Fuertesimalva</i>	0.96	-
Sector 8		Loma herbácea	0.5	250
Total				1874

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2. Estrategia de restauración

Para la restauración del depósito de desmonte 500 se han empleado 7 técnicas de implementación, relacionadas a las condiciones del terreno, disponibilidad del sustrato y presencia o evidencia de resiliencia de las áreas a restaurar debido a que ya contaban con sustrato y especies de flora establecidas.

a. Parcelas

De acuerdo con las condiciones del terreno está relacionado con la pendiente, los taludes presentan inclinaciones entre 30° a 45° de pendiente

Para taludes con estas pendientes se estableció un sistema de parcelas, las cuales fueron cimentadas “pirca” en su base con material propio de la zona para darle una mayor estabilidad y soporte. Se construyeron un total de 90 parcelas de dimensiones aproximadas de 3x3 m (9 m²). En el botadero se establecieron parcelas en un área de 0.61 ha.

Figura 77

Implementación de parcelas en áreas con pendientes de 40%



Fuente: Elaboración propia.

b. Terrazas

Para taludes con inclinación aproximada de 60° se estableció un sistema de terrazas. El sistema de terrazas cuenta con una base de aproximadamente 50 m de ancho, que brinda una mayor estabilidad a la pendiente, reduciendo los deslizamientos, ayuda a optimizar el sustrato y agiliza los trabajos de implementación; sin embargo, se ha calculado que el área de siembra se reduce al 40%. En el botadero a la fecha se han establecido terrazas en un área aproximada de 0.96 ha.

Figura 78

Implementación de terrazas en áreas con pendientes de 60%



Fuente: Elaboración propia.

c. Cascajo y sustrato

Además, la disponibilidad del sustrato está relacionado a zonas del botadero cuya composición fue fragmentos de rocas medianos a grandes con nula presencia de sustrato para el establecimiento del componente vegetal.

El material rocoso fue reacomodado para disminuir la cantidad de grietas, para ello se utilizó material rocoso de la propia zona y adicionalmente se añadió una cubierta de cascajo fino; y finalmente fue recubierto con una capa de sustrato de 5 cm. Este tipo de implementación se ha realizado en un área de 0.13 ha. En ese sentido, en la siguiente figura, se observa la implementación de áreas con rocas grandes, la cual fue cubierta con cascajo y sustrato para posterior siembra.

Figura 79

Implementación de áreas con rocas grandes



Fuente: Elaboración propia.

d. Restauración asistida

Se ha realizado un proceso de *restauración asistida*, para ello, se identificaron áreas del botadero con cierto grado de resiliencia las cuales contaban con sustrato y algunas especies herbáceas y arbustivas como *Nicotiana paniculata*, *Ophiosporus pubescens* y *Heliotropium angiospermum*, lo que evidencia la presencia de suelo fértil para el desarrollo del componente vegetal. Por esto, se dispuso la limpieza de rocas de menor dimensión seguido de la remoción

del sustrato y se realizó lluvia de semillas y adición de broza, esta implementación comprendió un área de 1.40 ha.

Figura 80

Zona implementada con restauración asistida



Fuente: Elaboración propia.

e. Siembra directa

Se realizó un procedimiento que denominamos **siembra directa**, en el cual se identificaron áreas del botadero con presencia de sustrato y con poca cobertura vegetal, sobre la cual se procedió a realizar un movimiento mecánico de la capa superficial, se añadió una capa de top soil de 3 a 4 cm y se sembró de forma directa por lluvia de semillas, esta área comprende un total de 0.59 ha.

Figura 81

Área de siembra directa



Fuente: Elaboración propia.

f. Plataforma

En las zonas planas del depósito de desmonte (Plataforma) se identificaron áreas de fácil acceso y con cierto grado de cobertura vegetal por lo que se realizó la remoción mecánica de la capa superficial y se colocó una fina capa de sustrato y se añadió broza, esta área comprende un estimado de 0.89 ha.

g. Siembra en vías de desplazamiento

Finalmente, las zonas planas inicialmente clasificadas como accesos (**vías de desplazamiento**) compactados con presencia de vegetación o sin vegetación, que dejaron de usarse producto de la implementación de los trabajos de restauración en el depósito, fueron implementados con una capa de sustrato de 5 cm y se añadió broza (ver Figura 82 y 83). Esta área comprende un total de 0.18 ha como se muestra en el Mapa.

Figura 82

Accesos compactados con vegetación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 83

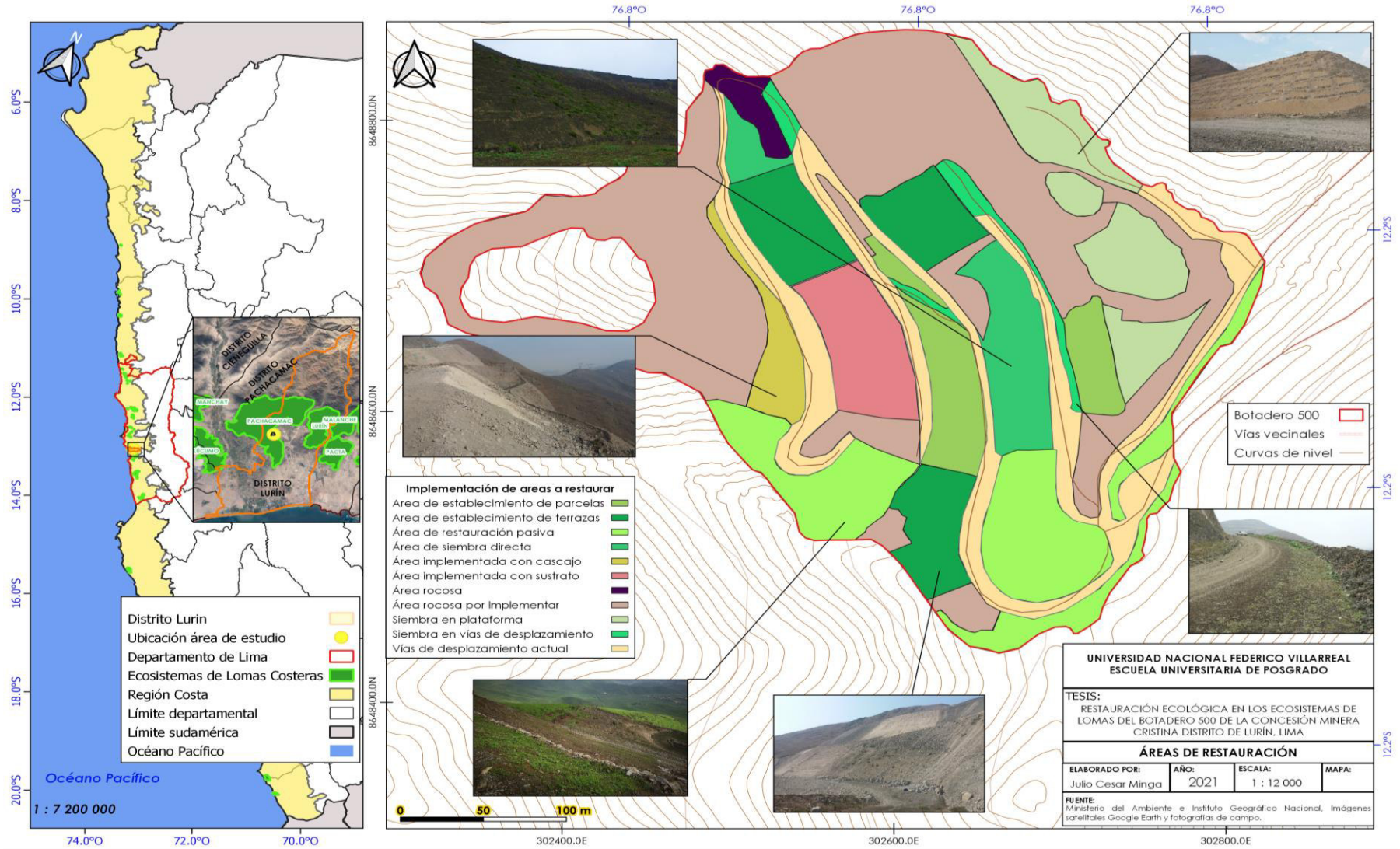
Accesos compactados con escasa o nula vegetación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 84

Mapa de áreas de restauración



4.3. Monitoreo

Finalizadas las actividades de implementación en el depósito de desmonte 500, se ha logrado implementar un área estimada de 4.76 ha mediante diferentes técnicas (parcelas, terrazas, siembra directa, restauración asistida etc.) las cuales se muestran en el Mapa.

El monitoreo de las áreas sujetas a restauración consistió en evaluar su flora y fauna, (especies vegetales, artrópodos y aves). La frecuencia de evaluaciones y el esfuerzo de muestreo se especifica en la Tabla 36.

Tabla 36

Esfuerzo de muestreo de los componentes de flora y fauna en las áreas en restauración

Especialidad	Metodología	Frecuencia	Esfuerzo de muestreo
Flora y vegetación	Parcelas permanentes 5*5 m	2 veces por semana	7 parcelas 5 * 5 m
Artrópodos	Pitfall y bandejas amarillas	1 vez por semana	12 estaciones
Aves	Conteo total	2 veces por semana	12 estaciones

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Especies vegetales

Se establecieron 6 parcelas de monitoreo ubicadas dentro del depósito de desmonte 500 de los cuales 2 parcelas se encuentran en Área de establecimiento de parcelas, 2 parcelas en Área de establecimiento de terrazas, una parcela en el Área de cascajo y sustrato y una parcela en Área de restauración asistida; cada una de ellas tiene una dimensión de 5 metros de lado (25 m²); dentro de la cual se evaluaron 4 subparcelas o cuadrantes de 1 m² (ver Figura 85) distribuidas de manera aleatoria. La ubicación de las parcelas de monitoreo se especifica en la Tabla 37.

Figura 85

Cuadrante de 1 m x 1 m para el monitoreo de flora



Fuente: Elaboración propia.

Figura 86

Cuadrante 1 m x 1 m para el monitoreo de flora, luego de 1 mes de monitoreo continuo



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37*Ubicación de las parcelas permanentes de evaluación en las áreas en restauración y el área referencial*

Áreas en restauración	Código	Vértice	Coordenadas
Cascajo y Sustrato	AR	1	302 523 8 648 812
		2	302 520 8 648 811
		3	302 524 8 648 799
		4	302 527 8 648 800
Área de restauración asistida	ARP	1	302 568 8 648 535
		2	302 565 8 648 540
		3	302 560 8 648 537
		4	302 563 8 648 533
Área de terraza inferior	AT-M1	1	302 531 8 648 759
		2	302 526 8 648 756
		3	302 560 8 648 707
		4	302 547 8 648 716
Área de terraza superior	AT-M2	1	302 623 8 648 749
		2	302 618 8 648 746
		3	302 611 8 648 731
		4	302 636 8 648 720
Área de parcelas inferior	AP-M1a	1	302 640 8 648 617
		2	302 635 8 648 616
		3	302 635 8 648 611
		4	302 640 8 648 612
Área de parcelas superior	AP-M2	1	302 715 8 648 640
		2	302 710 8 648 639
		3	302 710 8 648 634
		4	302 715 8 648 635
Área referencial	S1-M1	1	302 686 8 648 848
		2	302 689 8 648 843
		3	302 684 8 648 841
		4	302 681 8 648 846

Fuente: Elaboración propia.

En las figuras siguientes se observan zonas implementadas por medio de parcelas y terrazas respectivamente. En el caso de la zona de terrazas, estas poseen una base de 50 cm.

Figura 87

Zona AP-M1 implementada por medio de parcelas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 88

Zona AT-M1 implementada por medio de terrazas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 89

Zona AR-M1 implementada por cascajo y sustrato



Fuente: Elaboración propia.

