UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

REDES ECOLÓGICAS DE POLINIZACIÓN EN ECOSISTEMA DE LOMAS COMO BIOINDICADOR DE ESTADO DE CONSERVACIÓN, ATIQUIPA, CARAVELÍ, AREQUIPA, 2024

Tesis

Para optar el Grado Académico de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

MIRIAM GIOVANNA ZEA FERNANDEZ

Asesor

Dr. EDILBERTO CHUQUILÍN BUSTAMANTE

Tingo María – Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN

""Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana""

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 011-2025-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 08:00 p.m. del lunes 29 de setiembre del 2025, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"REDES ECOLÓGICAS DE POLINIZACIÓN EN ECOSISTEMA DE LOMAS COMO BIOINDICADOR DE ESTADO DE CONSERVACIÓN, ATIQUIPA, CARAVELÍ, AREQUIPA 2024"

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **ZEA FERNANDEZ, MIRIAM GIOVANNA**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **EXCELENTE** Acto seguido, a horas **09:31 p.m.** el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO
Presidente del Jurado

.....
Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
Miembro del Jurado

Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad de Recursos Naturales Renovables
DIRECCION DE UNIDAD DE POSGRADO

.....
Ing. M.Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
Miembro del Jurado

.....
Dr. EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMANTE
Asesor

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 378 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Maestría en Ciencias en Agroecología Mención: Gestión Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
REDES ECOLÓGICAS DE POLINIZACIÓN EN ECOSISTEMA DE LOMAS COMO BIOINDICADOR DE ESTADO DE CONSERVACIÓN, ATIQUIPA, CARAVELÍ, AREQUIPA, 2024	MIRIAM GIOVANNA ZEA FERNANDEZ	09 % Nueve	Menor a 20 %

Tingo María, 17 de noviembre de 2025.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

REDES ECOLÓGICAS DE POLINIZACIÓN EN ECOSISTEMA DE LOMAS COMO BIOINDICADOR DE ESTADO DE CONSERVACIÓN, ATIQUIPA, CARAVELÍ, AREQUIPA, 2024

Autor	**: Blgo. MIRIAM GIOVANNA ZEA FERNANDEZ**
Asesor (es)	**: Dr. EDILBERTO CHUQUILÍN BUSTAMANTE**
	Dr. AKIRA WONG SATO
Programa de Investigación	**: Diversidad Biológica**
Línea de Investigación	**: Caracterización y descripción de poblaciones y comunidades bióticas y su relación con el clima**
Lugar de ejecución	**: Lomas de Atiquipa – Caravelí - Arequipa**
Duración	**: 10 meses**
Financiamiento	**: s/. 14,000.00**

TINGO MARIA - PERU

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

"Promoviendo la Calidad de la Investigación"

REGISTRO DE PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO, INVESTIGACION DOCENTE

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Escuela de posgrado	: EPG-UNAS
Posgrado	: Maestría en: Ciencias en Agroecología
Mención	: Gestión Ambiental
Objetivo General	: Caracterizar las redes ecológicas de polinización en ecosistema de lomas como bioindicador de estado de conservación, Atiquipa, Caravelí, Arequipa, 2024
Autor de la Tesis	: Blga. Miriam Giovanna Zea Fernández
DNI	: 40983162
Correo Electrónico	: miriam.zea@unas.edu.pe
Asesores de Tesis	: Dr. Edilberto Chuquilín Bustamante
Área de Investigación	: Diversidad Biológica
Grupo de Investigación	: Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, recursos naturales, bienes yservicios ecosistémicos
Línea de Investigación	: Caracterización y descripción de poblaciones y comunidades bióticas y su relación con el clima
Lugar de Ejecución	: Lomas de Atiquipa – Caravelí - Arequipa
Fecha de inicio	: 01/08/2023
Fecha de termino	: 30/06/2024
Presupuesto	: S/. 14,000.00
Financiamiento	: Propio ( ) FEDU ( ) Externo (X)

Blga. Miriam Giovanna Zea Fernández
Tesista

Dr. Edilberto Chuquilín Bustamante
Asesor

DEDICATORIA

A mis amados padres, quienes son mi fuente de inspiración y ejemplo de gratitud: SIXTO ZEA VÁSQUEZ y EVA FRANCISCA FERNANDEZ PUCLLA (mi madre, quien me cuida desde el Pico del Águila) y a mis hermanos Marlene y Johnny, se los dedico con todo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, mi tesis fue posible gracias al proyecto “Dinámica y biogeografía de redes ecológicas de polinización y parasitismo de ecosistemas costeros y montanos del centro y sur del Perú” [Proyecto REDES], ejecutado por la División de Ecología Vegetal del Centro de Ornitología y Biodiversidad [CORBIDI] y subvencionado por PROCIENCIA con contrato N° PE501078688-2022. Por lo tanto, estoy muy agradecida con todas las personas que conformaron este equipo.

En esta misma línea, quiero enfatizar mi agradecimiento a los investigadores del proyecto REDES: Al Dr. Akira Wong Sato, investigador principal del Proyecto y asesor, agradezco sus enseñanzas, desde la planificación del proyecto de investigación hasta la redacción del informe final. Al Blgo. Italo Revilla Pantigoso, por su valiosa colaboración durante la evaluación en campo, tomas fotográficas, la colecta e identificación de especímenes botánicos, por sus enseñanzas en el análisis de datos y en la redacción del informe final de los resultados. A la Dra. Julissa Churata Salcedo y al M.Sc. Robin Fernandez Hilario quienes, colaboraron durante la evaluación en campo, la colecta y el procesamiento de especímenes entomológicos y botánicos, así como su identificación taxonómica en gabinete. Agradezco también a Dayssi Rodríguez, Katherin Bernabé, Yacquelin Huamani, Patricia Manrique y Rocio Tapia, por el apoyo con toma de datos en campo, toma fotográficas y el procesamiento de muestras en gabinete.

Agradezco al Instituto Científico Michael Owen Dillon [IMOD] y al Museo Sur Peruano [MSP], por las facilidades brindadas para el montaje y almacenamiento de todas las muestras entomológicas y especímenes botánicos colectados en el Proyecto REDES.

Finalmente, al Dr. Edilberto Chuquilín Bustamante, mi asesor académico, agradezco su asesoramiento íntegro y profesional, por sus enseñanzas de inicio a fin, su colaboración en el análisis de datos y revisiones final de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN 1
II. REVISIÓN DE LITERATURA 4
2.1. MARCO TEÓRICO 4
2.1.1. Antecedentes de la investigación 4
2.1.1.1. Interacciones ecológicas de polinización 4
2.1.1.2. Ecosistema de lomas de Atiquipa 5
2.1.1.3. Redes ecológicas de polinización como bioindicador de estado de conservación de ecosistemas 7
2.1.2 BASES TEÓRICAS 9
2.1.2.1. Interacciones ecológicas 9
2.1.2.2. Interacciones mutualistas 9
2.1.2.3. Redes ecológicas de polinización 9
2.1.2.4. Criterios de evaluación del estado de conservación de ecosistemas 12
2.1.2.4.1 Especies bioindicadoras o claves 13
2.1.2.4.2 Especies exóticas potencialmente invasoras 13
2.1.2.4.3 Especies endémicas 13
2.1.2.4.4 Especies amenazadas 13
III. MATERIALES Y MÉTODOS 14
3.1. Ámbito 14
3.1.1. Ubicación del estudio 14
3.1.2. Características climáticas 15
3.1.3. Hidrología, relieve y suelos 15
3.1.4. Zona de vida 16
3.1.5. Flora 16
3.1.6. Entomofauna polinizadora 17
3.1.7. Población y economía 17
3.1.8. Población en estudio 18
3.1.9. Muestra 18
3.1.10. Nivel y tipo de estudio 18
3.2 Método 18

3.2.1 Tipo de muestreo 18
3.2.2. Validación y confiabilidad del estudio 18
3.3. Materiales y equipos 19
3.3.1. Equipos 19
3.3.2 Materiales 19
3.4. Métodos 19
3.4.1. Etapa de pre campo 19
3.4.2. Etapa de campo 19
3.4.3. Fase de gabinete 21
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 26
4.1 Diversidad florística y de visitantes florales en el ACP Lomas de Atiquipa 26
4.1.1. Riqueza y abundancia de especies 26
4.2 Estructura de la red ecológica de polinización en el ACP lomas de Atiquipa 30
4.2.1 Métricas e índices a nivel de red ecológica de polinización 33
4.2.1.1 Métricas a nivel de red 33
4.2.1.2 Métricas a nivel de especies 36
4.3 Estado de conservación del ACP Lomas de Atiquipa 39
4.3.1 Especies indicadoras o claves de la red ecológica de polinización 39
4.3.2 Especies potencialmente invasoras en la red ecológica de polinización 41
4.3.3 Especies endémicas y amenazadas en la red ecológica de polinización 43
4.3.4 Valorización del estado de conservación del ACP Lomas de Atiquipa 44
4.4 Estrategias de gestión para la conservación de especies indicadoras en el ACP Lomas de Atiquipa 47
IV. CONCLUSIONES 52
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54
VII. ANEXOS 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla **Página**

1. Descriptores a nivel de Red……10
2. Descriptores a nivel de Especies……11
3. Coordenadas de ubicación de los transectos y subtransectos de evaluación……..21
4. Escala de significancia de diversidad…….23
5. Interpretación de los rangos de diversidad…….23
6. Grupos funcionales de insectos asociados a la polinización……..24
7. Relevancia biológica de flora y fauna silvestre……..25
8. Índices de diversidad de plantas en antesis y visitantes florales en el ACP Lomas de Atiquipa……..30
9. Métricas e índices de la estructura red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa……..36
10. Métricas e índices para los grupos funcionales de visitantes florales de la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa……...39
11. Índices de la red ecológica con y sin la presencia de *Apis mellifera*……..43
12. Especies de plantas endémicas y categorizadas amenazadas que conforman la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa……..44
13. Criterios para identificar ecosistemas frágiles del SERFOR……..45
14. Escala de valoración, relevancia biológica de flora y fauna silvestre del SERFOR……..45
15. Criterios de ponderación para determinar estado de conservación del ACP Lomas de Atiquipa, propuesta de estudio……...46
16. Principales pautas para para encaminar acciones de conservación en el ACP Lomas de Atiquipa, propuesta de estudio……...49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras **Página**

1. Mapa de ubicación del estudio……...14
2. Diagrama del transecto modificado de Watts et al. (2016)……20
3. Subtransectos de muestreo modificado de Watts et al. (2016)……...20
4. Sección de muestreo modificado de Watts et al. (2016)……....20
5. Número de especies por órdenes y familia de plantas en antesis registradas en el ACP Lomas de Atiquipa……..26
6. Abundancia por especies de plantas en antesis registradas en el ACP Lomas de Atiquipa……..27
7. Porcentaje de especies de visitantes florales registrados por orden taxonómico en el ACP Lomas de Atiquipa…….28
8. Número de especies de visitantes florales registrados en el ACP Lomas de Atiquipa, por familia taxonómica…….28
9. Número de individuos de visitantes florales registrados en el ACP Lomas de Atiquipa, por orden taxonómico……...28
10. Número de individuos de visitantes florales registrados en el ACP Lomas de Atiquipa, por especie taxonómica…….29
11. Red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa……...32
12. Modularidad de la red de interacción planta-visitante floral del ACP Lomas de Atiquipa……..34
13. Diagrama de dispersión de los roles de los grupos funcionales de visitantes florales que conforman la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa……..38

RESUMEN

Las Lomas son considerados como ecosistemas únicos con complejas relaciones biológicas, y sustentan su relevancia ecológica por brindar múltiples servicios ecosistémicos a la población; entre ellos, la polinización. Estos espacios son atractivos para la actividad antrópicas, ocasionando la perturbación a las poblaciones de polinizadores. En este estudio se describe la estructura de la red ecológica de polinización en el área de conservación privada Lomas de Atiquipa. Se establecieron dos transectos compuestos por seis subtransectos de 50 metros de longitud y tres metros de ancho, se registraron todas las especies de plantas en antesis y sus visitantes florales. A partir de estos datos se caracterizó parámetros de estructura y funcionalidad de la red; tanto a nivel de red como a nivel de especie, se evaluó los roles de las especies dentro de la red. Los resultados mostraron que la red presenta estructura compleja, moderadamente anidada y especialista, pero con gran cantidad de especies generalistas, lo que la hace robusta y poco vulnerable a la pérdida de especies e interacciones. Además, muestra 15 especies de plantas indicadoras para la red, de las cuales, ocho son endémicas y cuatro se encuentran en alguna categorización de amenaza. El estado de conservación del ecosistema de lomas de Atiquipa es alto. Este conocimiento permite mejorar la comprensión de los procesos ecológicos básicos del ecosistema y orientar dentro del Plan de Gestión del Area de Conservación Privada, el manejo y aprovechamiento de *Tara spinosa;* asi como, la conservación y protección de especies indicadoras para la red y el control y vigilancia de *Apis mellifera.*

Palabras clave: polinización, interacción mutualista, redes ecológicas, ecosistema de lomas, estado de conservación, estrategias de gestión.