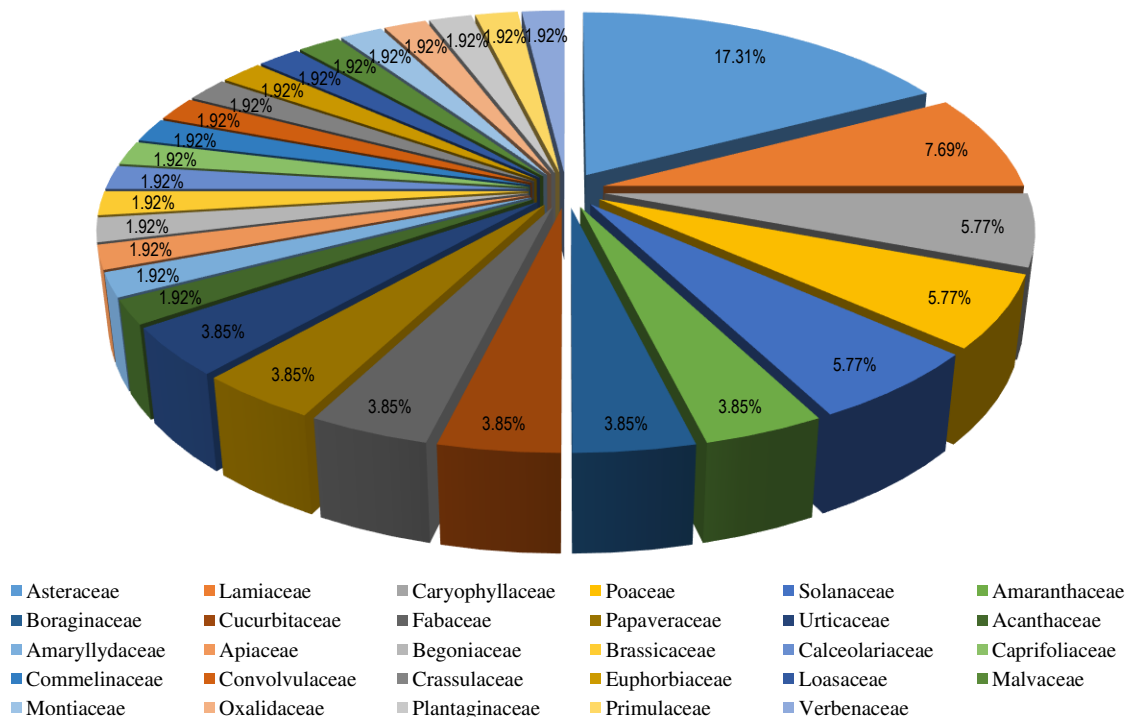
A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de 18 evaluaciones continuas de flora.

4.3.1.1. Riqueza y composición de especies vegetales

Realizados 18 monitoreos en las áreas en restauración y el área referencial se registraron 52 especies, agrupadas en 29 familias botánicas, siendo la familia Asteraceae la que registró el mayor número de especies con 9, representando el 17.31%, seguida de Lamiaceae con 4 especies, representando el 7.69%, Caryophyllaceae, Poaceae y Solanaceae con 3 especies cada una representando el 5.77%, Amaranthaceae, Boraginaceae, Cucurbitaceae, Fabaceae, Papaveraceae y Urticaceae con 2 especies cada una representando el 3.85 %; mientras que, las familias Acanthaceae, Amaryllidaceae, Apiaceae, Begoniaceae, Brassicaceae, Calceolariaceae, Caprifoliaceae, Commelinaceae, Convolvulaceae, Crassulaceae, Euphorbiaceae, Loasaceae, Malvaceae, Montiaceae, Oxalidaceae, Plantaginaceae, Primulaceae y Verbenaceae con una especie representando el 1.96 % respectivamente.

Figura 90

Riqueza y composición de especies a nivel de familias botánicas



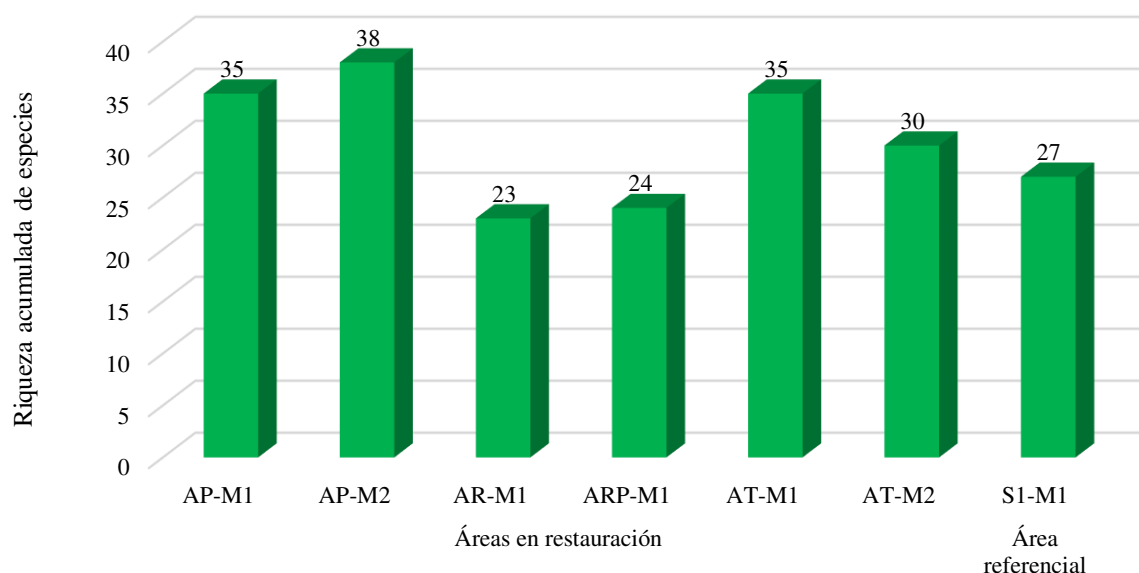
Fuente: Elaboración propia.

Al cabo de 18 monitoreos ejecutados en las áreas en restauración y área referencial, el Área **AP-M2** registró la mayor riqueza con 38 especies, seguida de **AP-M1** con 35 especies, **AT-M1** con 35 especies, **AT-M2** con 30 especies, **ARP-M1** con 24 especies y **AR-M1** con 23 especies; mientras que, el área referencial **S1-M1** registró 27 especies (ver Figura 91).

Por lo tanto, con respecto a la riqueza de especies por área de restauración se observó que 4 han presentado valores muy por encima de los registrados en el área referencial; mientras que, 2 que corresponden a **AR-M1** y **ARP-M1** presentaron valores similares.

Figura 91

Riqueza de especies en áreas en restauración y área referencial



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2. Abundancia y cobertura de especies vegetales

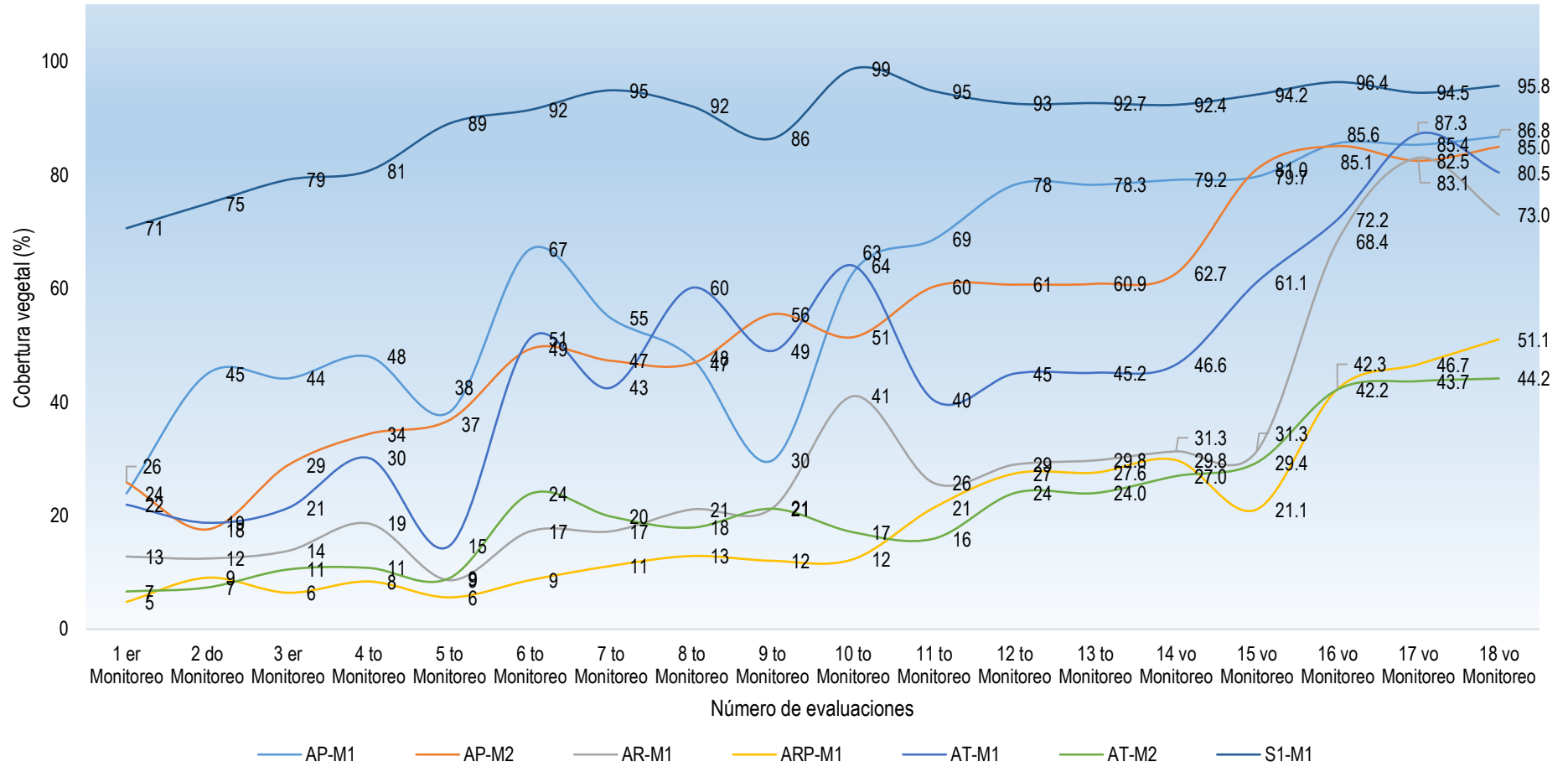
Con respecto a la cobertura vegetal los valores registrados en el último monitoreo de evaluación muestran al área **AP-M1** con el valor más alto con 86.80 % seguida de **AP-M2** con 85.00 %, **AT-M1** con el 80.50 %, **AR-M1** con 73.00 %, **ARP-M1** con 51.10 % y **AT-M2** con 44.20 %; mientras que el área referencial registró un 95.80 % de cobertura (ver Figura 92). Además, se muestra como las áreas en restauración han mostrado un incremento progresivo de la cobertura vegetal desde el inicio de la temporada húmeda hasta la última evaluación; con

respecto al primer monitoreo, AP-M2 registró el mayor valor con 26 % el cual se incrementó en las evaluaciones posteriores a 29 %, 34 %, 49 %, 56 %, 60 %, 61 %, 60.86 %, 81.0 % y 85.1 % en el 16° monitoreo representando su máximo valor; del mismo modo AP-M1 inicialmente registró 24 % de cobertura incrementando a 44 %, 67 %, 69 %, 78 %, 79.7 % y 86.8 % en el último monitoreo lo cual representa su máximo valor, patrones similares se evidencian en las áreas en restauración AT-M1, AT-M2, AR-M1, ARP-M1 y el área referencial S1-M1 cuyos valores más altos de cobertura se han registrado en las dos (2) últimas evaluaciones.

En el último monitoreo realizado, los valores de cobertura obtenidos en las áreas en restauración AP-M1, AP-M2, AT-M1 y AR-M1 han sido representativos; sin embargo, los valores presentados en AT-M2 y ARP-M1 aún son significativamente inferiores en comparación con el área referencial S1-M1, que registró inicialmente una cobertura del 71 % y ha mostrado un incremento progresivo hasta el 95.8 % en el último monitoreo; sin embargo, su máximo valor fue del 99.0 % de cobertura (ver Figura 92).

Figura 92

Cobertura vegetal en áreas en restauración y área referencial



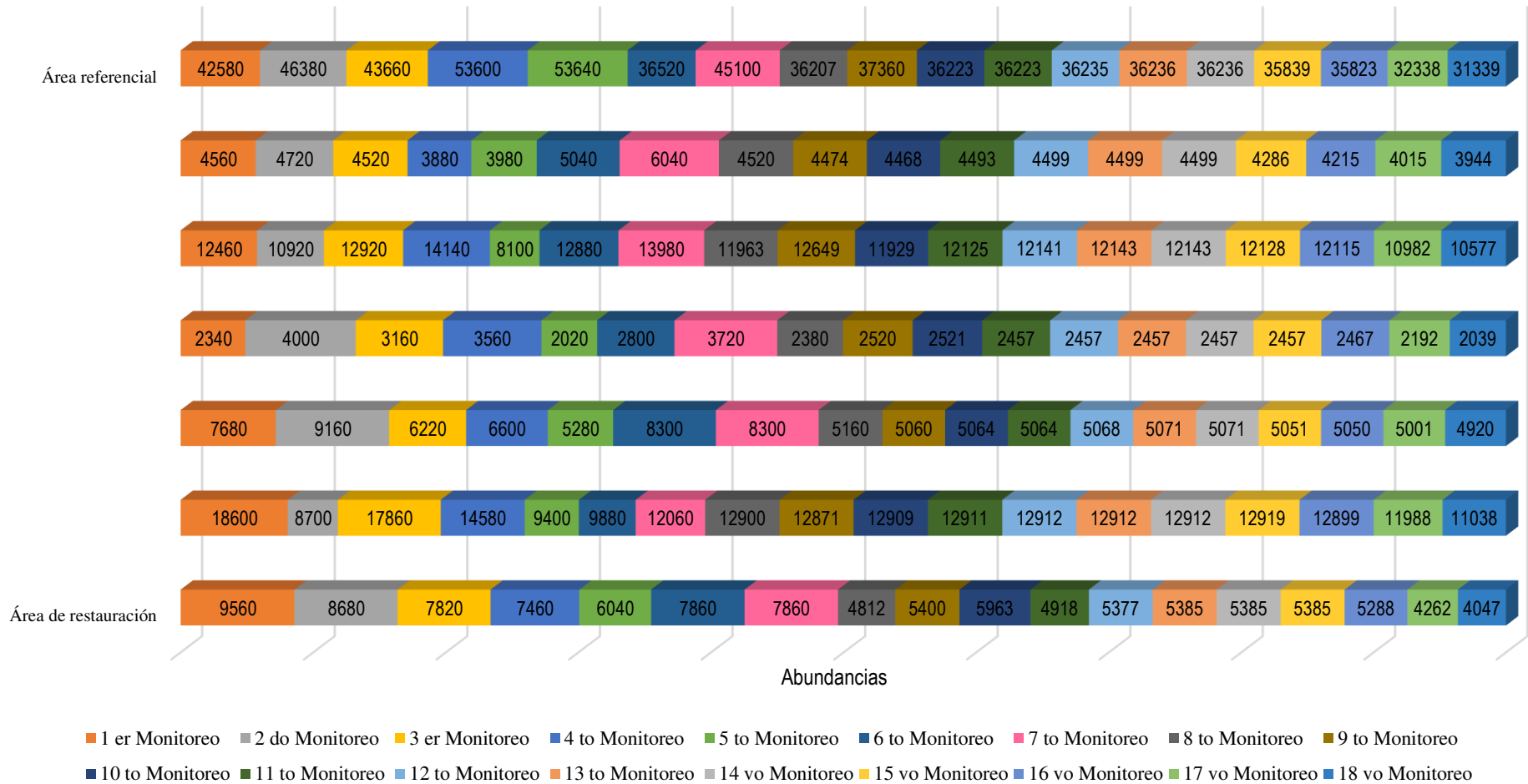
Fuente: Elaboración propia.

La abundancia de individuos por área en restauración en general muestra un descenso progresivo con respecto a los valores registrados durante el primer monitoreo hasta el quinto monitoreo (ver Figura 93), a partir del cual las abundancias en todas las áreas evaluadas se vuelven relativamente constantes.

Para la estación AP-M1 inicialmente se registraron 9560 y posteriormente la abundancia fue decreciendo a 8680, 7820, 7460, 6040, 7860, 4812 y 5400 en la 9° evaluación, a partir del cual los valores de abundancias se mantuvieron relativamente constantes registrando 4047 individuos en la 18° evaluación, comportamiento que se repite en las demás áreas restauradas, del mismo modo en el área referencial S1-M1 en donde inicialmente se registraron 42 580 y posteriormente fue disminuyendo hasta 37 360 en la 9° evaluación, a partir del cual la abundancia se ha mantenido relativamente constante, llegando a registrar durante la última evaluación 31 339 individuos (ver Figura 93).

Figura 93

Abundancias de cobertura vegetal en áreas en restauración y área referencial



Fuente: Elaboración propia.

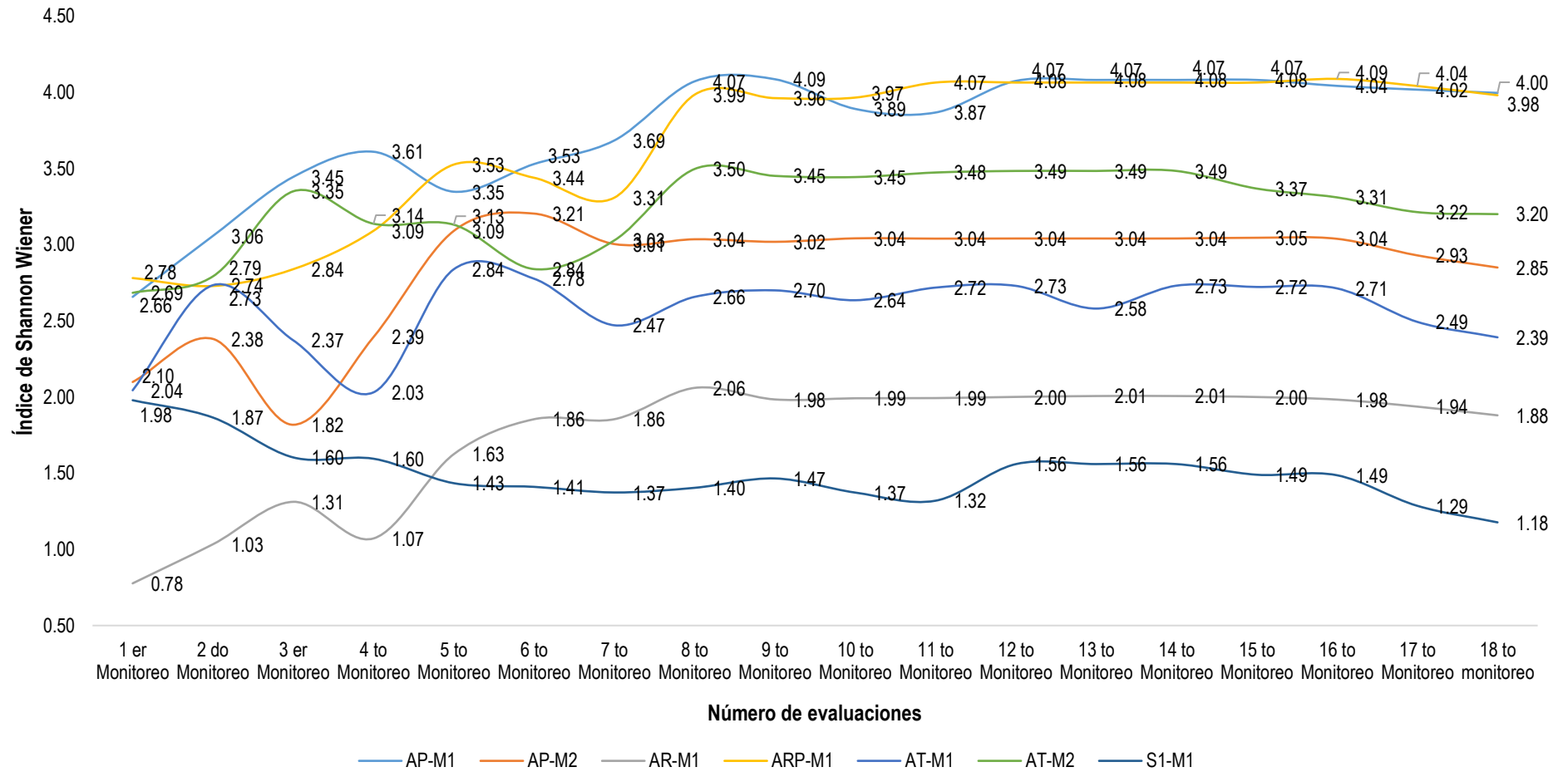
4.3.1.3. Índices de diversidad de las áreas en restauración y el área referencial

Respecto al índice de diversidad de Shannon, en el primer monitoreo, todas las áreas en restauración registraron valores superiores o igual al área de referencia, a excepción de AR-M1 que registró un valor de 0.8 bits/individuo, el resto de las parcelas registró valores que oscilaron entre 2.04 y 2.79 bits/individuo; mientras que, el área referencial registró un valor de 1.98 bits/individuo (ver Figura 94). En los monitoreos posteriores se muestra un incremento progresivo del índice de diversidad de Shannon para todas las áreas en restauración, AP-M1 y ARP-M1 registraron el valor máximo con 4.09 bits/individuo en la 9° y 16° evaluación respectivamente; mientras que, para los últimos monitoreos ha disminuido progresivamente hasta llegar a 4.00 y 3.98 bits/individuo respectivamente. AT-M2 registró el mayor valor en la evaluación 14° con 3.49 bits/individuos; mientras que, en las posteriores evaluaciones la diversidad disminuyó a 3.20 bits/individuo, en AP-M2 el máximo valor se registró en la 5° evaluación con 3.21 bits/individuo disminuyendo a 2.85 bits/individuo para la última evaluación, en el área AT-M1 la máxima diversidad fue 2.84 bits/individuos en la 5° evaluación disminuyendo a 2.39 bits/individuo y finalmente AR-M1 registró su mayor valor de diversidad en la 8° evaluación con 2.06 bits/individuo, disminuyendo ligeramente en evaluaciones posteriores a 1.88 bits/individuo.

Con respecto al índice de diversidad de Simpson, en el primer monitoreo, todas las áreas en restauración registraron valores superiores al Área referencia, a excepción de AR-M1 que registró un valor de 0.28 probits/individuo, el resto de las áreas en restauración registraron valores que oscilaron entre 0.63 y 0.82 bits/individuo, siendo ARP-M1 la que obtuvo el registro más alto, mientras que el área referencial registró un valor de 0.63 probits/individuo (ver Figura 95). En los monitoreos posteriores se muestra un incremento progresivo del índice de diversidad de Simpson para todas las áreas en restauración, dichos valores se han mantenido relativamente constantes a partir de la 8° evaluación, siendo así durante la última evaluación ARP- M1 y AP-M1 registraron los valores más alto con un valor de 0.92 y 0.91 probits/individuo respectivamente, seguida de AT-M2 con 0.82 probits/individuos, AP-M2 con 0.74 probits/individuo, AT-M1 con 0.60 probits/individuos y finalmente AR-M1 con 0.49 probits/individuo.