Ecological Pollination Networks within Hilly Ecosystems as a Bio Indicator of the State of Conservation in Atiquipa, Caraveli, Arequipa During 2024

Abstract

Hills are considered to be unique ecosystems with complex biological relationship and they sustain their ecological relevance due to offering multiple ecosystemic services to the population; among which is pollination. These spaces are attractive for anthropic activity, causing the perturbation of the pollinator populations. In this study, the structure the ecological pollination networks was described for the Lomas de Atiquipa private conservation area. Two transects were established, comprised of six fifty meter long and three meter wide sub-transects. All of the plant species in anthesis and their floral visitors were recorded. From this data, parameters for structure and the functionality of the network were characterized; as much at the network level, as at the specie level, with the roles of the species within the network being evaluated. The results revealed that the network presented a complex structure, moderately nested and specialized, but with a large number of generalized species, which caused it to be robust, and with little vulnerability to the loss of species and interactions. Moreover, fifteen indicative plants were seen within the network, of which, eight were endemic and four were found to be categorized in a state of "endangered." The state of conservation of the Loams de Atiquipa ecosystem was high. This knowledge allowed for an improved comprehension of the basic ecological processes within the system and an orientation within the management plan for the private conservation area, the management and taking advantage of the *Tara spinosa;* as well as, the conservation and protection of the indicative species within the network andd the control and vigilance of the *Apis mellifera.*

Keywords: pollination, mutual interaction, ecological networks, hilly ecosystems, state of conservation, management strategies

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de lomas son considerados como oasis de neblina de alta diversidad florística en medio de un entorno árido, se distribuyen entre Perú y Chile ocupando 8 678 km^2; siendo el Perú, privilegiado con la mayor superficie (80 %) en comparación con Chile que abarca el 20 % (Moat et al., 2021). Poseen un amplio banco de semillas que brotan estacionalmente; por ende, son ecosistemas únicos con complejas relaciones biológicas. En la actualidad las lomas, sustentan su relevancia ecológica por brindar múltiples servicios ecosistémicos a la población; entre ellos, la polinización albergando insectos, aves y mamíferos voladores capaces de polinizar diferentes cultivos de importancia económica, manteniendo los sistemas agroecológicos.

Investigadores señalan que la diversidad de entomofauna están amenazadas por la disminución de las poblaciones de polinizadores, no sólo por la fragmentación de hábitats; sino que también, por el uso de productos químicos agrícolas e industriales, la introducción de especies exóticas, cambio climático, entre otros (Lizárraga, 2022). Alrededor del 40 % de estos ecosistemas se encuentran bajo presión antrópica, su vulnerabilidad y/o estabilidad están relacionados con los cambios en la abundancia y composición de las especies de flora y fauna (Nieuwland y Mamani, 2017); alterando su dinamismo, sus funciones ecológicas y los servicios ecosistémicos que nos proveen. Cabe mencionar que el potencial de desarrollo en base a servicios ecosistémicos en lomas, aún no ha merecido la atención en nuestras políticas y estrategias de manejo, conservación y monitoreo.

Por otra parte, sabemos que la mayoría de la diversidad florística dependen de los animales para su polinización; para cumplir dicho objetivo, participan en complejas redes de interacción planta-polinizador como procesos ecológicos claves, que determinan patrones de diversidad, productividad y el estado de conservación del ecosistema. Además, el estudio de las redes de interacción planta-animal han cobrado mayor importancia por ser utilizadas como herramienta complementaria para el estudio de la diversidad, la funcionalidad de los ecosistemas y para la toma de decisiones en el momento de efectuar acciones de conservación dentro de un sistema ecológico; principalmente, en sitios ricos en endemismos o en grupos de plantas e insectos

cuyas poblaciones se encuentran en peligro de extinción, en categoría de amenaza, o con presencia de especies exóticas (Martínez -Falcón et al., 2019).

Por lo tanto, es fundamental conocer la dinámica estructural y funcional de los ecosistemas a través del estudio de las redes ecológicas de polinización; es decir, que debemos describir si las interacciones plantas-polinizadores son especialistas o generalistas e identificar especies claves en el mantenimiento de la estructura particular de las especies dentro de la red (Manrique, 2022). Sin embargo, hasta la fecha son escasos los estudios vinculados a la caracterización de las redes ecológicas y seguimos teniendo vacíos de información acerca del estado actual de los ecosistemas y su vulnerabilidad (Bernabé et al., 2024).

Watts et al. (2016), Bernabé (2024) y Rodríguez (2024) realizaron el estudio de redes de polinización en valles interandino del Vilcanota (Cusco), Oyón (Lima) y El Toro (Arequipa); respectivamente, demostraron que en el valle del Vilcanota, las redes de polinización andinas son altamente estructuradas, moderadamente especializadas y significativamente modulares, y en el Valle del Toro, las redes son moderadamente anidada y robusta con especies generalistas y poco susceptible a la pérdida de especies e interacciones,. Además, utilizaron las redes ecológicas de polinización para determinar áreas potenciales de conservación e identificaron visitantes florales y polinizadores con distribución espacial reducida que vienen siendo afectados por el cambio climático e impacto antrópico.

Los reportes en áreas naturales protegidas son insuficientes (Calizaya et al., 2020). Sin embargo, Rodríguez (2024) caracterizó las redes de interacción planta-visitador floral dentro de la Reserva Paisajística Subcuenca del Cotahuasi. Cabe indicar que, en el país no existen registros de las interacciones planta – polinizador para el ecosistema de lomas. Por lo tanto, se formuló como interrogante ¿Cuáles son las redes ecológicas de polinización en ecosistema de lomas como bioindicador de estado de conservación, Atiquipa, Caravelí, Arequipa, 2024?. En tal sentido, ante los vacíos de información se ha considerado conocer y evaluar el índice de diversidad florística en antesis y de visitantes florales, caracterizar la red ecológica de polinización y el estado de conservación en el Área de Conservación Privada Lomas de Atiquipa. Se espera que este análisis identifique especies y procesos clave para la funcionalidad de dicho

ecosistema y sus resultados puedan ser empleados como bioindicadores para monitorear el estado de conservación y establecer principales acciones estratégicas locales para la conservación del ecosistema de lomas de Atiquipa, por medio de los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Caracterizar las redes ecológicas de polinización en ecosistema de lomas como bioindicador de estado de conservación, Atiquipa, Caravelí, Arequipa, 2024.

Objetivos específicos

- Identificar la diversidad florística en antesis y de visitantes florales en el Área de Conservación Privada Lomas de Atiquipa.
- Caracterizar la red ecológica de polinización en el Área de Conservación Privada Lomas de Atiquipa.
- Evaluar el estado de conservación del ecosistema de lomas a través del uso de las redes ecológicas de polinización.
- Establecer estrategias de gestión para la conservación de especies indicadoras en el Área de Conservación Privada Lomas de Atiquipa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1.1. Interacciones ecológicas de polinización

Las investigaciones ecológicas son relativamente nuevas dentro del estudio de interacciones planta – polinizador; por mucho tiempo, los trabajos en interacciones ecológicas estaban enfocados en modelos depredador – presa, posiblemente por ser la base del modelado de redes tróficas (Ings y Hawes, 2018). Sin embargo, recientes investigaciones se han centrado en combinar las interacciones mutualistas y/o antagonistas (Bascompte, 2009).

Kato et al. (2008) caracterizaron las interacciones planta - polinizador en los bosques tropicales del Sudeste Asiático, demostraron una red integrada por 171 especies de plantas con floración anual y 145 visitantes florales, siendo los grupos más representativos los Hymenoptera (55%), Coleoptera (16%), Lepidoptera (14%), Diptera (11%) y Thysanoptera (4%); concluyeron que, los escarabajos gigantes, abejas melíferas y crisomélidos a pesar de ser polinizadores dominantes en las selvas tropicales, no fueron dominantes en los bosques tropicales monzónicos.

Vizentin-Bugoni et al. (2018) recopilaron información sobre publicaciones de redes ecológicas realizadas en el mundo hasta el año 2016, destacando que la mayoría fueron desarrollados en zonas no tropicales (178 en Europa y 34 en Norteamérica); mientras que, para la región tropical fueron realizados en el Neotrópico (137 en Centroamérica y costa atlántica de Sudamérica); demostraron que fueron escasas las publicaciones en el Océano Índico y en Asía (11 y 35, respectivamente), y existe vacío de información en zonas amazónicas y en África tropical. Por otro lado, Colom et al. (2021) analizaron las interacciones entre plantas y polinizadores en tres ecosistemas (agroforestal, matorral costero y sistema dunar) en la isla de Menorca (España), registraron 121 especies de plantas y 200 especies de polinizadores entre himenópteros (40%), dípteros (29,5%), coleópteros (20%), lepidópteros (10%), y tisanópteros (<1%); describieron que, los sistemas agroforestales ofrecen a los polinizadores gran cantidad de recursos alimenticios florales sobre todo al inicio del periodo de floración. Sin embargo, en el matorral costero y dunar, identificaron especies de polinizadores con pocos o ningún registro

previo y de importancia para la conservación de la biodiversidad de polinizadores en las islas Baleares.

Por otro lado, los estudios en Latinoamérica y el Caribe están orientados solamente al conocimiento de la diversidad de polinizadores en cultivos; principalmente la melitofauna. Sin embargo; estas investigaciones son insuficientes, si consideramos que nuestra región es zona productora de cultivos importantes para la seguridad alimentaria de la población (Lizárraga, 2022); adicionalmente, han sido pocas las iniciativas en pro de la conservación de los polinizadores y sus ecosistemas. Brasil, México, Chile y Colombia, lideran estudios en este enfoque.

Watts et al. (2016) pioneros en el estudio integral de redes ecológicas en nuestro país, mostraron que las redes de polinización en valles altoandinos son altamente estructuradas, moderadamente especializadas y significativamente modulares, dominadas por plantas generalistas, como Baccharis sp. e insectos polinizadores como *Apis mellifera*, *Bombus funebris* y varias moscas.

Bernabé et al. (2024) recopilaron fuentes bibliográficas sobre interacciones ecológicas en Perú, logrando identificar 162 publicaciones desde 1965 hasta 2023. Reportaron 207 lugares de muestreo para interacciones a nivel nacional (rango altitudinal 2 300 - 3 500 m.s.n.m.). Los departamentos con mayor cantidad de registros fueron Lambayeque, Cusco, Huánuco, Lima, Madre de Dios y Cajamarca; en contraste, no se encontraron registros para los departamentos de Ayacucho, Moquegua, Tacna. Concluyeron que, existe información de 2 537 interacciones, correspondientes a 970 especies y morfoespecies de plantas distribuidas principalmente en los órdenes Asterales, Lamiales y Fabales; y 671 especies y morfoespecies de animales de la clase Arachnida, Insecta, Mammalia y Aves.

2.1.1.2. Ecosistema de lomas de Atiquipa

En la Ley General del Ambiente se considera a las lomas como ecosistemas endémicos, algunas de ellas integran la lista nacional de áreas naturales protegidas y la lista sectorial de ecosistemas frágiles (PNUD, 2018). Su característica más notoria se da entre los meses de junio a setiembre (marcada estacionalidad), cuando sus laderas comienzan a teñirse de verde con una sucesión de herbáceas y arbustos que cubren extensas zonas desérticas expuestas

a neblinas invernales, elevada humedad y la captación de gotas de agua por la vegetación arbustiva y arbórea; abarcando una superficie aproximada de 0.23 % del territorio nacional, distribuida en los departamentos de La Libertad, Ancash, Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna (MINAM, 2015).