Figura 94

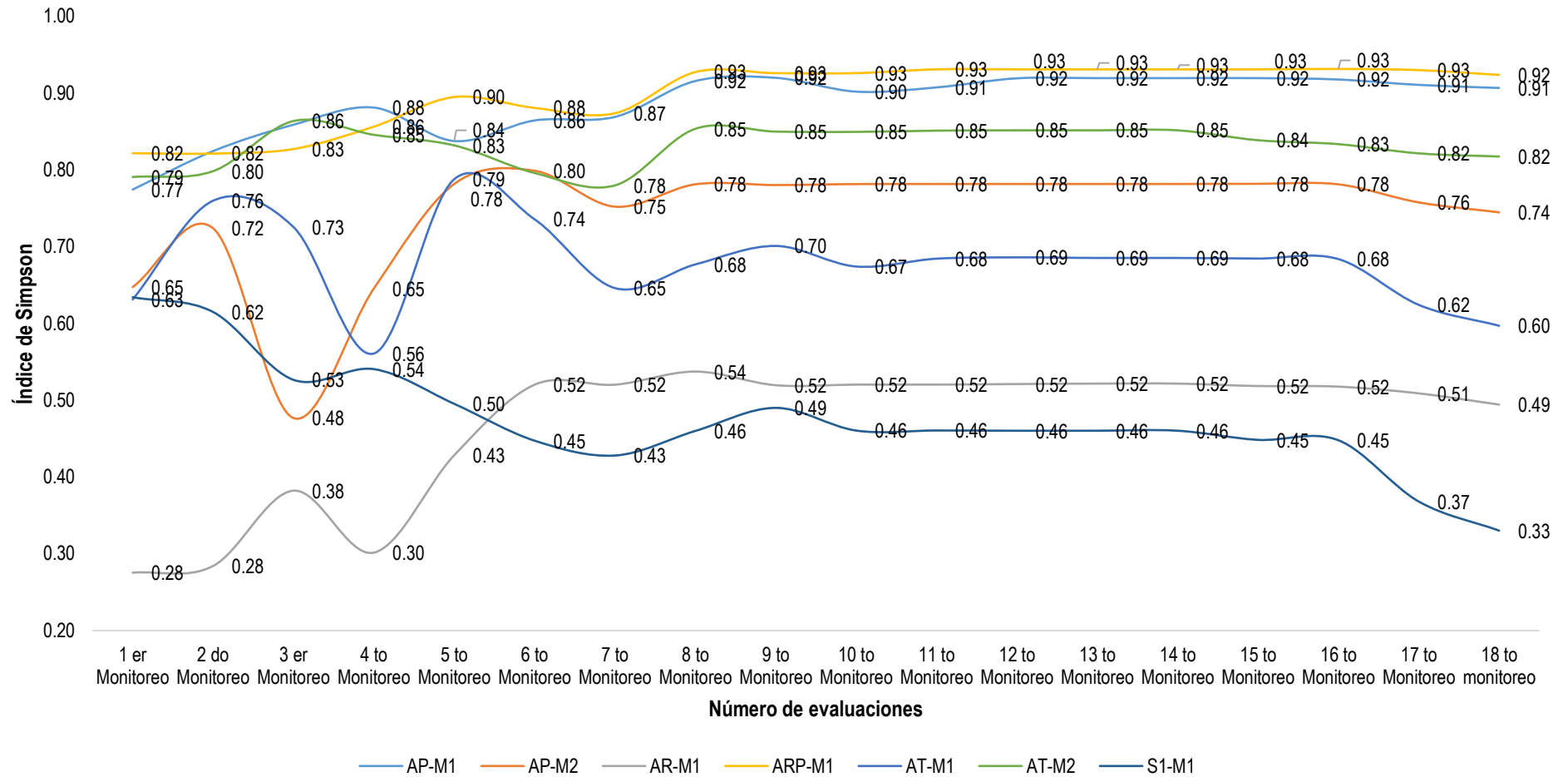
Índices de diversidad de Shannon-Wiener en las áreas en restauración y el área referencial



Fuente: Elaboración propia.

Figura 95

Índices de diversidad de Simpson en las áreas en restauración y el área referencial



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4. Análisis de similitud de las áreas restauradas y el área referencial

Para el análisis de similitud se empleó el índice de Morisita para los datos cuantitativos (abundancia por especie). Se correlacionó las áreas en restauración con el área referencial, hallándose para la 18° evaluación similitudes que oscilaron entre el 22.24 % y el 97.95 %. El cladograma que se muestra en la Figura 96 muestra 2 agrupamientos uno independiente conformado por el Área ARP-M1 que corresponde con el área en restauración con el menor valor de similitud con relación al área referencial; mientras que, el resto de las áreas en restauración forman un solo agrupamiento junto con el área referencial S1-M1.

Sin embargo, en vista que el objetivo de la restauración es evidenciar que tanto las técnicas de restauración implementadas han ayudado a que las áreas del proyecto se asemejen a la parcela referencial, se tomarán datos obtenido a partir de comparaciones independiente de cada área en restauración con el área referencial, los cuales se muestran en la Tabla 38.

Tabla 38

Índice similitud de las Áreas en restauración con respecto al Área referencial

	AP-M1	AP-M2	AR-M1	ARP-M1	AT-M1	AT-M2	S1-M1
AP-M1	100.00 %	69.11 %	54.12 %	60.38 %	60.31 %	80.02 %	46.46 %
AP-M2	69.11 %	100.00 %	42.83 %	37.97 %	47.32 %	59.68 %	37.63 %
AR-M1	54.12 %	42.83 %	100.00 %	25.88 %	98.82 %	80.47 %	97.95 %
ARP-M1	60.38 %	37.97 %	25.88 %	100.00 %	33.24 %	44.12 %	22.24 %
AT-M1	60.31 %	47.32 %	98.82 %	33.24 %	100.00 %	85.02 %	95.64 %
AT-M2	80.02 %	59.68 %	80.47 %	44.12 %	85.02 %	100.00 %	73.22 %
S1-M1	46.46 %	37.63 %	97.95 %	22.24 %	95.64 %	73.22 %	100.00 %

Fuente: Elaboración propia.

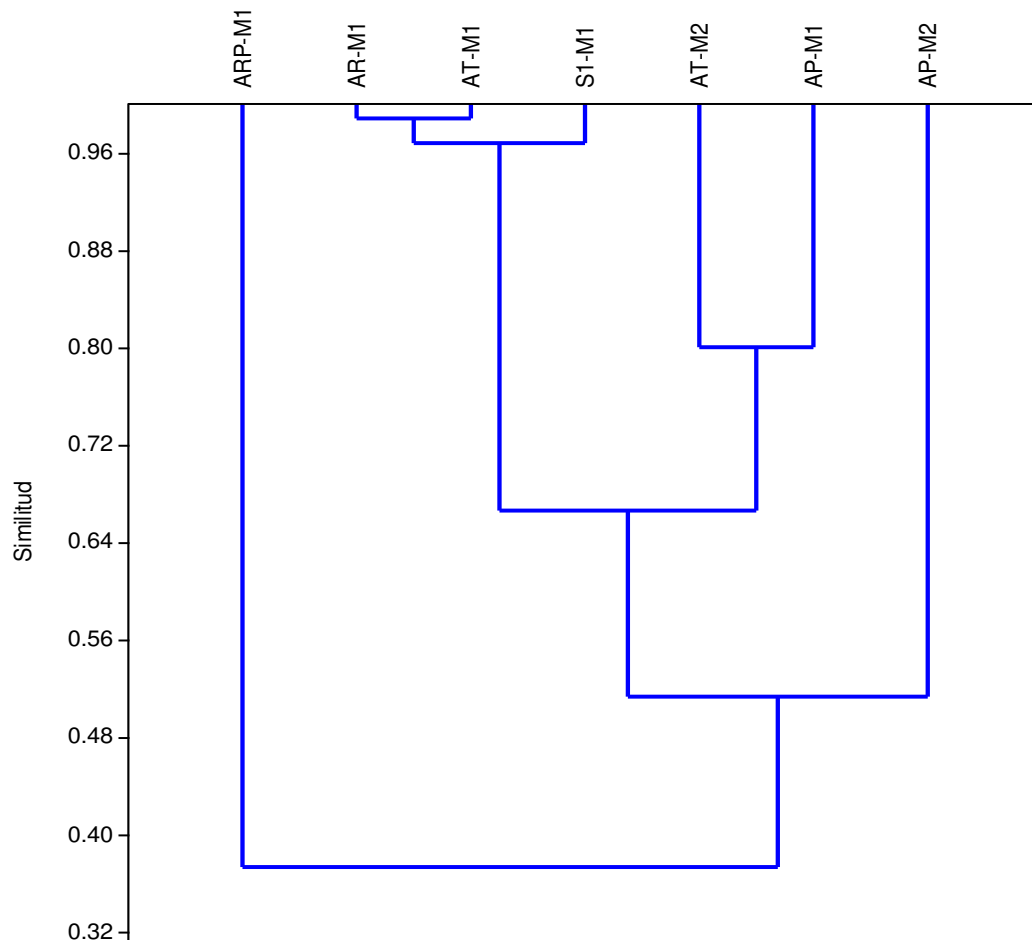
Esta tabla muestra que el área que mayor similitud con el área referencial es AR-M1 con el 97.95 %, seguida de AT-M1 con el 95.64 %, AT-M2 con el 73.22 %, AP-M1 con el 46.46 %, AP-M2 con el 37.63 % y finalmente ARP-M1 con el 22.24 %.

El seguimiento continuo a los valores de similitud de las áreas en restauración con el área referencial son de importancia ya que nos permite saber hasta donde hemos llegado en esta primera

etapa siendo así los valores registrados en esta última evaluación los más altos registrados, con respecto a la composición de especies y sus respectivas abundancias, de modo que nos da un panorama de aquellas área a las que se debe seguir aplicando medidas complementarias de restauración en base a una data sólida de monitoreo.

Figura 96

Índices de similitud de las áreas en restauración con el área referencial



Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Artrópodos

Se evaluó la comunidad de artrópodos los cuales desempeñan un papel importante dentro de los programas de conservación y restauración ecológica. Para las evaluaciones de artrópodos se consideró la riqueza y abundancia, para ello se estableció el uso de una trampa de bandeja amarilla

en cada parcela activada por 24 horas. Las muestras fueron colocadas en microviales en OH de 70° para ser analizadas en el laboratorio.

Figura 97

Instalación de bandejas amarillas



Fuente: Elaboración propia.

Se establecieron 12 estaciones dobles, haciendo un total de 24 puntos de monitoreo. Las cuales están distribuidas en 3 estaciones control, 3 estaciones de monitoreo de desbroce y 6 estaciones de monitoreo en área en restauración.

La distribución de los puntos de evaluación de artrópodos se detalla en la Tabla 39. El monitoreo consistió en la instalación de 2 tipos de trampas (pitfall y bandejas amarillas) las cuales permanecieron activas en cada uno de los puntos de monitoreo por un periodo de 24 horas.

Tabla 39*Ubicación de las estaciones de monitoreo de artrópodos*

Estaciones de evaluación de artrópodos				
ID	Zona	Tipo	Código de estación	Coordenadas
1	Sector 1	monitoreo	S1-M1	302 683 8 648 838
2	Sector 1	monitoreo	S1-M2	302 673 8 648 854
3	Sector 1	control	S1-C1	302 591 8 648 953
4	Sector 1	control	S1-C2	302 606 8 648 948
5	Sector 2	control	S2-C1	302 362 8 648 971
6	Sector 2	control	S2-C2	302 340 8 648 986
7	Sector 2	monitoreo	S2-M1	302 511 8 648 855
8	Sector 2	monitoreo	S2-M2	302 508 8 648 855
9	Sector 3	monitoreo	S3-M1	302 562 8 648 501
10	Sector 3	monitoreo	S3-M2	302 570 8 648 488
11	Sector 3	control	S3-C1	302 516 8 648 510
12	Sector 3	control	S3-C2	302 506 8 648 496
13	Área rocosa	monitoreo	AR-M1	302 535 8 648 785
14	Área rocosa	monitoreo	AR-M2	302 535 8 648 802
15	Terraza inferior	monitoreo	AT-M1	302 534 8 648 763
16	Terraza inferior	monitoreo	AT-M2	302 555 8 648 865
17	Terraza superior	monitoreo	AT-M3	302 619 8 648 748
18	Terraza superior	monitoreo	AT-M4	302 655 8 648 694
19	Parcela inferior	monitoreo	AP-M1	302 636 8 648 616
20	Parcela inferior	monitoreo	AP-M2	302 634 8 648 599
21	Parcela superior	monitoreo	AP-M3	302 709 8 648 647
22	Parcela superior	monitoreo	AP-M4	302 707 8 648 624
23	Área de restauración pasiva	monitoreo	ARP-M1	302 559 8 648 543
24	Área de restauración pasiva	monitoreo	ARP-M2	302 583 8 648 555

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de los artrópodos, se realizaron 12 monitoreos. El esfuerzo de muestreo y las fechas de evaluaciones se detalla en la Tabla 40.

Tabla 40*Número de evaluaciones de artrópodos y esfuerzo de muestreo*

N.º de evaluación	Fecha	Número de parcelas	Esfuerzo de muestreo
1	11/06/2019	12	24 trampas amarillas
2	14/06/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
3	19/06/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
4	26/06/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
5	03/07/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
6	10/07/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
7	17/07/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
8	31/07/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
9	07/08/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
10	14/08/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
11	21/08/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall
12	28/08/2019	12	24 trampas amarillas / 24 pitfall

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Aves

Para el componente de aves se establecieron 12 estaciones de monitoreo, las cuales se muestran en la Tabla 41, la metodología empleada fue de conteo total, en el cual una persona realiza un recorrido corto por un lapso de 30 minutos, registrando y contabilizando las especies presentes en el área evaluada.