El dinamismo de este ecosistema se debe a la sinergia de tres anomalías, la Corriente de Humboldt, el Anticiclón del Pacífico y la Cordillera de los Andes, dicha combinación favorece un clima estable con presencia de neblinas, que es interceptado por estribaciones andinas generando zonas de alta humedad, propiciando la diversidad de formaciones vegetales xerófilas que incluyen herbáceas, con árboles dispersos y ricas en endemismos vegetales; por lo tanto, la concentración de especies endémicas en lomas, es de especial importancia para la conservación (Alonso y Jesus, 2021).

Para lomas de la costa de Lima, se han reportado 542 especies de plantas vasculares, representado el 64 % de la diversidad florística descrita para todas las Lomas del Perú (Arana, 2019). Para las lomas de Yuta en Arequipa, se han inventariado 183 especies agrupados en 55 familias, siendo Asteraceae, Poaceae, Solanaceae, Cactaceae, Malvaceae y Fabaceae, las familias más representativas (Quipuscoa et al., 2016).

Lomas de Atiquipa se ubica en la Ecorregión del Desierto de Sechura y conforman extensas formaciones de lomas del departamento de Arequipa, dentro del territorio de las Comunidades Campesinas de Atiquipa y Yauca, provincia de Caravelí; cubriendo hasta 30, 000 hectáreas (Gobierno Regional de Arequipa [GOREA], 2023). El tamaño de las lomas y su ubicación como isla biogeográfica separada por 100 kilómetros de desierto absoluto, son de importancia global para la conservación, ya que alberga diversidad de especies y alto grado de endemismo. En extensión territorial, son las más grandes de todas las lomas costeras, su fauna y flora es muy rica y variada. Se ha registrado alrededor de 350 especies de plantas, de los cuales 46 son endémicas de la costa peruana y 6 son endémicas para Atiquipa; entre las principales plantas endémicas: *Myrcianthes ferreyrae, Gaya atiquipana, Jaltomata Atiquipa, Lomanthus okopanus* (Talavera et al., 2017). En cuanto a la fauna silvestre de lomas de Atiquipa, se ha reportado 27 especies de mamíferos, 87 de aves, 10 de reptiles, un anfibio y un pez; siendo endémicas: *Calomys chinchilico* (ratón) y *Hadruroides atiquipa* (alacrán) (Villegas et al., 2017).

Estos estudios han dado lugar a nuevos aportes para la ciencia; sin embargo, este ecosistema viene sufriendo diversas amenazas con el crecimiento de la población y va incrementándose, a esto debemos sumar los efectos del cambio climático, que ameritan nuevas estrategias de mitigación y adaptación. Lomas de Atiquipa, es reconocido por el Servicio Nacional de Áreas Naturales protegidas por el Estado como Área de Conservación Privada [ACP], mediante Resolución Ministerial N° 165-2011- MINAM, el cual fue renovado mediante Resolución Ministerial 018-2022-MINAM, hasta 26 de julio del 2031 con una superficie de 19 028,02 ha. El ACP Lomas de Atiquipa cuenta con la siguiente zonificación: ZUL [zona de uso limitado] con 142 ha., abarca la cima del Cerro Lloque, que está compuesta por bosques densos y semidensos de tara, arrayán, y pastos naturales que albergan una alta biodiversidad. Se permite la recolección de vainas de tara realizada manualmente por los comuneros de Atiquipa, previa autorización, la reforestación con especies nativas, el turismo especializado (observación de aves); se restringe la instalación de ningún tipo de infraestructura nueva, el cambio de uso del suelo, tala, quema y el pastoreo. Por otro lado, ZUM [zona de uso Múltiple] con 18 886 ha, abarca las áreas de reforestación, de manejo, restos arqueológicos y los actuales asentamientos humanos y agrícolas. La zona es de uso exclusivo de la comunidad, destinado al turismo de naturaleza, la investigación y recuperación de ecosistemas degradados, se permite la ganadería controlada; sin embargo, no se permite la extracción del patrimonio cultural y/o arqueológico, u otras actividades que lo afecten (SERNANP, 2022).

2.1.1.3. Redes ecológicas de polinización como bioindicador de estado de conservación de ecosistemas

El estado de conservación de un ecosistema se puede medir mediante el número de especies y la diversidad de sus interacciones, ya que una sola especie podría tener múltiples interacciones con las demás especies en el mismo lugar, y el análisis de redes permite estudiar parámetros de interacciones como herramienta para la evaluación de la diversidad y sus procesos ecológicos (Martínez -Falcón et al., 2019). Esta característica destaca su uso como bioindicador de calidad ambiental; es decir, las interacciones ecológicas indican la forma en que responden las especies generalistas y especialistas a las perturbaciones y cambios sustanciales en la composición, la diversidad y riqueza de las especies en una comunidad (Soares et al., 2017).

Campos et al. (2017) analizaron la estructura de la red en dos sitios (en buen estado

de conservación y con perturbación antrópica), las redes fueron significativamente anidadas para ambos ecosistemas; sin embargo, en el área de perturbación registraron especies catalogadas como invasoras, que generalmente poseen la capacidad de atraer más polinizadores y provocar cambios en las conexiones de la red (provocan que las especies nativas tengan menores tasas de visitas), afectando en su reproducción.

Manrique (2022) publicó el estudio de redes de polinización para el páramo colombiano, registró 31 especies de plantas en antesis con interacción de 79 morfoespecies de polinizadores. Concluyó que el Páramo de Matarredonda está caracterizado por un sistema de polinización especialista, donde la mayoría de las especies interactúan con pocas especies; las especies claves para la estabilidad de la red fueron: *Bombus rubicundus* como especie centro, *Bombus cf. Hortulanus* como especie conectora y *Bombus funebris* con grado moderado de especialización; es decir que, si se extinguen podrían iniciar cascadas de extinción en la red y por lo tanto el estado de conservación del ecosistema es vulnerable.

Bernabé (2024) identificó áreas potenciales de conservación en el valle interandino de Oyón mediante la caracterización de redes ecológicas que estuvo integrada por 30 especies de plantas con 96 morfoespecies de insectos, cuyas interacciones de la red tuvieron una conectancia baja con predominio generalista y especies sin restricción de especialización marcada; las principales especies que mantienen la estructura de la red en dicho ecosistema fueron: *Baccharis buxifolia, Achyrocline alata, Alonsoa meridionalis*.

Rodríguez (2024) caracterizó la interacción planta - visitador floral del matorral andino del valle de Toro, con 325 vínculos de interacción entre 43 especies de plantas y 106 especies de visitadores florales, conformado por red moderadamente anidada y especialista con una gran cantidad de especies generalistas; lo que la hace una red robusta con especies claves como *Minthostachys mollis* que desempeña el rol de centro de red y especies de abejas de lengua corta, que desempeñan el rol de especies conectoras de módulos de interacción, por su alta frecuencia y fuerza de interacción.

2.1.2 BASES TEÓRICAS

2.1.2.1. Interacciones ecológicas

Se define a las relaciones intraespecíficas (entre individuos de la misma especie) o interespecíficas (entre individuos de diferentes especies) que se establecen entre los organismos en el ecosistema, las cuales son esenciales para el funcionamiento y mantenimiento, promoviendo la biodiversidad y la resiliencia del ecosistema. Principales formas de interacciones ecológicas son mutualismo, competencia, depredación, comensalismo y parasitismo (Ulrich, 2009).

Cada una de estas interacciones juega un papel importante en la regulación de las poblaciones, el flujo de energía y la distribución de los recursos dentro del ecosistema; por lo tanto, estas interacciones permiten que múltiples especies coexistan en un mismo hábitat (Rodríguez, 2024).

2.1.2.2. Interacciones mutualistas

Se definen como relaciones coevolutivas entre las plantas y sus visitantes florales, que busca atraer a uno o varios polinizadores con el fin de reproducirse y el polinizador busca alimento (néctar o polen) ofrecido por la flor como recompensa (Campos et al., 2017). Existen diversos tipos de relación planta-visitante floral, pero la entomofilia (planta-insecto) sería la más eficiente gracias a las numerosas y rápidas visitas a un numeroso espectro de flores (Watts et al., 2016).

Dada la amplitud y complejidad taxonómica en el grupo de polinizadores, varios investigadores se han dado a la tarea de categorizarlos en grupos según su morfología y síndromes de polinización en las especies de plantas que visitan, denominados grupos funcionales. La importancia de la evaluación de las interacciones planta-polinizador bajo este criterio, reside en la afinación de las descripciones de la estructura de la red; además, recientes investigaciones determinan que varias especies de plantas pueden exhibir especialización por determinados grupos funcionales de polinizadores y visitadores florales (Rodríguez, 2024).

2.1.2.3. Redes ecológicas de polinización

Las redes ecológicas se definen como sistemas que permiten investigar la estructura y dinámica del conjunto de interacciones planta – polinizador en una comunidad

(Vizentin-Bugoni et al., 2018). La red ecológica es la representación de las interacciones (vínculos) entre especies (nodos o vértices) que conforman una comunidad (red) (Martínez - Falcón et al., 2019). Esta representación ha sido un enfoque común para abordar los patrones de coexistencia y estructura de las comunidades, las especies y sus interacciones habitualmente organizadas en redes ya que pueden mostrar patrones distintivos y repetidos; por lo que, se pueden presentar estructuras definidas y especies clave que pueden mantener la estabilidad de la comunidad de interactuantes, ante presiones como eventos climáticos e intervenciones antrópicas (Olesen et al., 2007).

Las redes ecológicas de polinización pueden ser unipartita (refiere a relaciones entre todas las especies que interactúan dentro y fuera de un mismo nivel trófico; por ejemplo, los depredadores en una comunidad), y bipartita cuando los grupos de interactuantes se encuentran bien definidos, por ejemplo, interacción planta-visitante floral (dos niveles tróficos). (Bascompte, 2009). La caracterización de las interacciones de redes ecologías de polinización se establece mediante métricas o parámetros de estructura y funcionalidad de las redes; las cuales se dan a nivel de especie y a nivel de la red. La conectancia, asimetría de especialización, anidamiento, robustez, modularidad, especialización de la red, generalidad de las plantas, vulnerabilidad de polinizadores, grado de conectancia, entre otros, son principales parámetros o descriptores (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Descriptores a nivel de Red (Vizentin-Bugoni et al., 2018; Watts et al., 2016 & Manrique, 2022)

Descriptor	Descripción	Valores
Conectancia	Es una métrica que indica el número de interacciones efectivas entre especies y el número máximo de enlaces posibles que podrían realizarse en ese tipo de red	varía entre 0 y 1, donde valores altos indican alta interconectividad entre las especies, valores bajos están asociados a redes más especialistas
Asimetría de especialización	Es una métrica de la red, que indica la estimación del impacto de una especie sobre otra, es decir si una especie A depende en gran medida de una especie B, entonces éste último tiende a depender menos de la especie A.	Los valores positivos (+) indican más especies a nivel de plantas y los valores negativos (-) más especies de insectos, (-1, 1).

Anidamiento	Índice de anidamiento (NODF): El anidamiento es una estructura en la que los nodos de la red se organizan en niveles jerárquicos de modo que los nodos de nivel superior se conectan a un conjunto de nodos de nivel inferior. Refleja un patrón de especies con interacciones especializadas.	Valores de 0 a 100, siendo valores cercanos a 100 cuando se habla de una red completamente Anidada
Robustez	Mide la capacidad de la red para mantener su estructura y funcionalidad frente a perturbaciones o cambios en la composición de especies. Una red robusta es capaz de resistir la pérdida de nodos o conexiones sin colapsar.	Varía de 0 a 1, siendo que la red tolera la pérdida de algunos enlaces cuando resulta 1
Índice de especialización (H2')	Es la medida en que las especies en una red ecológica interactúan selectivamente con algunas especies, formando una estructura de redes no aleatoria	Para su cálculo se utiliza el índice H2' cuyos valores oscila entre 0 (sin especialización) y 1 (especialización perfecta para totales de interacción dados)
Modularidad (Q)	Se refiere a las agrupaciones en subconjuntos (módulos) entre las especies que interactúan más íntimamente con un grupo específico de especies, que con el resto de las especies de la comunidad.	Sus valores oscilan entre cero, para redes completamente aleatorias, y uno, para módulos perfectos
Generalidad de plantas (HL)	Medida de cuántas especies de plantas dependen de una determinada especie de insectos para sobrevivir.	Los valores de este índice dependen de la naturaleza de la red, no están definidos por un rango
Vulnerabilidad de insectos (LL)	Análogo a Generalidad, es decir el número de especies de insectos en una red que dependen de una determinada especie de planta.	Los valores de este índice dependen de la naturaleza de la red, no están definidos por un rango
Grado de conectividad entre módulos (c) y Grado de conectividad dentro de los módulos (z)	Muestra roles que desempeñan las especies en la red (especies clave que mantienen la estructura)	Especies periféricas (bajos valores c y z), especies conectoras (altos valores c), especies centro de módulo (altos valores z) y centro de red (altos valores c y z). Umbrales de valores en redes bipartitas c=0.62 a c=2.6

Tabla 2. Descriptores a nivel de Especies (Manrique, 2022 & Rodriguez, 2024)

Descriptor	**Descripción**	**Valores**
Fuerza de conexión de las especies	Estimación del impacto ecológico de una especie sobre	Valores altos tiene mayor fuerza de conexión de especies.

(Species Strength)	otra, es decir, importancia de una especie para las otras especies con las que interactúa.	
|tría de interacción de especies (*interaction push.pull*.)	Es el desequilibrio entre la fuerza de interacción y la dependencia de dos especies que interactúan	Valores positivos indican que una especie afecta a sus compañeros de interacción más fuertemente de lo que es afectada por ellos; valores negativos indican que una especie es afectada por sus compañeros de interacción, pero no ejerce un fuerte efecto recíproco sobre ellos; y cero indica simetría de dependencia
Generalización-Especialización (d')	Mide el nivel de especialización de una especie en relación con la abundancia relativa de las especies con las que interactúa.	Sus valores oscilan entre 0 (especialización mínima) y 1 (especialización máxima). .
Índice de Servicio de Polinización (PSI)	Estima la importancia de un polinizador para todas las especies de plantas. Estima la importancia de un polinizador para todas las especies vegetales.	Valores varían entre 0 y 1, en donde cero indica que la especie de polinizador es irrelevante para todas las especies de plantas; y uno indica que todo el polen colectado por el polinizador se entrega a una especie vegetal, la cual depende completamente de él.

2.1.2.4. Criterios de evaluación del estado de conservación de ecosistemas

En áreas naturales protegidas [ANPs], el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP], emplea indicadores para evaluar el estado de conservación a nivel especies: *Composición* (riqueza, abundancia y densidad); y a nivel de ecosistemas emplea como indicadores la *Composición* (riqueza de especies), la *Estructura* (cobertura vegetal) y la *Función* (acumulación de nutrientes), aplicando la metodología denominada "evaluación de efectos por actividades antrópicas", la cual consiste en una evaluación a nivel territorial de la ocurrencia de efectos impulsores de pérdida de diversidad biológica y sus actividades antrópicas que las causan (SERNANP, 2022).

Por otro lado, investigadores emplean otros parámetros como la presencia de especies amenazadas, endémicas, especies exóticas o invasoras, objetos de conservación u otras especies de importancia económica para la población local y del ecosistema, por ser observable -

medibles y se pueden relacionar con la respuesta que da esa especie del ecosistema ante un factor de degradación; también, puede ser un indicador de la presencia del factor de degradación (SERNANP, 2017; Wildlife Conservation Society [WCS], 2020).

En la actualidad no existe una guía para evaluar el estado de conservación de lomas; sin embargo, el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR] mediante Resolución Dirección Ejecutiva N° 287 – 2018 – MINAGRI-SERFOR-DE estableció lineamientos para identificación de ecosistemas frágiles, como valor biológico y ecológicos (Valor de Conservación) de estos ecosistemas frágiles, ponderando la relevancia biológica de flora y fauna silvestre, el estado del hábitat y la provisión de servicios ecosistémicos como variables principales.

2.1.2.4.1 Especies bioindicadoras o claves

Son especies silvestres que pueden ser observados y medidos, y que se relaciona con uno o más atributos del ecosistema (pueden ser sensibles a los cambios sutiles del ecosistema); los bioindicadores o especies claves, pueden relacionarse con la respuesta que da el ecosistema ante un factor de degradación, pero también puede ser un indicador de la presencia del factor de degradación en sí mismo (MINAM, 2019).

2.1.2.4.2 Especies exóticas potencialmente invasoras

Se definen como especies capaces de convertirse en invasoras en el país luego de su introducción, y cuyo carácter de invasivo ha sido demostrado en otros países con condiciones ecológicas semejantes a las del Perú (MINAM, 2022); la más investigada es *Apis mellifera* (Santos et al., 2012; Claro Carrascal et al., 2017; Baena et al., 2022)

2.1.2.4.3 Especies endémicas

Especies endémicas son aquellas especies de flora vascular, que son exclusivos de un determinado lugar por diversos factores biológicos o geológicos (León et al., 2006)

2.1.2.4.4 Especies amenazadas

El D.S. N° 043-2006-AG, describe la lista de especies de flora silvestre en 04 categorías de amenaza, según legislación nacional: Casi amenazada, Vulnerable, En Peligro, En Peligro Crítico.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito

3.1.1. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el Área de Conservación Privada [ACP] Lomas de Atiquipa, ubicado geográficamente al norte del departamento de Arequipa, entre la latitud: -15.793700 y longitud: -74.36292, con rango desde los 0 hasta los 1273 de altitud, geopolíticamente pertenece a la provincia de Caravelí, en los distritos de Atiquipa y Yauca, a 610 km al sur de la ciudad de Lima y a 597 km al norte de la ciudad de Arequipa por la carretera panamericana sur (Figura 1).

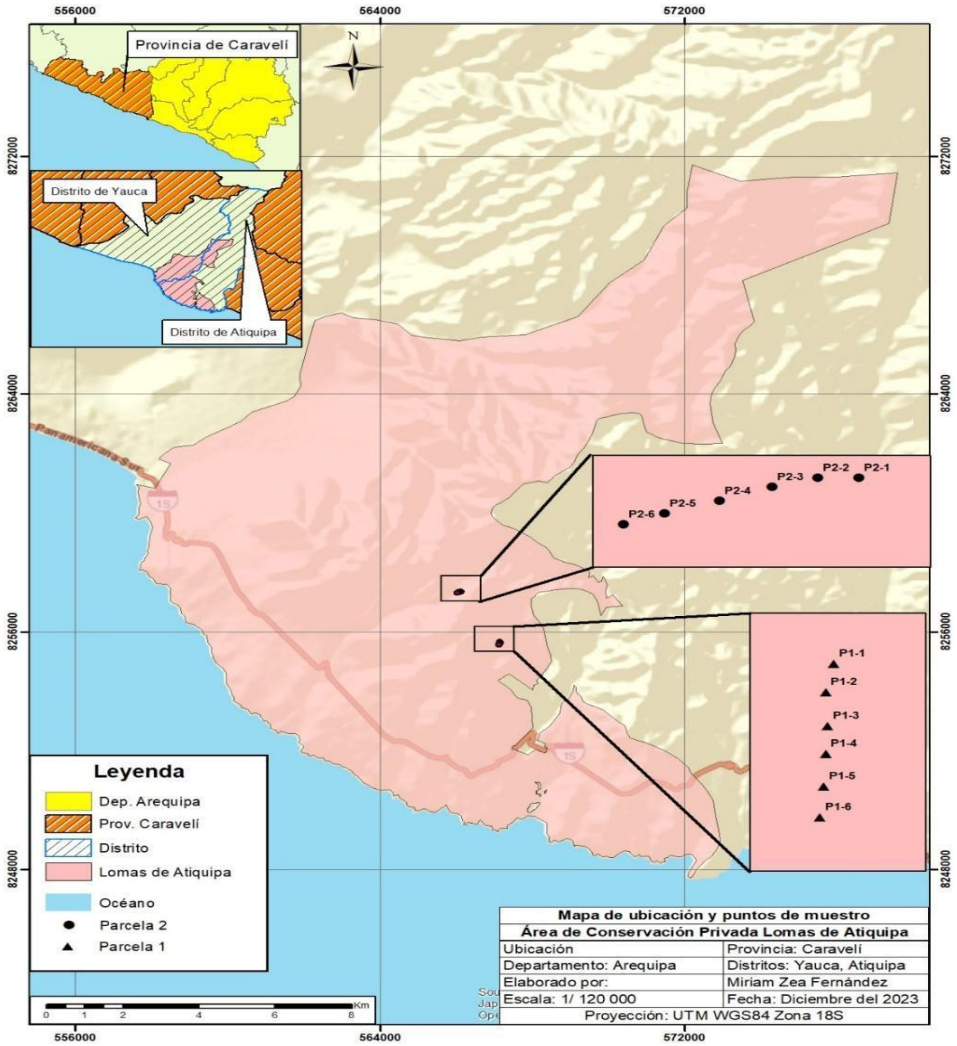


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio y puntos de muestreo.

3.1.2. Características climáticas

Bioclimáticamente, a Atiquipa le corresponde el piso termotropical hiperárido y árido, con precipitaciones que oscilan entre 5 y 100 mm anuales (con promedio de 60 mm), debido a la presencia abundante de las nieblas invernales y precipitaciones máximas entre julio y noviembre, acompañado de un descenso de las temperaturas causado por la influencia de la Corriente Peruana; la mayor cantidad de captación de neblina es de 66.5 l/m^2/día, mientras que la mínima es de 1.7 l/m^2/día. La temperatura media anual oscila en 18 °C con máximas de 28 °C y mínimas de 12°C, gracias a las lluvias generadas por condensación de nieblas invernales con humedad relativa de 80 % (Sotomayor y Jiménez, 2008; Talavera et al., 2017; GOREA, 2023).

3.1.3. Hidrología, relieve y suelos

El recurso agua en lomas de Atiquipa se encuentra conformada por las quebradas Infiernillo, Lúcumo, Ocopa, Silaca, Vaca y Maguey, que reúnen agua de las precipitaciones y albergan afloramientos permanentes de agua, gracias a la vegetación existente, principalmente de las partes altas permitiendo captar las nieblas a través de sus sistemas radiculares y es aprovechada por la fauna silvestre y principalmente por los agricultores (Villegas et al., 2017).

Fisiográficamente, están dominadas por laderas de montaña, seguidas de terrazas marinas; estas laderas, van desde un grado empinado hasta extremadamente empinado (Talavera et al., 2017). Geológicamente, la zona está dominada por formaciones rocosas del Mesozoico y Cretácico inferior, conformado por rocas de granito, granodiorita y monzonita de naturaleza ácida, también presenta formaciones pertenecientes al Jurásico inferior con rocas de tipo volcánico de naturaleza básica (GOREA, 2023).

El suelo es muy variable, pudiendo ser arenoso o arcilloso; existiendo grandes rocas en cuyas grietas se acumula gran cantidad de materia orgánica, la cual permite el crecimiento de plantas típicas adaptadas a la humedad temporal con relieve topográfico de suave a accidentado. Debido a sus características fisicoquímicas, biológicas y morfológicas, los suelos en lomas de Atiquipa están identificadas como zona de andenes con seis sectores (Moca, Quebrada de la Vaca, Silaca, Jirhuay, Agua salada, Ocopa); y las zonas de áreas cultivadas con cuatro sectores (Parcanajón, infiernillo, Yactapara y Pueblo) (GOREA, 2023).

3.1.4. Zona de vida

Las lomas de Atiquipa se encuentran entre los 50 y 1200 m de altitud y se caracteriza por presentar las siguientes zonas de vida: desierto superárido-Templado Cálido en la parte baja cercana al nivel del mar, el desierto perárido-Templado cálido en la parte media y el matorral desértico-Templado Cálido en la parte alta (Villegas et al., 2017).