Figura 98*Conteo total en la zona AT-M2*

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41*Ubicación de las estaciones de monitoreo de aves en área en restauración, referencial y desbroce*

	Áreas en restauración	Código	Código restauración	Coordenadas
1	Área rocosa	Av-01	AR-M1	302 523 8 648 812
2	Área de restauración pasiva	Av-02	ARP-M1	302 568 8 648 535
3	Área de terraza inferior	Av-03	AT-M1	302 531 8 648 759
4	Área de terraza superior	Av-04	AT-M2	302 623 8 648 749
5	Área de parcelas inferior	Av-05	AP-M1	302 640 8 648 617
6	Área de parcelas superior	Av-06	AP-M2	302 715 8 648 640
7	Área referencial	Av-07	S1-M1	302 686 8 648 848
8	Área referencial	Av-08	S1-C1	302 591 8 648 950
9	Área referencial	Av-09	S2-M1	302 512 8 648 852
10	Área referencial	Av-10	S2-C1	302 338 8 648 990
11	Área referencial	Av-11	S3-M1	302 560 8 648 506
12	Área referencial	Av-12	S3-C1	302 513 8 648 511

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de las aves, se realizaron 10 monitoreos los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 42*Evaluaciones de aves y esfuerzo de muestreo*

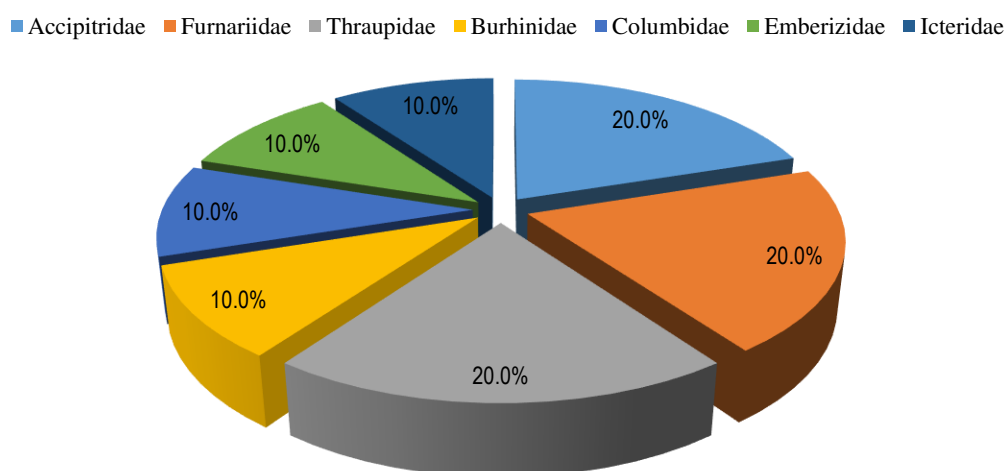
Nº de evaluación	Fecha	Número de parcelas	Esfuerzo de muestreo
1	5/07/2019	12	6 horas
2	12/07/2019	12	6 horas
3	19/07/2019	12	6 horas
4	26/07/2019	12	6 horas
5	31/07/2019	12	6 horas
6	02/08/2019	12	6 horas
7	09/08/2019	12	6 horas
8	16/08/2019	12	6 horas
9	23/08/2019	12	6 horas
10	30/08/2019	12	6 horas

Fuente: Elaboración propia.

Parte de la información colectada de los monitoreos ha sido procesada, identificándose a las 10 especies de aves clasificadas en 7 familias, de las cuales las mejor representadas fueron Accipitridae, Furnariidae y Thraupidae con 2 especies cada una y el 20% respectivamente; mientras que, las familias Burhinidae, Columbidae, Emberizidae e Icteridae registraron una especie que representa el 10% cada una (ver Figura 99). Asimismo, en la Tabla 43 se muestra las especies de aves registradas en las áreas de restauración.

Figura 99

Composición de avifauna en las áreas en restauración



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43

Especies de aves registradas en las áreas en restauración

ID	Familia	Especie
1	Accipitridae	<i>Geranoaetus polyosoma</i>
2	Accipitridae	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>
3	Burhinidae	<i>Burhinus superciliaris</i>
4	Columbidae	<i>Zenaida auriculata</i>
5	Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>
6	Furnariidae	<i>Geositta peruviana</i>
7	Furnariidae	<i>Geositta maritima</i>
8	Icteridae	<i>Leistes bellicosa</i>
9	Thraupidae	<i>Sicalis luteola</i>
10	Trochilidae	<i>Rhodopis vesper</i>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 100

Ave Zenaia auriculata en las áreas en restauración



Fuente: Elaboración propia

Figura 101

Ave Rhodopis vesper en las áreas en restauración



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los Lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre RDE N° 083-2018-MINAGRI-SERFOR-DE, en el Ítem 6.5, para el plan de monitoreo se debe de involucrar a universidades, institutos de investigación y/o entidades académicas nacional o internacional con interés para colaborar en el proceso de monitoreo a través de la participación de investigadores, académicos y voluntarios; así mismo el

ítem 6.6 como indicador de éxito comprende el involucramiento y participación de la población local durante este proceso; para lo cual el personal local (10 personas cuyos datos se detallan en la Tabla 44 provenientes de las comunidades de Cucuya, Cardal y el Manzano fueron capacitados y entrenados en técnicas de evaluación biológica (Artrópodos, Aves, Flora y Vegetación), el cual estuvo a cargo de biólogos de la empresa consultora JCI Ingeniería & Servicios Ambientales SAC.

Tabla 44

Personal local capacitado para la implementación del plan de monitoreo en el área de restauración del depósito de desmonte 500

N.º	DNI	Nombre y Apellidos	Edad	Localidad
1	70555851	Escalante Moreno Jhonny Toño	26 años	Manzano
2	46449266	Obregon Vega Lidia Suliana	29 años	Negritillo
3	47237034	Isau Rosas Rojas	27 años	Cucuya
4	47844720	Wini Ida Chuco Barbaran	26 años	Cucuya
5	41744776	Espinoza Cienfuegos Rodolfo	38 años	Cucuya
6	46449267	Obregon Vega Veronica Bibiana	29 años	Negritillo
7	46321373	Ramos Macha Dayvis Leandro	29 años	Cucuya
8	44796632	Martinez Hilario Maria	35 años	Cucuya
9	80611504	Leiva Zanabria Orlando	39 años	Santa Anita
10	46822356	Ruiz Franchini Geli	30 años	Santa Anita

Fuente: Elaboración propia.

La capacitación comprendió la elaboración de presentaciones digitales, guías fotográficas para la identificación de la flora, así como también la elaboración de una ficha de toma de datos que facilite el trabajo en campo.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de la investigación fue diseñar una propuesta para la restauración ecológica de los ecosistemas de Lomas en el botadero 500 de la Unidad Minera Cristina, para ello, se caracterizó un ecosistema de referencia a fin de identificar las principales características que fue de utilidad en el proceso de restauración. En ese sentido, los resultados indicaron que el geoprocesamiento de la información cartográfica y temática fue importante a fin de conocer la geología, geomorfología, uso de suelo, climatología, zonas de vida y cobertura vegetal del área de estudio. Asimismo, la caracterización de suelos mediante el trabajo de campo y gabinete fue necesario a fin de conocer los aspectos biológicos y físicos sobre los cuales se desarrollaron las actividades de restauración. Otro aspecto fundamental en la etapa del desarrollo del diagnóstico fue la geofísica del área de estudio, ya que antes de iniciar el proceso de restauración, se debe conocer cuáles son los materiales constituyentes del Botadero 500 y si presenta las condiciones de estabilidad adecuadas que permita el desarrollo de los trabajos de restauración. Ello está asociado a conocer (1) los riesgos sísmicos que puedan presentarse en el área de estudio mediante la información y los valores de aceleración y de coeficientes sísmicos, basado en información del Catálogo Sísmico de la NOAA bajo métodos estadísticos y probabilísticos, los cuales han sido extraídos del informe de “Cantera Caliza Atocongo – Estudio Geotécnico de los botaderos de Escombros de acuerdo con (SVS Ingenieros, 2006). Los resultados mostrados en la Tabla 13, respecto a la aceleración máxima del terreno en la zona de estudio está fundamentado en las ecuaciones de atenuación de (Casaverde y Vargas, 1980; McGuire, 1974) para sismos que poseen génesis asociados a fenómenos de subducción y a fallas continentales respectivamente; y (2) el análisis geotécnico que corresponde a la recopilación de información de campo desde el año 1998 hasta el 2016 sobre sondeos y

densidad en campo, los resultados presentados se basaron en la Guía ambiental para la estabilidad de taludes de acuerdo con (Dirección General de Asuntos Ambientales [DGAA], 1998).

Los resultados presentados en la investigación muestran el planteamiento de una falla circular propia de un talud de suelo, sin embargo debido a la disposición de los estratos y la geometría del depósito de desmonte se evaluó una falla de tipo lineal, de acuerdo con los cálculos de la Tabla 19 respecto a los factores de seguridad para la falla, indica que no existe inestabilidad, precisando que la estabilidad de los taludes fue evaluada siguiendo el método Spencer y la utilización del software Slide 6.02.

Por otro lado, la caracterización biológica fue realizada en un ecosistema de referencia con la finalidad de utilizarlo como insumo para plantear el modelo de restauración ecológica. Al respecto, (SER, 2004; Vargas, 2007) indican que el ecosistema de referencia es importante ya que provee información sobre las condiciones anteriores a los disturbios que puedan haberse presentado. En razón a ello, se escogió una ladera de Loma herbácea cercana al botadero 500 de la U.M. Cristina, para llevar a cabo la evaluación cuantitativa y cualitativa de la vegetación. Es oportuno mencionar que todas las especies registradas presentan un ciclo de vida estacional y emergen en temporada húmeda (invierno) gracias a la aparición de neblinas y llovizna.

Luego de realizar el diagnóstico, se obtuvo el panorama base para establecer la estrategia de restauración en el ecosistema de Lomas tipo herbáceo. Se realizó una búsqueda exhaustiva de investigaciones de proyectos de restauración o recuperación de ecosistemas de Lomas, sin embargo, al ser un término relativamente nuevo en el Perú, se encontraron escasos trabajos e iniciativas relacionadas, las cuales están orientadas básicamente a la restauración con especies arbóreas como *Caesalpinea spinosa*, *Leucaena leucocephala*, *Jacaranda yaravisca* y *Parkinsonia acuelata* desarrollados en el Proyecto Especial Parque Ecológico Nacional Antonio Raimondi

(Pepenar y el Proyecto PD 724/13) financiado por la Organización Internacional de las Maderas Tropicales y Operado por la Asociación para el Desarrollo Agroforestal de Camaná (APAIC), conjuntamente con la Fundación para el Desarrollo Agrario (FDA) en el distrito de Ancón y costa sur del Perú.

Debido a que el objetivo de la investigación fue la restauración ecológica de un ecosistema de Loma, se elaboraron modelos preliminares para ejecutar la restauración en el botadero 500 de la Unidad Minera Cristina, en base a las visitas de campo e información recopilada durante la etapa del diagnóstico. En ese sentido el desarrollo de la propuesta de restauración estuvo enmarcada en plantear diferentes modelos a fin de identificar el tratamiento óptimo para posteriormente implementarlo a mayor escala.

Los modelos preliminares fueron 6 diferentes tratamientos, los cuales estuvieron sujetos a monitoreos semanales. Se evaluó el número de individuos, la cobertura vegetal y la riqueza de especies. Se estableció un sistema de riego por goteo, debido a que las condiciones no eran las adecuadas (temporada seca), siendo la germinación un proceso que fue inducido mediante el riego continuo.

Como se muestra en la Tabla 28, fueron en total 12 especies recolectadas para la siembra en los diferentes tratamientos, de los cuales se utilizaron 8 de tipo herbáceo. Luego de los monitoreos, se registraron 5 especies germinadas y 3 especies no germinaron; sin embargo, se obtuvieron en total 11 especies, de las cuales 6 representan a nuevas especies. Probablemente, estas 6 nuevas especies vinieron incluidas en los insumos utilizados (broza y sustrato) de modo que la lista de especies en la tabla 28 serán consideradas como pioneras para el ecosistema de Lomas costeras.

En la Figura 57 se observa una disminución en la abundancia de individuos por tratamiento, la cual se debería por 2 factores: i) la temporalidad ya que el ensayo ha sido realizado en temporada

seca induciendo la germinación de las semillas por medio del riego, por lo que, al no presentar las condiciones ambientales adecuadas (humedad y temperatura) no pudieron adaptarse al medio y por la fuerte radiación de la temporada seca entraron en un estadio de senescencia; ii) la presencia de insectos y moluscos como el “insecto palo” *Phasmatodea* sp. y el “caracol de jardín” *Helix pomatia*, *Bemisia tabaci* y *Tetranychus urticae* registrados en la parcelas, los cuales al dañar las plántulas interrumpen o afectan su desarrollo adecuado; sin embargo, si lo interpretamos en porcentajes, el tratamiento T2 habría disminuido su abundancia a un 60% con respecto a su valor máximo registrado de 227 individuos; mientras que, el tratamiento T3 disminuyó a un 29%, porcentaje similar registrado para los tratamientos T4 y T6.

Por lo tanto, si todas las parcelas se encontraron bajo las mismas condiciones ambientales y de riego, se entiende que la broza ha sido un factor importante que permitió el desarrollo de las plántulas manteniendo la humedad del sustrato y protegiéndolas de radiación directa, evitando la evapotranspiración y haciendo que este proceso sea más lento a diferencia del resto de los tratamientos que no presentaron este tipo de protección.

Con respecto a la fenología, de acuerdo con los criterios establecidos por el Ministerio de Agricultura (MINAGRI), los estados fenológicos pueden ser agrupados en ciclos (vegetativo y reproductivo); mientras que, otros investigadores (Granados & Sarabia, 2013) las denominan fases (vegetativa, reproductiva y de maduración fisiológica).

Para la descripción de los estados fenológicos de las especies en lomas, se utilizó la mencionada en (Granados & Sarabia, 2013).

De acuerdo con (Llësh et al., 2015), la especie *Heliotropium angiospermum* se puede considerar de importancia para la restauración en el depósito de desmonte 500 ya que prefiere

ambientes de fondos de quebradas y laderas de lomas, como las presentes en los taludes del depósito.

De los resultados de la implementación del tratamiento T2 a mayor escala (parcelas de 3 m x 3m), se registraron 54 especies. De acuerdo con (Llellish et al., 2015) 3 son categorizadas como introducidas entre ellas se tiene a *Argemone subfusiformis*, *Acmella oleracea* y *Conyza bonariensis*; mientras que 7 son catalogadas como exóticas entre las que se tiene a *Lamarckia aurea*, *Poa annua*, *Sonchus oleraceus*, *Medicago polimorfa*, *Stachys arvensis*, *Fumaria capreolata* y *Veronica pérsica*.

Por otro lado, a nivel de riqueza de especies por parcela, todas registraron un incremento significativo durante la 12° evaluación en comparación con las estimaciones previas (1° al 11°) el cual varió entre 3 y 13 especies. El incremento de especies registrado se debe a las condiciones climatológicas de humedad y temperatura que brindaron las condiciones para la germinación de nuevas especies como *Cerastium glomeratum*, *Cotula australis*, *Galinsoga sp.* y *Gnaphalium sp.* En la evaluación 13° se registró a la especie *Anagallis arvensis* y en la 14° se registró a *Triodanis perfoliata*.

Sin embargo, durante las evaluaciones 13° y 14° todas las parcelas sin excepción presentaron reducción de especies disminuyendo entre 1 a 10 especies por parcela, lo cual puede deberse a su senescencia, esto indicaría que las especies de Lomas ya han cumplido su ciclo fenológico, regulado en prioridad por el factor tiempo en vez del factor climatológico ya que durante el mes de julio se registraron condiciones promedio de 95.5% de humedad y 15 °C de temperatura las cuales son óptimas para las especies de loma; sin embargo, las parcelas fueron establecidas en el mes de marzo y a la fecha ya han cumplido un estimado de 5 meses similar al periodo que dura la temporada húmeda.

De acuerdo con los resultados de los artrópodos, (Hopkin, 1997 y 2002) la especie Collembola son pequeños hexápodos, parientes de los insectos, pero sin alas, que miden en promedio 2 mm de longitud (entre 200 micras y 10 mm), son comunes y abundantes en diferentes ambientes, y con frecuencia se registran densidades hasta de más de 100 000 ind/m² de suelo. Además, según (Cassagne et al., 2003) juegan un importante papel funcional en los procesos de descomposición de la materia vegetal muerta, del ciclo de nutrientes y ayudan en la formación de las características del suelo, siendo que sus heces tienen influencia en los procesos húmicos. También intervienen en la dispersión de esporas de hongos y bacterias. Además, son el alimento de muchos insectos, tales como hormigas y escarabajos y numerosos ácaros depredadores, arañas y algunos vertebrados como aves, ranas y peces.

El plan de monitoreo de las áreas en restauración se realizó con el objetivo de evidenciar si las estrategias de restauración implementadas han tenido éxito y si generaron impactos positivos sobre la cobertura vegetal, la riqueza y abundancia de especies con respecto al área referencial.

De los resultados de la Figura 93 se observa que existe un descenso progresivo ocurrido en todas las áreas en restauración el cual podría tener relación con el establecimiento de los artrópodos registrados en las parcelas, las cuales se podrían alimentar de las plántulas en germinación, provocando este decrecimiento, situación similar se ha notado en las áreas en desbroce en donde se evidencia gran cantidad de hojas de *Fuertesimalva peruviana* afectadas por insectos.

Adicionalmente, la disminución de la abundancia se debe en parte a la desaparición de especies como *Calandrinia alba*, *Stenomesson coccineum*, *Oxalis* sp., y *Vicia* sp. que ya han cumplido su ciclo fenológico y cuyas hojas se encuentran en un proceso parcial o completo de apoptosis celular.

La disminución del índice de Shannon en el área de restauración AP-M1 fue debido a la disminución de la abundancia, así como la reducción especies por la falta de *Stenomesson coccineum*

De los resultados de la Figura 94 respecto al índice de Shannon para los monitoreos de las áreas de restauración y de referencia, todas las áreas en restauración presentaron valores de diversidad de Shannon superior al área referencial alcanzando sus valores máximos en la 8° evaluación lo cual representa en tiempo un aproximados de 2 meses iniciada la temporada húmeda, a partir del cual inicia un continuo descenso producto de dos factores la disminución continua de individuos, así como de especies que tienen ciclos fenológicos muy cortos. Los valores obtenidos en las áreas AP-M1 y ARP-M1 y AT-M2 son considerados altos. Estos valores indican que las abundancias de las especies por área son equitativas. Por otro lado, respecto a los resultados del índice de Simpson (ver Figura 95) todas las parcelas registraron un valor superior al área referencial, el cual registro un descenso progresivo a lo largo de los monitoreos, registrando durante la última evaluación una diversidad de 0.33 probits/individuo. Los valores obtenidos en las áreas AP-M1 y ARP-M1 y AT-M2 son considerados altos. Estos valores indican que las abundancias de las especies por área son equitativas.

VI. CONCLUSIONES

- El botadero 500 de la unidad minera Cristina está conformado principalmente por piedra caliza con presencia de laderas que contiene material de desmonte de diferentes dimensiones, que van desde material particulado hasta fragmentos de roca mayores de 1 m de diámetro aproximadamente. Además, se identificaron áreas con presencia de vegetación debido a la presencia de sustrato. El diagnóstico permitió identificar que el ecosistema a restaurar comprende uno de Lomas tipo herbáceo, identificándose en el área referencial 22 especies agrupadas en 17 familias, la especie con mayor cobertura y abundancia fue *Stachys arvensis* con el 50.81%.
- Las pruebas experimentales en las parcelas de ensayo indicaron que el tratamiento T2 fue el más efectivo usando sustrato, broza y semillas; alcanzando una cobertura vegetal promedio del 46% luego de dos meses de monitoreo. La familia más importante fue Laminaceae, debido a que sus especies germinaron en una temporalidad ajena a la época de las Lomas costeras. En la experimentación a mayor escala se obtuvo 100 % de éxito con respecto a la germinación. Se registraron luego de 14 monitoreos, 54 especies agrupadas en 28 familias botánicas siendo Asteraceae la más importante con 12 especies.
- La implementación del proceso de restauración se realizó aproximadamente en 4.76 ha mediante 7 técnicas: Parcelas, Terrazas, Cascajo y Sustrato, Restauración asistida, Siembra directa, Plataforma y Siembra en vías de desplazamiento, las cuales dependieron básicamente de la pendiente, sustrato y nivel de resiliencia del medio. En ese sentido La estrategia de restauración debe considerar a la humedad, temperatura y precipitación como variables importantes en la germinación de las semillas de especies Lomas ya que evidenció un incremento en la riqueza de especies durante los monitoreos que coincidieron con el

inicio de la temporada húmeda. Asimismo, a la broza como insumo importante en la germinación y protección de las semillas. Además del establecimiento de modelo de sucesión de especies de Loma considerando las variables meteorológicas y otras que permitan germinar a las semillas en periodos de tiempo distintos los cuales deben monitorearse continuamente.

- Se realizaron 18 monitoreos, en la cual se registró 52 especies agrupadas en 29 familias botánicas, siendo la familia Asteraceae la de mayor riqueza con 9 especies. La mayoría de las áreas en restauración registró mayor riqueza de especies en comparación con el área referencial S1-M1, a excepción de AR-M1 y ARP-M1. Respecto a la cobertura, AP-M1 registró 86.80 % y en AP-M2 fue 85.00% mientras que el resto de las áreas varía entre 44.20 % y 73.30 %. Todas las áreas en restauración registraron menor abundancia en comparación a la primera evaluación. Con respecto a los índices de diversidad, estos incrementaron sus valores a lo largo de los monitoreos llegando a registrar entre 1.88 y 4.00 bits/individuo para Shannon y 0.49 a 0.91 probits/individuo para Simpson; mientras que, en el área referencial disminuyó en comparación con la primera evaluación, estableciéndose en 1.18 bits/individuo para Shannon y 0.33 probits/individuo para Simpson. Por otro lado, las áreas en restauración con mayor similitud al área referencial S1-M1 al término de las evaluaciones son AR-M1 con el 97.95 % de similitud y AT-M1 con el 95.64 % de similitud. Finalmente, los monitoreos de evaluación indican que los artrópodos son un importante indicador de la restauración en los ecosistemas de Lomas de la Unidad Minera Cristina, lo que demuestra que el proceso de restauración se desarrolló de forma satisfactoria, y que puede ser replicado para este tipo de ecosistema.

VII. RECOMENDACIONES

- Las autoridades competentes como el Ministerio de Ambiente, el Servicio Forestal, deben establecer en el Perú un protocolo de restauración para los ecosistemas de Lomas por tomando como base la presente investigación, para aplicarlos en los diferentes proyectos de restauración en zonas afectadas por la minería u otras actividades antropogénicas con la finalidad de contribuir en la protección de estos ecosistemas aprovechados por las comunidades.
- El Servicio Nacional Forestal debe desarrollar una guía metodológica de restauración para ecosistemas de Lomas, el cual es considerado como un ecosistema frágil.
- Las unidades mineras deben considerar el proyecto de restauración como parte del plan de cierre progresivo y final en sus canteras.
- Promover la formulación de proyectos de investigación en restauración ecológica de ecosistemas de Lomas con la finalidad de generar mayores conocimientos para beneficio de nuestros recursos naturales.
- Realizar monitoreos participativos de los sectores de extracción de broza y semillas con la finalidad de detectar impactos negativos debido a las actividades realizadas.