Lomas de Atiquipa cuenta con las siguientes comunidades vegetales: **Matorral semidenso**, se distribuye entre las laderas del cerro Cahuamarca, quebrada Lucanas, quebrana Changua, quebrada Conchara (538 Ha), con especies dominantes: *Nicotiana paniculata, Proustia cuneifolia*, *Heliotropium spp, Croton alnifolius y Croton ruizianus*. Esta comunidad se presenta en terrenos ondulados y laderas poco accidentadas, con pendientes que varían de fuertemente inclinada a moderadamente empinada. Tiene una cobertura promedio de 75% y un vigor y condición de suelo son pobre, bueno y regular, y su uso es para pastoreo en menor grado de cabras, vacas, caballos y asnos. **Comunidad matorral ralo**, es la de mayor distribución en las lomas de Atiquipa (1250 ha. Aproximadamente) ubicados en el cerro Carrizal, cerro Pan de Azúcar, quebrada Duraznillo, cerro Mallacorjo, quebrada Pampa Añejo, Yactapara, quebrada Cascarilla, quebrada Buena Vista, quebrada Lúcumo. Las especies dominantes de esta zona son: *Croton alnifolius, Cestrum auriculatum* y *Cestrum lanuginosum*. Esta comunidad es usada para el pastoreo de cabras en forma continua, habiéndose observado también su uso en forma temporal para el ganado vacuno; el terreno es de relieve ondulado, con pendientes que fluctúan desde ligeramente inclinadas hasta empinada. **Comunidad de gramíneas con matorral**, La cobertura de esta área varia de 70% a 75%. Esta comunidad también es utilizada en forma intensiva para los pastoreos de cabras, vacunos y equinos durante toda la temporada de lomas y la **Comunidad forestal**, que se encuentra en la parte alta de las lomas de Atiquipa y hacia el norte existe mayor densidad y número de especies (mayor altitud), con predominancia de la vegetación arbustiva, árboles de molle, huarango, arrayan y tara (SERNANP, 2022):

3.1.5. Flora

La flora y vegetación son muy variadas, las cuales están conformadas por algas, líquenes, musgos, helechos y plantas superiores como hierbas, arbustos y árboles de los géneros Tara, Acacia y Arrayán, ésta última endémica. Así mismo, cuenta con rodales de cactáceas

ubicado en la parte baja de las lomas; entre ellas, *Eulychnia ritteri*, *Echinopsis chalaensis* y *Weberbauerocereus weberbaueri* (endémicos). También con presencia de matorrales, conformado por los géneros Randia, Grindelia, Croton y Heliotropium (Talavera et al., 2017).

En las lomas de Atiquipa se reporta el registro de 331 especies de plantas, distribuidas en 73 familias y 220 géneros, siendo las Asteraceae la familia más representativa con 36 especies, seguido de Solanaceae con 27 especies, Poaceae con 20 especies y Cactaceae con 18 especies (SERNANP, 2022). Se destaca que, 46 especies son endémicas para la flora de la costa peruana y seis especies de las lomas de Atiquipa (Talavera et al., 2017).

3.1.6. Entomofauna polinizadora

A la fecha no se cuenta con registro de insectos en lomas de Atiquipa. Sin embargo, se ha reportado 10 géneros y 04 familias de abejas polinizadores para Arequipa; la familia más representativa recae en Halictidae (87,1 %), seguido de Megachilidae (7,7 %), Colletidae (3,8 %) y Apidae (1 %), respectivamente (Calizaya et al., 2020). La región de Arequipa produce gran cantidad de alimentos de consumo local y de exportación que depende hasta un 90% de los polinizadores (Maldonado et al., 2020). En lomas de la provincia de Caravelí, se han registraron 8 especies de insectos correspondientes a los géneros: Alophophion, Enicospilus, Eremotylus y Ophion; Enicospilus (Ichneumonidae), es considerado el más representativo para lomas que se encontraban por debajo de los 1000 m. (Suárez et al., 2021).

3.1.7. Población y economía

Dentro del ACP Lomas de Atiquipa se encuentran las comunidades Campesina de Atiquipa y Yauca, la comunidad de Atiquipa se distribuye en tres asentamientos: Atiquipa, Santa Rosa y Agua Salada. Existe el registro de 16 comuneros jefes de hogar, titulares de predios, con voz y voto en el manejo de las Lomas de Atiquipa (Miranda, 2018).

Este paisaje natural se combina con áreas de uso antrópico con cultivos temporales, los pobladores de la capital del distrito de Atiquipa se dedican mayoritariamente a la agricultura y ganadería; mientras que, los habitantes de los anexos cercanos al mar se dedican mayormente a la actividad pesquera y al comercio; siendo el maíz, el cultivo que más destaca ya que la mayoría de las siembras son de autoconsumo; pero se observan también, diferentes sembríos en cada fundo como Beterraga, Zapallo, Caíhua, Camote y la Tuna, como cultivos

alimenticios. También se observa arboricultura de riego, como el Olivo, y otros frutales en menor cantidad como: Níspero, Guayaba, Palta, Higo, Lúcuma, Naranja, Limón (Villegas et al., 2017).

3.1.8. Población en estudio

La población de estudio se presentará en dos subpoblaciones, la flora silvestre en antesis (floración) y sus visitantes florales en el ecosistema de lomas de Atiquipa.

3.1.9. Muestra

La muestra es la totalidad de las interacciones entre los visitantes florales y la flora en antesis, en dos transectos principales de evaluación en el ecosistema de lomas de Atiquipa.

3.1.10. Nivel y tipo de estudio

Tipo de investigación: Descriptiva

La investigación es no experimental transversal descriptiva, porque las observaciones se realizarán en determinado momento, y para el reporte el análisis se realizó por comparación con bibliografía especializada y por información descriptiva.

Variables de investigación

- Variable Independiente: Redes ecológicas de polinización
- Variable dependiente: Estado de conservación del ecosistema de lomas

3.2 Método

3.2.1 Tipo de muestreo

Probabilístico, porque cualquier especie de flora silvestre en antesis y sus visitantes florales en el ecosistema de lomas de Atiquipa en el periodo de estudio, tendrá la oportunidad de ser integrantes en el registro del presente estudio.

3.2.2. Validación y confiabilidad del estudio

La realización de las colectas botánicas y entomológicas e identificación de estas

fueron realizadas por investigadores profesionales especialista en la materia y se cuenta con Autorización de Investigación RD N°000055-2023-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Equipos

Prensador muestras botánicas (45x30), GPSMAP 62x Garmin, Cámara fotográfica profesional con teleobjetivo macro de 100 mm, tubos aspiradores entomológicos, lupa entomológica (20x21mm), red entomológica armable, estereoscopio binocular con estativo de 2x-4x, cajas entomológicas, linterna frontal, wincha de 50 metros,

3.3.2 Materiales

Lápices, marcadores, sacapuntas, tablero de campo, algodón, tubo cónico de plástico de 50- 100 ml., viales plásticos de 5 ml, frascos de vidrio de 500 ml con tapa hermética, frascos de plástico descartables de 6 oz, papel manteca tamaño A4, papel periódico, frasco de alcohol al 70 - 96 °, alfileres entomológicos # 1,2,3, pinzas punta fina, bolsas herméticas Ziploc, cinta flagging, acetato de etilo, bolsas de papel o tela.

3.4. Métodos

3.4.1. Etapa de pre campo

En esta etapa se recopiló información bibliográfica especializada en redes ecológicas de polinización que podrían encontrarse en el ecosistema de lomas. Se realizó una salida previa de campo del 13 al 15 de agosto del 2023, para definir unidades de muestreo según condiciones biológicas (etapas de floración) y permisos a la comunidad de Atiquipa.

3.4.2. Etapa de campo

Se empleó el método cuantitativo de transecto modificado de Watts et al. (2016); para ello, se instalaron dos transectos principales y perpendicular a cada uno se instalaron seis subtransectos secundarios de 50 m x 3m separados a un distanciamiento de 20 m entre los subtransectos (Figuras 2 y 3).

Figura 2. Diagrama del transecto modificado de Watts et al. (2016). Fuente: Investigadores del Proyecto Redes

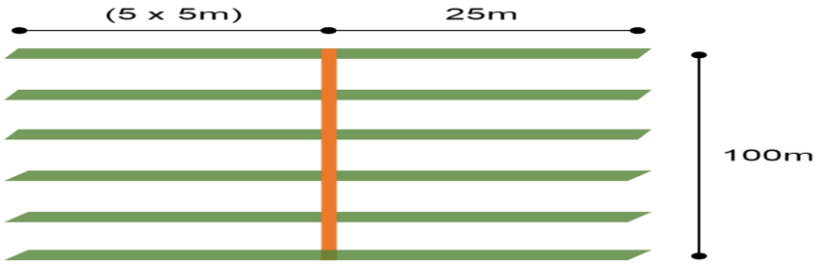


Figura 3. Subtransectos de muestreo modificado de Watts et al. (2016). Fuente: Investigadores del Proyecto Redes

Cada subtransecto se ubicó de modo que quedó dividido por el transecto principal, en dos secciones de 25 x 3 m (Figura 4); a su vez, cada sección se dividió en cinco cuadrantes de 5 x 3 m (Figura 4). El esfuerzo de muestreo total fue de 300 m (50 m x 6 repeticiones por transecto).

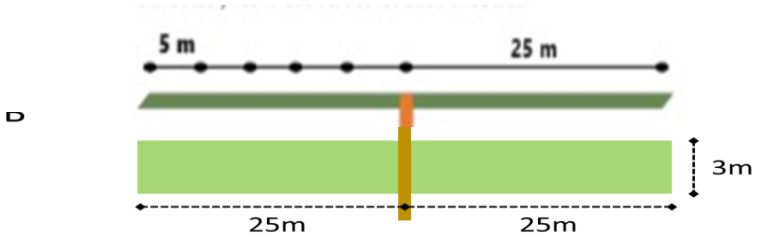


Figura 4. Sección de muestreo modificado de Watts et al. (2016). Fuente: Investigadores del Proyecto Redes

La toma de datos de interacción planta – insecto se realizó mediante el método de observación directa modificada de Kato et al. (2008), cada 10 minutos por cuadrante en horarios de 8 - 12 a.m. y 2 - 5 p.m. durante seis días de muestreo, realizado por seis personas (252 horas de esfuerzo de muestreo). Se realizó del 27 al 29 de agosto y del 31 de agosto al 02 de setiembre del año 2023, dado que, en ese momento, la mayoría de las especies de plantas se encontraba en

floración y las condiciones climáticas fueron favorables (clima despejado y soleado). Cabe mencionar que, se consideró como "visita" al contacto del visitante floral con las anteras y/o estigmas de las flores visitadas. Para ello se empleó formato de registro de campo con los siguientes datos: Coordenadas (Tabla 3), Transecto, subtransecto y cuadrante de observación, hora de inicio y fin de evaluación, especie o morfoespecie de la planta visitada, especie o morfoespecie de visitador floral, número de visitas y código del registro fotográfico

Tabla 3. Coordenadas de ubicación de los transectos y subtransectos de evaluación

Transecto	Subtransecto	Coordenadas (UTM) WGS 84			Altitud (m)
		Zona	Este	Sur	
T1	S1	18 L	567117	8255565	628
	S2	18 L	567119	8255585	635
	S3	18 L	567120	8255606	640
	S4	18 L	567121	8255624	646
	S5	18 L	567120	8255646	652
	S6	18 L	567124	8255664	661
T2	S1	18 L	566114	8257347	932
	S2	18 L	566096	8257347	938
	S3	18 L	566076	8257342	916
	S4	18 L	566053	8257334	903
	S5	18 L	566029	8257327	896
	S6	18 L	566011	8257321	890

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3. Fase de gabinete

Para la identificación taxonómica de los géneros y/o especies de flora en antesis, se procedió a la revisión y comparación del registro fotográfico con literatura especializada de taxonomía, como la Guía de flora de lomas de Atiquipa (Talavera et al., 2017), diversas publicaciones de la flora del área de estudio, con la galería de alta resolución de especímenes disponibles en herbarios virtuales, como The Global Biodiversity Information Facility [GBIF] (https://www.gbif.org/), además del apoyo de especialistas botánicos del Centro de Ornitología y Biodiversidad [CORBIDI] y el Museo Sur Peruano [MSP] del Instituto Científico Michael Owen Dillon [IMOD].

Todos los materiales botánicos colectados fueron prensados, secados y

acondicionados para su incorporación en el Herbario Forestal [MOLF] de la Universidad Nacional Agraria La Molina {UNALM] y MSP del [IMOD].

Para la identificación taxonómica de géneros y/o especies de visitantes florales, se procedió a la revisión y comparación del registro fotográfico con literatura especializada de taxonomía, como la Guía para identificación de entomofauna (Rafael et al*.,* 2012), claves de identificación, con la galería de alta resolución de especímenes disponibles en la plataforma virtual The Global Biodiversity Information Facility [GBIF] (https://www.gbif.org/), además del apoyo de especialistas en entomología de del Centro de Ornitología y Biodiversidad [CORBIDI] y el Instituto Científico Michael Owen Dillon [IMOD].

La colecta de insectos con redes y aspiradores entomológicos fueron depositados en cámaras letales posteriormente, en triángulos de papel vegetal rotulados con la fecha de colecta, código del transecto y subtransecto. Los insectos pequeños (< 04 mm) se preservaron en alcohol etílico de 70°. Todos los especímenes colectados se trasladaron a las instalaciones del Centro de Ornitología y Biodiversidad (CORBIDI) y el Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD), para su procesamiento, montaje y resguardo en cajas entomológicas.

Para el análisis de diversidad se empleó el software para el análisis de datos científicos PAST 4.10 (Hammer et al., 2001), con los siguientes índices:

Índice de dominancia de Simpson: Indica la probabilidad de que dos individuos al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influenciado por las especies dominantes (Tablas 4 y 5).

$$\delta = \sum Pi^2$$

Donde:

$\delta = Indice\ de\ dominancia$

Pi = Proporción de los individuos registrados en cada especie (n/N) n=Número de individuos de la especie

N= Número total de especies

Entonces, el índice de diversidad de Simpson es:

$$\lambda = 1 - \delta$$

Donde:

λ= Índice de diversidad de Simpson

δ= Índice de dominancia

Tabla 4. Escala de significancia de diversidad (Moreno, 2001)

Rangos	Significado
0 – 0,33	Diversidad baja
0,34 – 0,66	Diversidad media
Mayor a 0,67	Diversidad alta

Índice de diversidad de Shannon -Wiener: El índice une dos componentes, la equitatividad y la riqueza

$$H' = -\sum_{p=1}^{S}(p_i)(l\mathrm{n}\ {}_n p_i)$$

Donde:

H= Índice de la diversidad de la especie

S= Numero de especie

Pi = Proporción de la muestra que corresponde a la especie.

Ln= Logaritmo natural

Tabla 5. Interpretación de los rangos de diversidad (Moreno, 2001)

Rangos	Significado
0 – 1,35	Diversidad baja
1,36 – 3,5	Diversidad media
Mayor a 3,5	Diversidad alta

Para la caracterización de redes ecologías de polinización se emplearon métricas de estructura y funcionalidad de las redes; tanto a nivel de red como a nivel de especie y fueron calculados con el paquete Bipartite empleando el software R Studio 4.3 (Dormann, 2014). Los visitantes florales fueron descritos por los siguientes grupos funcionales (Tabla 6).

Tabla 6. Grupos funcionales de insectos asociados a la polinización (Rafael et al., 2012, Bernabé, 2024, Rodriguez, 2024)

Grupo funcional	Características principales
Coleoptera [COL]	La característica más importante se debe a la fuerte esclerotización de todas las partes expuestas del cuerpo y la transformación de las alas anteriores en élitros, con un mecanismo que encaja con el escutelo y el metanoto, que reducen la pérdida de agua
Diptera [DIP]	Poseen un par de alas funcionales membranosas en el mesonoto, alas posteriores reducidas a mancuernas; protórax y metatórax muy reducidos. Es un orden muy estudiado porque muchas especies son importantes vectores de organismos que pueden causar enfermedades en el hombre
Abejas lengua corta [HAC]	Se caracteriza por su estructura bucal corta, sólo pueden libar de flores con corola abierta, que ofrecen su néctar cerca de la superficie
Abejas lengua larga [HAL]	Poseen una estructura bucal larga con la que pueden acceder al néctar guardado en partes más profundas de muchas especies florales, se relacionan con especies vegetales de flores tubulares
Avispas [HAV]	Son avispas parasitoides, durante su desarrollo larvario se alimentan de otros artrópodos y los matan en el proceso
Hemiptera {HEM]	Se caracteriza por el cuerpo compacto y su aparato bucal altamente especializado, adaptado para picar y chupar. Las chinches depredadoras se encuentran algunas plagas muy destructivas
Mariposa {LEM}	Son apreciados por su valor estético y la metamorfosis que experimentan durante su ciclo vital. De muchos colores y tamaños, y tienden a presentar actividad diurna. Aparato bucal succionador llamado probóscide que les sirve para alimentarse del néctar de las flores, antenas suaves, en reposo tienden a disponer sus alas en posición vertical con respecto al sustrato.
Polillas {LEP]	Son nocturnas, han sido ignoradas como polinizadoras a causa de la falta de conocimiento sobre su biología. Pero estudios recientes destacan que algunas especies de plantas dependen exclusivamente de ellas para poder reproducirse. Tienen antenas plumosas y cuando están en reposo suelen mantener sus alas bajas, cerca del cuerpo y paralelas al sustrato
Thysanoptera {THY]	Llamados comúnmente “trips”, estas especies se alimentan de las flores por lo que sirven de polinizadores
Otros insectos {OTI]	Son pequeños y de morfología poco variada, conocidos como pulgones, se alimentan de plantas, a las que parasitan, algunos son vectores de virus.

Para el análisis del comportamiento e importancia de las especies de plantas y visitantes florales, así como los roles que desempeñan las especies para determinar las especies clave que mantienen su estructura, se elaboró la red ecológica de polinización a partir de las especies registradas y las frecuencias de visitantes florales observadas. El nivel más alto (higher) de la red se asignó a los visitantes florales, categorizados en grupos taxonómicos funcionales dada

la extensa diversidad de especies registradas; y el nivel más bajo (lower) de la red, estuvo conformado por las especies de plantas en antesis.

Por otro lado, para el análisis del estado actual del ecosistema de lomas, se consideró evaluar el efecto de *Apis mellifera* como bioindicador del estado de conservación de lomas de Atiquipa; para ello, se simuló la eliminación dicha especie exótica potencialmente invasora en la red ecológica de polinización y se compararon resultados con presencia y sin la presencia de dicha especie. Así mismo, se analizó la presencia de endemismo (León et al., 2006; Quipuscoa et al., 2022), y la categorización de especies amenazadas de flora (Decreto Supremo 043-2006-AG). Con todos los resultados obtenidos de diversidad, los índices a nivel de red y especies, se elaboró una matriz de ponderación en base al criterio de valor de conservación que emplea el SERFOR para evaluar ecosistemas frágiles en el país (Tabla 7), y se elaboró la propuesta de valorización del estado de conservación del ACP Lomas de Atiquipa.

Tabla 7. Relevancia biológica de flora y fauna silvestre (R.D.E N° 287 – 2018 – MINAGRI-SERFOR-DE)

Puntuación	Valor Asignado	Criterio
4	Muy alto	Con una mayor riqueza de especies de flora y fauna silvestre nativa en relación con su entorno. Con presencia o evidencia de al menos cinco especies amenazadas y/o endémicas.
3	Alto	Con una mayor riqueza de especies de flora y fauna silvestre nativa en relación con su entorno. Con presencia o evidencia de al menos una especie amenazada y/o endémica.
2	Medio	Con una mayor riqueza de especies de flora y fauna silvestre nativa en relación con su entorno. Sin presencia o evidencia de especies amenazadas y/o endémicas.
1	Bajo	Con una riqueza de especies de flora y fauna silvestre nativa similar o menor a su entorno. Sin presencia o evidencia de especies amenazadas y/o endémicas.

Finalmente, se estableció las pautas estratégicas de conservación para las especies indicadoras en el ACP lomas de Atiquipa, basados en los instrumentos de gestión para Áreas Naturales Protegidas (SERNANP, 2022) y Ecosistemas Frágiles (SERFOR, 2018).

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diversidad florística y de visitantes florales en el ACP Lomas de Atiquipa

4.1.1. Riqueza y abundancia de especies

Se registraron 57 especies de flora en antesis distribuidas en 18 órdenes y 27 familias taxonómicas. Los órdenes con mayor número de especies fueron Asterales (14 especies), seguido de Lamiales y Caryophyllales con seis especies cada uno. La familia más diversa fue Asteraceae (14 especies) representando el 24.6 % del total, seguido de lejos por Boraginaceae, Solanaceae y Malvaceae con cuatro especies (21 % entre ellas); el resto de familias solo estuvieron representados por una y dos especies (Figura 5). Los géneros mejores representados fueron Fuertesimalva, Calceolaria, Bidens, Nolana con dos especies cada uno. Estos resultados concuerdan con Talavera et al. (2017) y Arana (2019), destacando a diversidad de la familia Asteraceae para lomas del sur y del centro peruano, respectivamente.

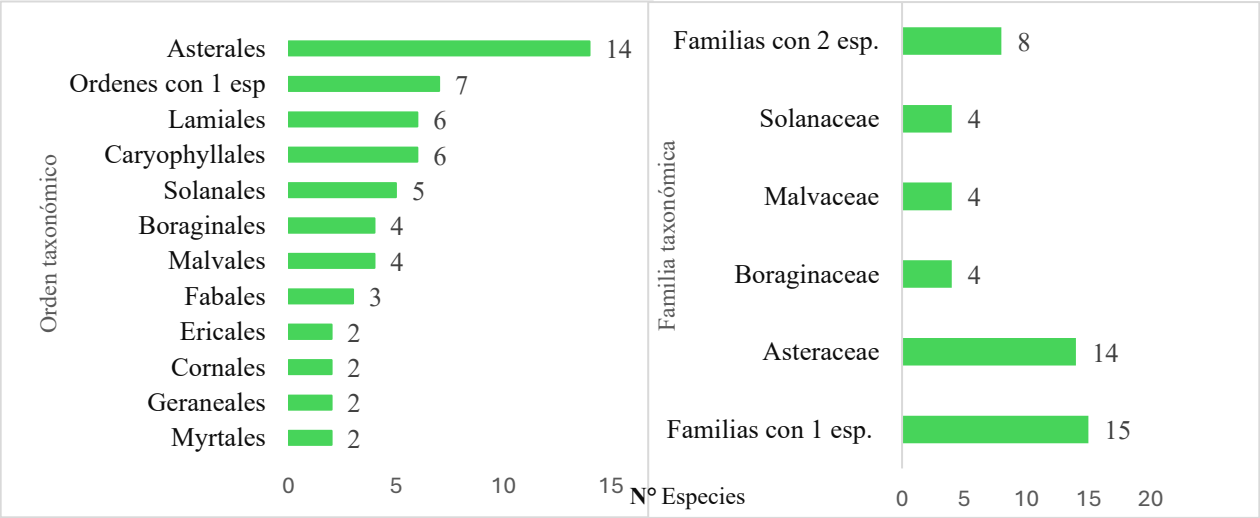


Figura 5. Número de especies por órdenes y familia de plantas en antesis registradas en el ACP Lomas de Atiquipa.

Se registró 5 298 individuos de flora en antesis en una superficie total de 10,000 m^2, siendo Asteraceae con el 34.8% del total, Malvaceae con 24.6 % y Loasaceae con 12.3 % las más abundantes. A nivel de especies, las más abundantes fueron: *Fuertesimalva peruviana* con 18 % del total, *Philoglossa peruviana* con el 13 % y *Nasa urens* con el 12 % (Figura 6). Sotomayor y Jiménez (2008), reportan a la especie de planta terófito nativa *Fuertesimalva*

peruviana como la más abundante en lomas de Atiquipa, coincidiendo con nuestros resultados.