VIII. REFERENCIAS

- Abouhamad, S., Rojas Ramírez, M., Méndez Ramírez, J., Salazar Céspedes, K., & Salmerón Alpízar, A. (2017). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis*, 31(1-2), 80-92.
- ACOMISA. (2016). *Estudio de estabilidad física del botadero de desmonte 500*. Asesores y Consultores Mineros SA.
- Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH).
- Alva Contreras, E. (2018). *Restauración ecológica inicial de áreas degradadas de la Comunidad Nativa Tayuntsa Distrito de Nieva – Amazonas con especies nativas "Tornillo" y "Moena"*. Universidad de Lambayeque.
- Alvarado-García, V., & Zuñiga-Amador, M. (2018). Vegetación nativa como factor de control de erosión y restauración ecológica, San José Costa Rica. *La Calera*, 39-47.
- Andaluz Westreicher, C. (2016). *Manual de Derecho Ambiental*. Ilustitia SAC.
- Anddes Asociados. (2014). *Estudio de estabilidad del tajo y botaderos de desmonte*. Lima: Anddes Asociados S.A.C.
- Barrera Cataño, J., & Valdés López, C. (2007). Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum*, 11-24.
- Canziani, J., & Mujica, E. (1997). *Atiquipa: un caso prehispánico de manejo sustentable de ecosistemas de Lomas en el Perú*. Lima: Bruno Revesz y Mario Tapia editores.
- Casaverde, L., & Vargas, J. (1980). *Zonificación Sísmica del Perú*. Lima: II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, OEA-PUCP.
- Cassagne, N., Gers, C., & Gauquelin, T. (2003). Relationships between Collembolam soil chemistry and humus types in forest stands. *Biology and fertility of Soils*, 355-361.
- Choi, Y. (2007). Restoration Ecology to the Future: A Call for New Paradigm. *Restoration ecology*, 351 - 353.
- Davis, M., & Slobokin, L. (2004). The sciences and values of restoration ecology. *Restoration Ecology*, 1-3.
- DCBIFFS. (2006). *Informe N° 323-DCB-IFFS: Ecosistemas frágiles y áreas prioritarias para la conservación en el Perú (ubicados fuera del SINANPE)*. Lima: SINANPE.

- De Oca Risco, A., & Ulloa-Carcassés, M. (2013). Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba. *Luna Azul*, 74-88.
- Diario El Peruano. (2005). Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente. Lima.
- Dos Santos, J. (2011). Interdependencia entre la restauración ecológica y la conservación natural. *Revista Ingenierías USBMed*, 2(1), 24-28.
- Dourojeanni, M. (1986). *Recursos naturales, desarrollo y conservación en el Perú*. Barcelona.
- Facultad de Ciencias Forestales UNALM. (2015). *Lineamientos para el manejo de plantaciones de tara para la rehabilitación de tierras eriazas del trópico Subhúmedo de la región costa del Perú*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Fernández Chicharro, I., Morales San, N., & Olivares Dávila, L. (2010). *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales* (Primera Edición ed.). Chile.
- Ferreira, R. (1983). Los tipos de vegetación en la costa peruana. *Anales Fat. Bot.*, 241-256.
- Flohr Droege, O. (2005). *La importancia del mantenimiento de los ecosistemas*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gálvez Cárdenas, G. (2013). *Evaluación de bosques de polilepis y su plan de restauración ecológica en la microcuenca de cancha cancha-calca*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Gálvez Ruano, J. (2002). *Documento Técnico N° 8: La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente y Universidad Rafael Landívar.
- García Orth, X., & Martínez-Ramos, M. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80, 69-84.
- Garibello, J. (2003). *Restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación - Guía metodológica*. Bogotá: CONIF.
- Granados Ramírez, R., & Sarabia Rodríguez, A. (2013). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 435-446.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill Interamericana.
- Herreras, D., & Benitez Malvido, J. (2005). *Consecuencias de la fragmentación de ecosistemas*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- Hoek, E., & Brown, E. (1980). *Underground Excavations in Rock*. Chapman & Hall.

- Hopkin, S. (1997). *Biology of the springtails (insecta: Collembola)*. Oxford University Press.
- Hopkin, S. (2002). *Collembola in encyclopaedia of soil science* . M.R. Lal Dekker.
- Ipanaqué Quispe, C. (25 de 11 de 2020). *Lomas de Lima: un ecosistema en peligro*. Obtenido de Lomas de Lima: un ecosistema en peligro: <https://www.conservamospornaturaleza.org/noticia/lomas-lima-peligro/>
- J. CESAR INGENIEROS Y CONSULTORES. (2015). *Estimación de la cantidad y calidad del suelo orgánico en cantera cristina*. Lima: J. CESAR INGENIEROS Y CONSULTORES.
- Jimenez, R., & La Torre, M. (2012). *Estudio comparativo de la flora vascular de las limas de lima (casco urbano)*. Lima.
- Llëshish, M., Odar, J., & Trinidad, H. (2015). *Guía de flora de las Lomas de Lima*. Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre : SERFOR.
- McGuire, R. (1974). *Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance*. Cambridge, Mass. USA: MIT Report R74-51.
- Mena Molina, J. (2018). *Restauración de espacios degradados en un área de cantera abandonada*. Universidad de Guayaquil.
- Miyasiro López, M., & Ortiz Huamaní, M. (2016). *Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Morlans, D. (2004). *Patters and processes of vegetation dynamics*. Cambridge: Chapman and Hall.
- Mostacero, J., Mejía, F., & Pelaez, F. (1996). *Fitogeografía del norte del Perú*. Lima: Serie Ciencias-CONCYTEC.
- Müller , G. (1985). Zur floristischen Analyse der peruanischen Loma – Vegetation. *Flora*, 153-165.
- Noriega Noriega, P. (2016). *Propuesta de Restauración Ecológica para Cierre Minero Vereda el Manzano, La Calera Cundinamarca*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Noriega Noriega, P. (2016). *Propuesta de restauración ecológica para el cierre minero Vereda el Manzano*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Núñez , I., González-Gaudiano , É., & Barahona , A. (2003). La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. *Interciencia*, 387-393.

- ONU. (1970). *Recursos naturales de los países en desarrollo; investigación, explotación y utilización racional*. Nueva York: Naciones Unidas.
- Rey Benayas, J. (2009). *La restauración de los ecosistemas beneficia a la biodiversidad y al bienestar humano*. Guayaquil: Universidad de Alcalá.
- Society for Ecological Restoration International. (2004). *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- SVS Ingenieros. (2006). *Cantera de Caliza Atocongo - Estudio Geotécnico de los Botaderos de Escombros*. Lima.
- Talavera Delgado, C. (2015). *El rol de las aguas de neblina en la conservación y manejo de la biodiversidad de los ecosistemas de lomas*. Lima: Ministerio de Ambiente.
- Universidad de Murcia e Instituto de Seguridad y Salud Laboral. (2008). *Evaluación del impacto ambiental: conceptos y métodos*. Oficina de Textos.
- Universidad Nacional de Colombia. (2011). *La Restauración Ecológica en la práctica*. Bogotá: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica.
- Vargas C., N., Bustos T., C., Ordoñez C., O., Calle I., M., & Noblecilla G., M. (2017). Uso y aprovechamiento de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico local sostenible. Caso Pasaje. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 13(2), 206-217.
- Vargas, O. (2007). *Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. GRE.





ANEXOS

Anexo A. Matriz de Consistencia





PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODO
<p>Problema Principal</p> <p>¿En qué medida se puede recuperar un ecosistema de Lomas del botadero 500 de la concesión minera Cristina del distrito de Lurín?</p>	<p>Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none"> Diseñar una propuesta de restauración ecológica en un área piloto con la finalidad de contribuir con la recuperación en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín. 	<p>Hipótesis Principal</p> <p>Si se realiza una propuesta de restauración ecológica en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín, entonces se contribuirá con su recuperación.</p>		<p>Tipo de investigación:</p> <p>Es exploratorio y transeccional.</p>
<p>Problemas Secundarios</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿De qué forma se puede diseñar una estrategia de restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la concesión minera Cristina del distrito de Lurín? ¿De que manera se puede conocer la propagación de especies en los ecosistemas de Lomas del botadero 500 de la concesión minera Cristina del distrito de Lurín? ¿Cómo se pueden obtener indicadores de evaluación del área sujeta a restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la concesión minera Cristina del distrito de Lurín? 	<p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Conocer el estado actual mediante un el diagnóstico físico – ambiental con la finalidad de diseñar una estrategia de restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín. Determinar el potencial de regeneración del ecosistema mediante pruebas experimentales en parcelas de ensayo en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín. Realizar monitoreos con la finalidad de establecer indicadores de evaluación en el área piloto sujeta a restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín. 	<p>Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Si se realiza un diagnóstico físico – ambiental entonces se diseñará una estrategia de restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín. Si se conoce la forma de propagación de las especies en las parcelas experimentales de ensayo entonces se determinará el potencial de regeneración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín. Si se realizan monitoreos entonces se establecerán los indicadores necesarios para la evaluación del área sujeta a restauración en los ecosistemas de Lomas del Botadero 500 de la Concesión Minera Cristina del distrito de Lurín. 	<p>V. Independiente: Ecosistemas de Lomas del botadero 500 de la Unidad Minera Cristina del distrito de Lurín.</p> <p>V. Dependiente: Restauración ecológica Áreas de Lomas, Áreas impactadas.</p>	<p>Nivel de investigación:</p> <p>Explicativo y descriptivo.</p> <p>Diseño de la investigación:</p> <p>Experimental</p> <p>Unidad de análisis:</p> <p>Ecosistema de Lomas del Botadero 500U.M Cristina, Distrito de Lurín.</p>