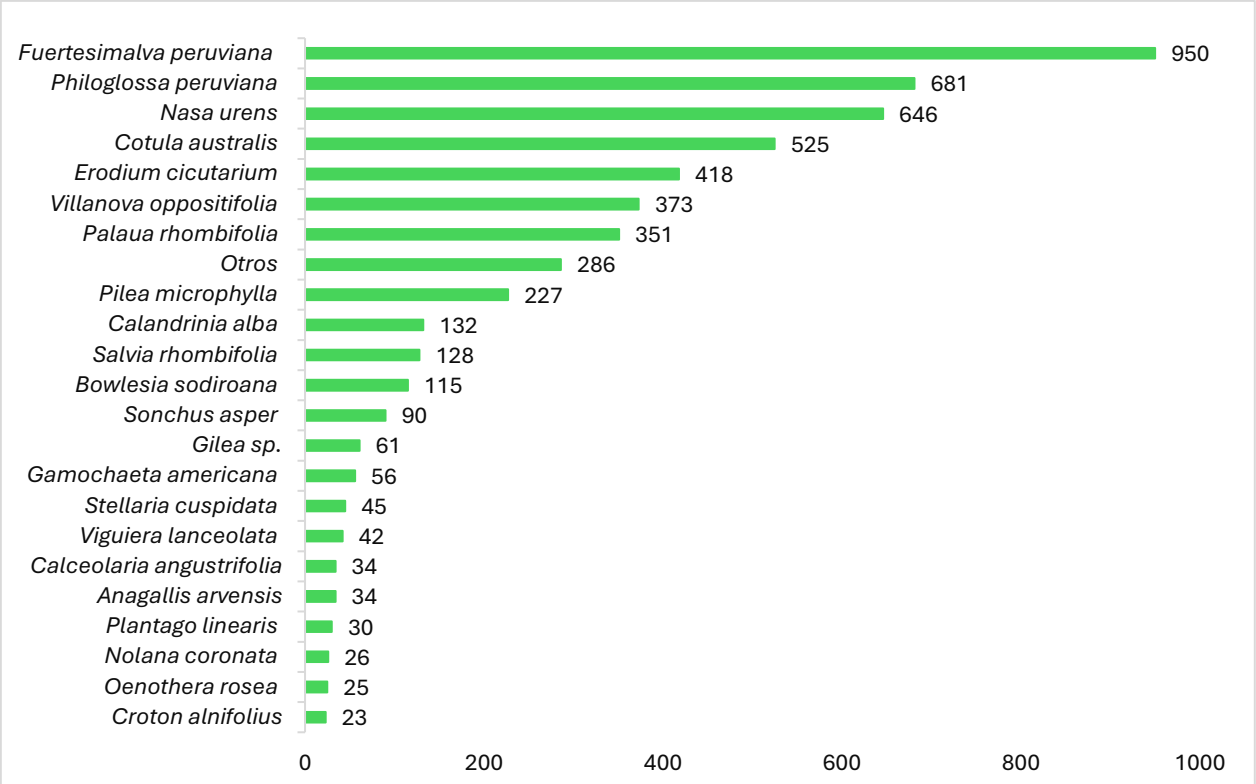


Figura 6. Abundancia por especies de plantas en antesis registradas en el ACP Lomas de Atiquipa.

Por otro lado, la riqueza específica de visitantes florales fue de 60 especies en total, todas corresponden a la clase insecta; es decir, la interacción mutualista fue por entomofilia, distribuidos en 07 órdenes y 30 familias taxonómicas. Los órdenes más diversos fueron: Diptera con el 41.7 % (25 especies), seguido de Hymenoptera con 26.7% (16 especies) y Lepidoptera con 18.3 % (11 especies) (Figura 7). Las familias más diversas fueron Shyrphidae con el 20 % (12 especies), seguido de Ichneumonidae con 8.3 % (5 especies), el resto estuvo representado entre tres, dos y una especie (Figura 8). El género más representativo fue: Allograpta con seis especies. En el presente estudio, Diptera se posiciona como el orden más diverso de la red de interacción, principalmente representado por Syrphidae como la familia más diversa, coincidiendo con Baharona et al. (2022) y Rodríguez (2024) quienes destacan la diversidad del grupo funcional díptera como importantes visitadores florales en diversos ecosistemas e incluso en hábitats donde existen poca presencia de polinizadores nativos.

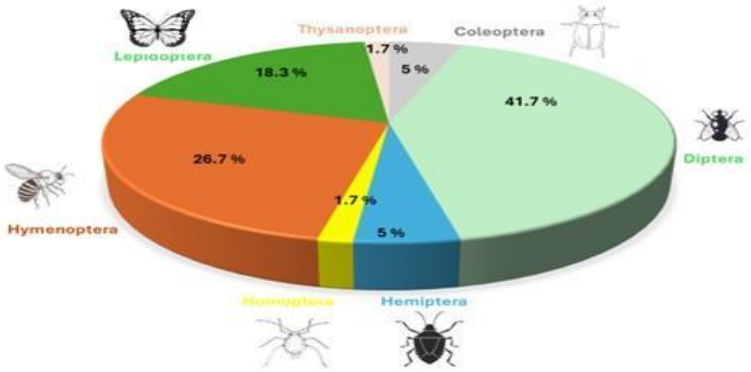


Figura 7. Porcentaje de especies de visitantes florales registrados por orden taxonómico en el ACP Lomas de Atiquipa.

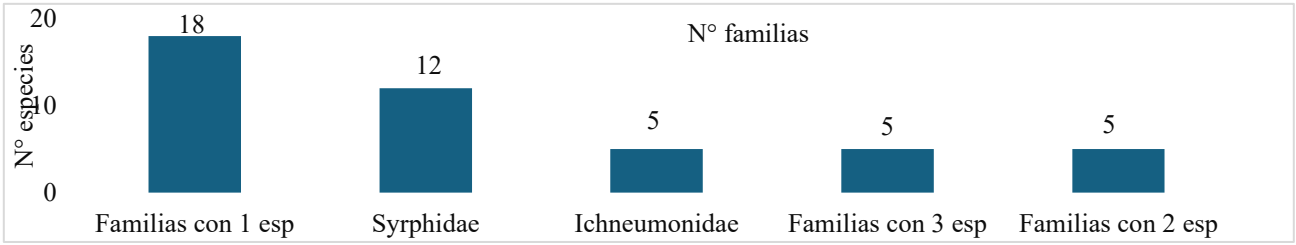


Figura 8. Número de especies de visitantes florales registrados en el ACP Lomas de Atiquipa, por familia taxonómica.

La abundancia de visitantes florales está representado por 2 270 individuos, siendo el orden Diptera el más representativo con 42.8 % (966 individuos), seguido de Lepidóptera con 37.5 % (851 individuos) y Hymenóptera con 18.9 % (429 individuos) (Figura 9).

Figura 9. Número de individuos de visitantes florales registrados en el ACP Lomas de Atiquipa, por orden taxonómico.

La familia más abundante fue Nymphalidae con el 25.7 % representado con la única especie *Vannesa carye* con 584 individuos, seguido de la familia Syrphidae con el 18.8 %

con las especies: *Allograpta* sp. 5 y *Toxomerus* sp. 1 con 107 individuos cada uno, Andrenidae con el 11 .3 % representado por su única especie *Andinopanurgus aff. Vargasllosaii* con 257 individuos y *Noctuidae* sp. 1 con 111 individuos (Figuras 10). Estos resultados difieren de los datos recopilados por Bernabé et al. (2024), quienes reportan a la familia Apidae como los mejores representados y más abundantes en las redes ecológicas de polinización en el Perú. No obstante, la familia Nymphalidae se mantienen como los más abundantes en el presente estudio, difiriendo así con Rodríguez (2024), quien reporta Shyrphidae como la más abundante para los ecosistemas del sur peruano. Cabe mencionar que, la mayoría de las investigaciones sobre polinizadores, están enfocadas a abejas (Hymenoptera), por lo que existe un sesgo y vacíos de información respecto a la importancia de otros grupos funcionales en las redes ecológicas de polinización.

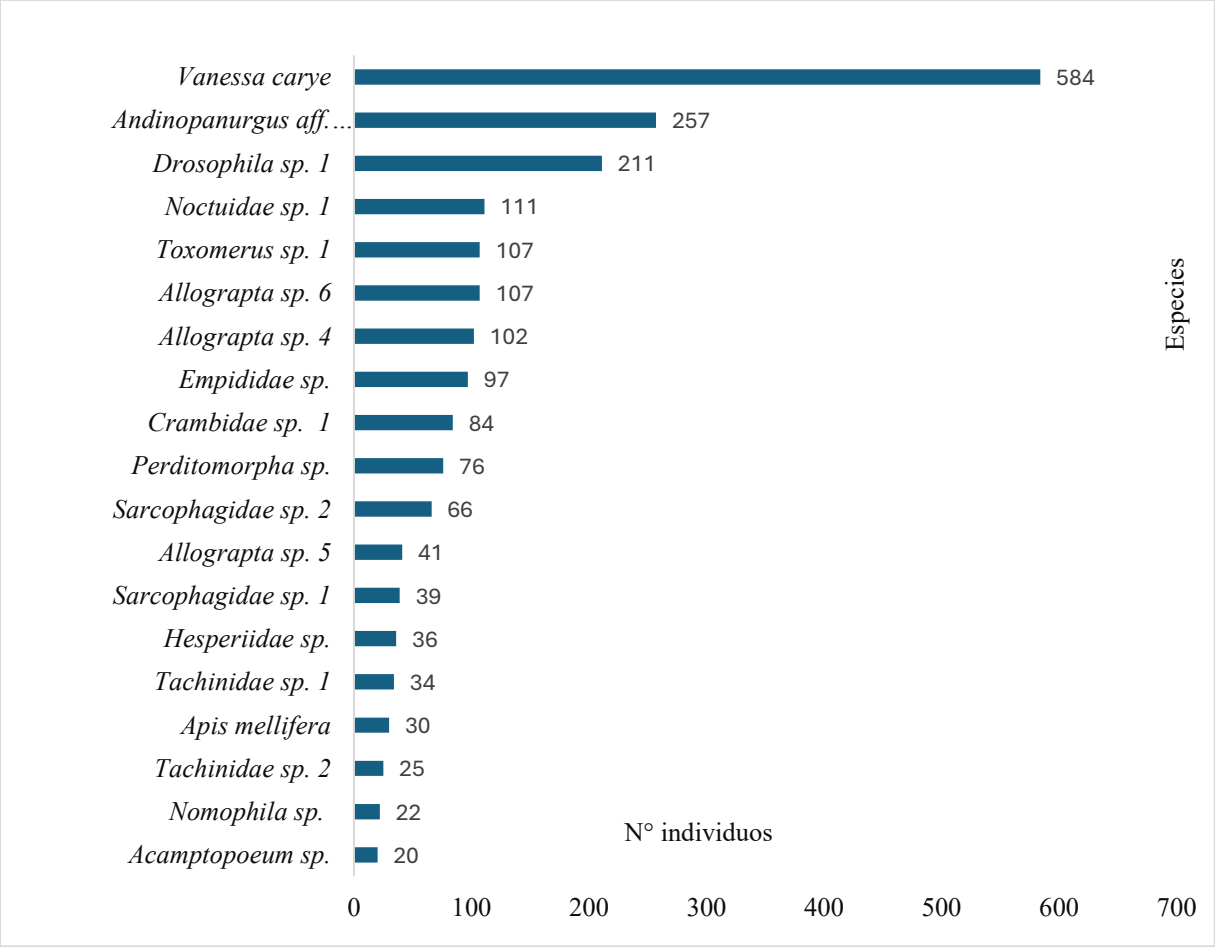


Figura 10. Número de individuos de visitantes florales registrados en el ACP Lomas de Atiquipa, por especie taxonómica

Por otro lado, los índices de Shannon-Wiener y Simpson según Moreno (2001), demuestran que la diversidad de plantas en el ecosistema de lomas de Atiquipa, se encuentra en un rango medio; reflejando un moderado número de especies y un moderado grado de dominancia (Tabla 8). Estos resultados coinciden con Arana (2019), destacando la diversidad florística de suma importancia biológica del ecosistema de lomas de Lima, a pesar de que la riqueza de flora es media, es decir, no es tan alta en comparación con otros ecosistemas en el Perú, la concentración de especies endémicas, hacen a estos ambientes de especial importancia nacional.