Anexo B. Guías fotográficas para la identificación de la flora



Heliotropium angiospermum

Semillas	Crecimiento vegetativo
	
Inflorescencia	Fruto
	

Fuertesimalva peruviana

<i>Semillas</i>	<i>Hojas dicotiledonicas y Crecimiento vegetativo</i>
	
<i>Inflorescencia</i>	<i>Fruto</i>
	





Salvia paposana

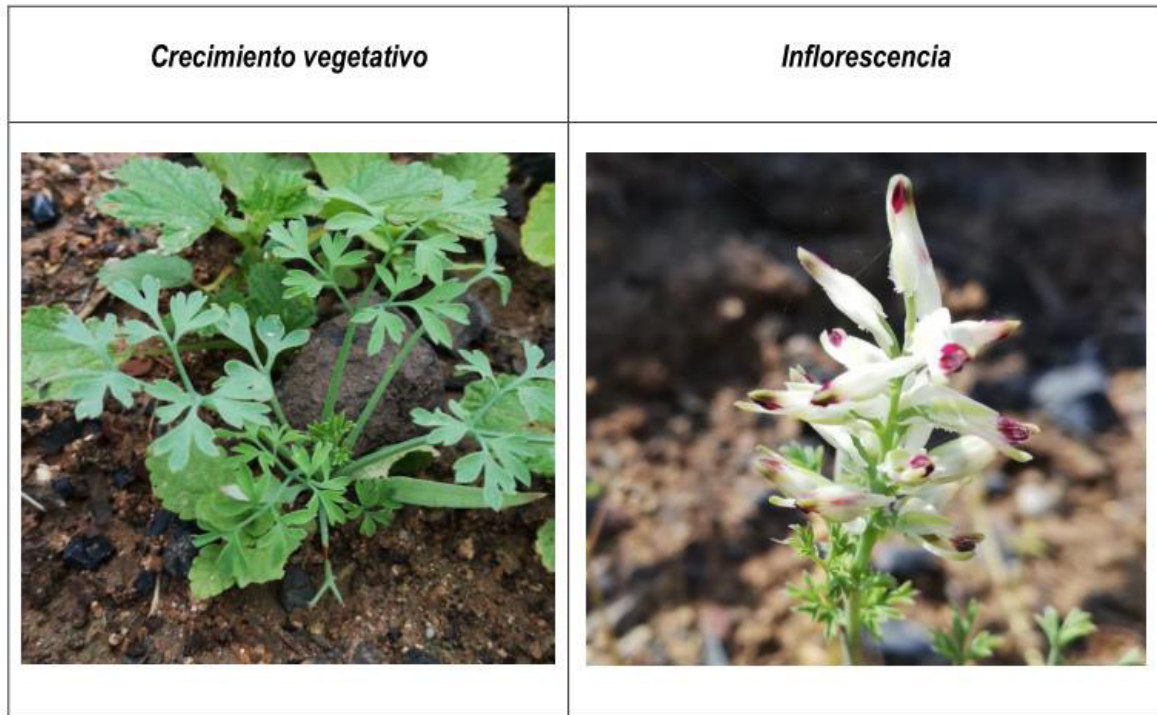
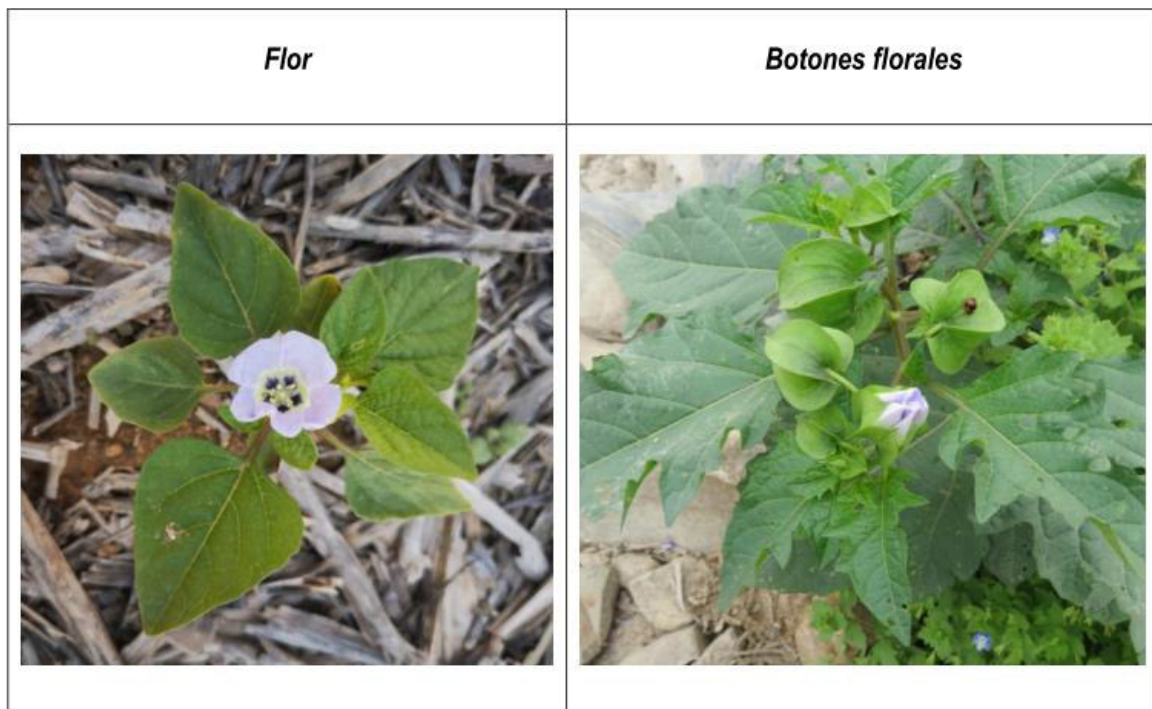
<i>Botones florales</i>	<i>Inflorescencia</i>
	

Stachys arvensis



<i>Cotiledones y 1^{er} par de hojas verdaderas</i>	<i>Botón flora y flor</i>
	

Veronica pérsica



Hojas cotiledonicas	Crecimiento vegetativo
 <p>A photograph of a young Veronica pérsica seedling with two cotyledon leaves. The plant is growing in a bed of straw mulch. A small white label in the bottom right corner of the photo reads "P03", "11/1/2019", and a temperature icon.</p>	 <p>A photograph of a more developed Veronica pérsica seedling showing vegetative growth with several true leaves. The plant is in a straw mulch bed.</p>
Botón floral	Flor
 <p>A close-up photograph of a small, green floral bud on a Veronica pérsica plant. The surrounding leaves are visible.</p>	 <p>A photograph of a Veronica pérsica plant with a single open blue flower. The plant is in a straw mulch bed. A small white label in the bottom right corner of the photo shows a temperature icon and "29/1".</p>

Fumaria capreolata*Nicandra physalodes*



Oxalis latifolia

<i>Hojas</i>	<i>Flor y botones florales</i>
	



Villanova oppositifolia

<i>Planta entera</i>	<i>Flor y frutos</i>
	



Acmella oleracea

Semillas	Planta entera
	



Philoglosa peruviana

Hojas y Botón floral	Inflorescencia
	



Astrephia chaerophylloides

Hojas y Flores	Flor
 A photograph showing the green, finely divided, fern-like leaves of <i>Astrephia chaerophylloides</i> . Small clusters of tiny white flowers are visible among the foliage.	 A close-up photograph of the white flowers of <i>Astrephia chaerophylloides</i> . The flowers are small and tubular, with five petals and a central reproductive part. They are arranged in a loose, upright cluster.



Nicotiana paniculata



Crecimiento vegetativo	Flores
 A photograph of the vegetative growth of <i>Nicotiana paniculata</i> . The plant has large, broad, ovate leaves with prominent veins and a slightly wavy margin. The growth is dense and upright.	 A photograph showing the flowering habit of <i>Nicotiana paniculata</i> . The flowers are small, yellow, and arranged in a terminal panicle. The plant appears to be in a field or garden setting.

Paspalum penicillatum



Crecimiento vegetativo	Espiga
 A photograph showing the vegetative growth of <i>Paspalum penicillatum</i> . The plant consists of several green, lanceolate leaves emerging from a central point, growing in a natural setting with dry straw and soil.	 A close-up photograph of the inflorescence (Espiga) of <i>Paspalum penicillatum</i> . The spikelets are arranged in a panicle-like structure, with a prominent reddish-brown coloration. A red horizontal bar is visible in the background for scale.

Argemone subfusiformis



Semillas	Crecimiento vegetativo
 A circular inset photograph showing numerous seeds of <i>Argemone subfusiformis</i> . The seeds are dark brown, roughly spherical, and have a distinct, bumpy, reticulate surface texture.	 A photograph of the vegetative growth of <i>Argemone subfusiformis</i> . The plant has a central rosette of green, deeply lobed leaves with serrated margins, growing in a rocky, soil-filled environment.

Planta	Flor
	



Commelina fasciculata

Crecimiento vegetativo	Flor
	



Chenopodium petiolare

Crecimiento vegetativo	Inflorescencia
	



Siegesbeckia flosculosa

Crecimiento vegetativo	Flor
	

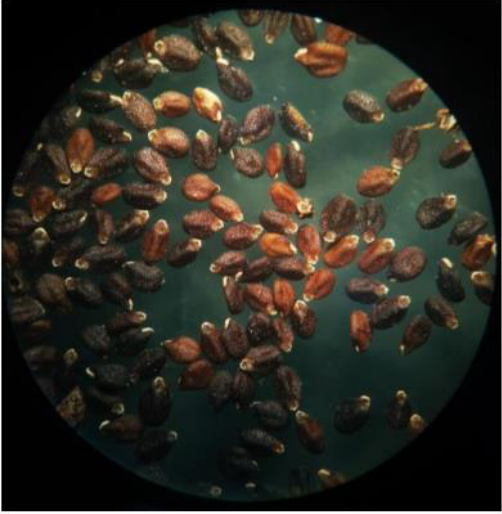

Stellaria media

Crecimiento vegetativo	Flor
	



Brassica / Raphanus

Crecimiento vegetativo	Inflorescencia y Frutos
	



Hyptis sidifolia

Semillas	Flor
 A circular inset showing numerous small, brown, oval-shaped seeds of <i>Hyptis sidifolia</i> scattered on a dark green background.	 A photograph of a <i>Hyptis sidifolia</i> plant with green, serrated leaves and small, light purple flowers growing from the leaf axils.





Alternanthera halimifolia

Crecimiento vegetativo	Flor
 A photograph showing the vegetative growth of <i>Alternanthera halimifolia</i> , characterized by its low, spreading habit and large, rounded, green leaves.	 A close-up photograph of the flowering part of <i>Alternanthera halimifolia</i> , showing clusters of small, white flowers on the stems.

Verbena litoralis

Crecimiento vegetativo	Flor
	 <p>Foto: Heike Vibrams Malezas de México - Weeds of Mexico www.malezasdemexico.net</p>

Otras especies


<p><i>Coniza sp.</i></p> 	<p><i>Stellaria sp.</i></p> 
<p><i>Dichondra sp.</i></p> 	<p><i>Nasa urens</i></p>  <p>ZITI 17°C 17/8/2018</p>

Anexo C. Ficha de capacitación a comunidades

Este	301 271
Norte	8 648 924
Altitud	244
Lugar de Referencia	Comunidad de Cardal
	
Descripción	Entrevista a las personas de la comunidad de Cardal para participar del proyecto de “Restauración del depósito de desmonte 500”.

Este	300 517
Norte	8 649 538
Altitud	244
Lugar de Referencia	Comunidad de Cerro El Manzano
	
Descripción	Entrevista a las personas de la comunidad de cerro el Manzano para participar del proyecto de “Restauración del depósito de desmonte 500”.

Este	301 226
Norte	8 648 525
Altitud	244
Lugar de	Comunidad de Cucuya
	
Descripción	Entrevista a las personas de la comunidad de cucuya para participar del proyecto de “Restauración del depósito de desmonte 500”.

Este	302 623
Norte	8 648 638
Altitud	555
Lugar de Referencia	Depósito de desmonte 500
	
Descripción	Capacitación del personal en metodologías de monitoreo de flora y fauna mediante el uso de guías y fichas de evaluación.

Lista de personal que participó en el desarrollo del trabajo de campo.

Nº	Nombre y Apellido	Cargo
1	Moisés Camacho Blas	Mano de obra no calificada
2	Jhonny Escalante Moreno	Mano de obra no calificada
3	José Mendoza Villa	Mano de obra no calificada
4	Gloivit Chuco Barbaran	Mano de obra no calificada
5	Lidia Obregón Vega	Mano de obra no calificada
6	Danny Mitma Escalante	Mano de obra no calificada
7	Rodolfo Espinoza Cienfuegos	Mano de obra no calificada
8	Luz Barbaran Rivas	Mano de obra no calificada
9	Wini Chuco Barbaran	Mano de obra no calificada
10	Isau Rosas Rojas	Mano de obra no calificada
11	María Martínez Hilario	Mano de obra no calificada
12	María Javier Gonzales	Mano de obra no calificada
13	Dayvis Ramos Macha	Mano de obra no calificada
14	Domingo Chuco Capcha	Mano de obra no calificada
15	Geli Ruiz Franchini	Mano de obra no calificada
16	Milagritos Osorio de la Colina	Mano de obra no calificada
17	Veronica Obregón Vega	Mano de obra no calificada
18	Paul Robles Iparraguirre	Mano de obra no calificada
19	Orlando Leiva Zanabria	Mano de obra no calificada
20	Nora Leiva Zanabria	Mano de obra no calificada
21	Giovanni Jorge Barbarán	Mano de obra no calificada
22	Mario Gargurivich Ñaupas	Mano de obra no calificada
23	Cinthia Osorio De la Colina	Mano de obra no calificada
24	Edmundo Cuya Gamarra	Mano de obra no calificada
25	Rodolfo Cuya Gamarra	Mano de obra no calificada
26	Miguel Angel Huacchuaco	Mano de obra no calificada
27	Yorly Jaime	Mano de obra no calificada
28	Elber Alanya	Mano de obra no calificada
29	Ricardo Blas	Mano de obra no calificada
30	Victor Blas	Mano de obra no calificada

Anexo D. Relación de Mapas

Mapa 1 Ubicación del área de estudio.

Mapa 2 Red vial.

Mapa 3 Formaciones geológicas.

Mapa 4 Formaciones geomorfológicas.

Mapa 5 Fisiografía del área de estudio.

Mapa 6 Formaciones ecológicas.

Mapa 7 Cobertura vegetal.

Mapa 8 Formaciones hidrogeológicas.

Mapa 9 Usos de suelo.

Mapa 10 Capacidad de uso mayor de tierras.

Mapa 11 Caracterización de suelos por pendiente.

Mapa 12 Áreas de extracción de semillas.

Mapa 13 Áreas de extracción de broza.

Mapa 14 Áreas de restauración.

Mapa 15 Puntos de monitoreo de Flora.

Mapa 16 Puntos de monitoreo de Artrópodos.

Mapa 17 Puntos de monitoreo de Aves.