Los índices de Shannon-Wiener y Simpson según Moreno (2001) demuestran que la diversidad de visitantes florales en el ecosistema de lomas de Atiquipa, demuestran rango medio, coincidiendo con Rodríguez (2024) para ecosistema de valle interandino. Cabe resaltar que, solamente se consideraron para el análisis, las plantas en floración con síndromes de polinización por entomofilia, registrando interacciones de 41 especies de flora distribuidos en 18 órdenes, 23 familias y 5120 individuos, con 60 visitantes florales distribuidos en 07 órdenes, 30 familias y 2 270 individuos; por lo tanto, las estimaciones de estos, sólo reflejan solo un acercamiento a la diversidad florística y entomológica en el área de estudio (Tabla 8). La importancia del análisis de la diversidad que conforman la red recae en que, tanto su riqueza funcional y taxonómica, son variables que explican y predicen la diversidad de polinizadores; es decir, que a mayor diversidad de plantas existe mayor éxito de polinización (Rodríguez, 2024).

Tabla 8. Índices de diversidad de plantas en antesis y visitantes florales en el ACP Lomas de Atiquipa

Índice	Plantas en antesis sin interacción	Plantas en antesis con interacción	Visitantes florales
Riqueza (S observado)	57	41	60
Abundancia (N)	5298	5120	2270
Dominancia (D)	0.09	0.09	0.13
Simpson (1-D)	0.90	0.90	0.89
Shannon Wiener (H')	2.78 nits/ind.	2.64 nits/ind.	2.89 nits/ind.

4.2 Estructura de la red ecológica de polinización en el ACP lomas de Atiquipa

La red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa, estuvo caracterizado por ser una red con interacción por entomofilia, conformada por 41 especies de plantas en antesis y 60 especies de insectos, categorizados en 10 grupos funcionales (Figura 11 y Anexo 1). Estos resultados difieren con Arana (2019) quien reporta interacciones de polinización

por entomofilia (80 %) y zoofilia (20 %) para lomas de Lima, así mismo difieren con Rodriguez (2024) quien reportó interacciones por entomofilia y ornitofilia para valle interandino.

Se registró un total de 3 805 visitas florales, siendo la especie de planta con la mayor frecuencia de interacción: *Philoglossa peruviana* con el 39.4 % (39 especies de 08 grupos funcionales con 1 500 interacciones), seguido de *Palaua rhombifolia* con el 10.9 % (21 especies de 07 grupos funcionales con 413 interacciones), *Fuertesimalva peruviana* con 7.3 % (23 especies de 07 grupos funcionales con 279 interacciones) y *Nasa urens* con 6.9 % (20 especies de 06 grupos funcionales con 262 interacciones). Por otro lado, las especies de visitantes florales más frecuentes fueron: *Vanessa carye* con el 32.6 % (19 especies de plantas con 1 242 interacciones), seguido de *Andinopanurgus* aff. *Vargasllosaii* con 8.3 % (16 especies de plantas con 315 interacciones) y *Drosophila* sp. 1 con el 6,2 % (23 especies de plantas con 237 interacciones), la mayoría de las especies de plantas (56.6 %) interactuaron con menos de 5 especies de visitantes florales. Estos resultados difieren con Rodriguez (2024), para red de polinización en valle interandino se reportó 1 786 interacciones de polinización entre 46 especies de flora y 106 visitantes florales pertenecientes a 12 grupos funcionales de insectos.

Los grupos funcionales más frecuentes fueron dípteros (DIP) y mariposas (LEM) con el 37.1 % y el 37 %, respectivamente, seguido de las abejas de lengua corta (HAC) con el 11 % y polillas (LEP) con el 8.7 % del total de las visitas. Estos valores coinciden con Rodríguez (2024), reportando a dípteros como los visitantes florales más frecuentes de las redes ecológicas de polinización en valles interandinos de Arequipa.

El registro de interacción de polillas como visitantes florales es interesante mencionarlo, ya que la familia crambidae (hábito diurno), visitó flores coloridas de preferencia amarillos como *P. peruviana,* y la familia noctuidae (generalmente de hábito nocturno) visitó flores blancas o de color pálido como *N. urens*, que producen un intenso perfume atrayente que libera en las noches. El género Noctuidae fue registrado con hábito diurno en el área de estudio, este comportamiento coincide con More et al. (2022), resaltando su importancia ecológica como polinizador, debido a su tamaño corporal, longitud de la probóscide y capacidad de vuelo, revolotean cerca de las flores, tal como lo hacen los colibríes para acceder al néctar que producen las flores en grandes volúmenes, aprovechando la disponibilidad de la oferta floral.

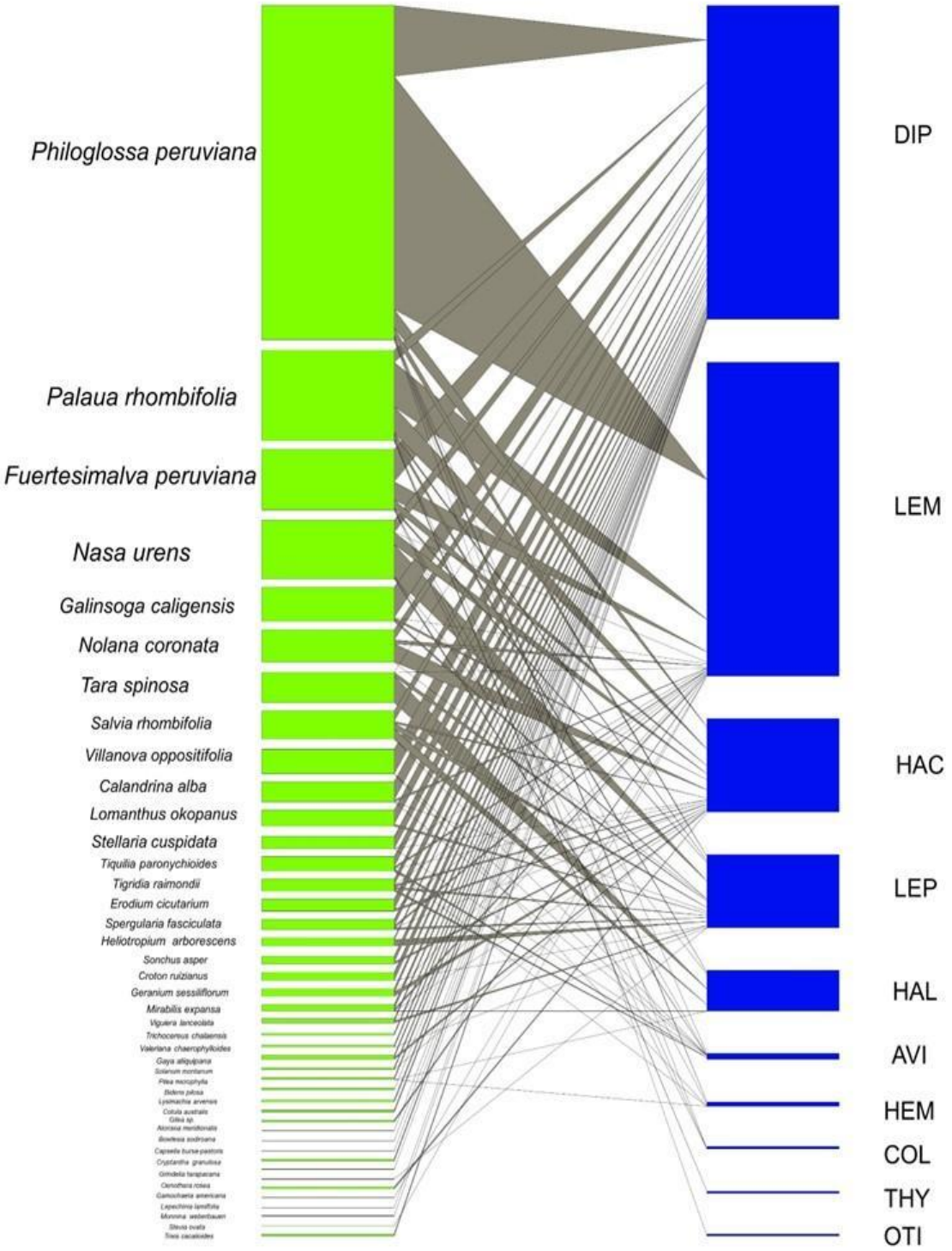


Figura 11. Red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa. A la izquierda, especies de plantas en antesis y a la derecha, los grupos taxonómicos funcionales de visitantes florales; el grosor de los enlaces representa la fuerza de interacción entre ambos niveles.

4.2.1 Métricas e índices a nivel de red ecológica de polinización

4.2.1.1 Métricas a nivel de red

El índice de conectancia fue de 0.27, el cual indica una baja conectancia; es decir, existe poca interconectividad entre especies de plantas y visitantes florales (Tabla 9). Esta red ecológica, está relacionada con especies más generalistas (Martinez -Falcón et al., 2019).

El índice de modularidad fue de 0.38, la red presenta una estructura modular aleatoria cuyas interacciones se encuentran distribuías en cuatro módulos o subconjuntos enlazados entre sí. La red ecológica de polinizadores en el ACP Lomas de Atiquipa, se comporta como una red modular claramente identificado, en algunos módulos las especies de plantas tienen rasgos florales parecidos, lo que podría explicar que compartan los mismos polinizadores. Esto puede ayudarnos a mantener la biodiversidad al preservar grupos clave de taxones desempeñando un papel fundamental en la persistencia de la red (Watts et al., 2016). En la Reserva Paisajística Sub Cuenca de Cotahuasi se registraron seis módulos, mencionando que existe una relación directa con la riqueza de especies que suman 156 y 12 grupos funcionales (Rodriguez, 2024); esto se asemeja a nuestros resultados, ya que se obtuvo cuatro módulos con 104 especies y 10 grupos funcionales, estos valores coinciden con Vizentin-Bugoni et al. (2018) para las redes tropicales, cuya mayor riqueza de especies promueve baja conectancia, pero mayor modularidad.

Asimismo, los módulos variaron en cuanto a tamaño y forma (Figura 12), se observa en el primer módulo, mariposa como *Vanessa carye* y dipteras del género Allograpta están interactuando en su gran mayoría con flores del orden Asterales, la predominancia es por *Philoglossa peruviana,* flor zigomórfica y colores vistosos.

En el segundo módulo, se agrupan mayor diversidad del orden diptera (DIP) como Sirphus, Tomomerus, Drosophila, Sarcophagidae, interactuando con flores cimosas de la familia Euphorbiaceae como *Croton ruizianus*, Solanaceae como *Solanum montanun*, Asteraceaes como *Lomanthus okopanus, Villanova oppositifolia* y *Galinsoga caligensis.* Las especies de las familia Loasaceae como *Nasa urens* y Malvaceae como *Fuertesilmalva peruviana* también han registrado interacción con polillas (LEP) del género Cambridae y Noctuidae.

En el tercer módulo, se evidencia la presencia de abejas de lengua corta (HAC)

como *Andinopanurgus aff. Vargasllosaii, Perditomorpha sp., Caenohalictus sp.* con flores del orden Malvaceae como *Palaua rhombifolia,* Solanaceae como *Nolana coronata* y Geraniaceae con *Geranium sessioiflorum.* Estas familias botánicas presentan formas florales abiertas (plato o tazón) constituye una adaptación dirigida a aumentar las posibilidades de polinización cruzada, el cual no se ajusta a un grupo específico de agentes polinizadores, sino más bien promueve la visita de un conjunto variado de polinizadores generalistas (Bernabé, 2024).

En el cuatro módulo, se evidencia la presencia de abejas larga (HAL) como *Apis mellifera, Anthophora arequipensis,* así como del orden Hemiptera como *Repipta sp.* y Coleoptera como *Calligrapha sp* con flores del orden lamiaceae *Salvia rhombifolia*. Entre los diversos visitantes florales que interactúan con las especies de asteráceas se encuentran los himenópteros, principalmente avispas y abejas de lengua corta, catalogados como sus principales polinizadores (Balbierei et al., 2022), coincidiendo con nuestros resultados.

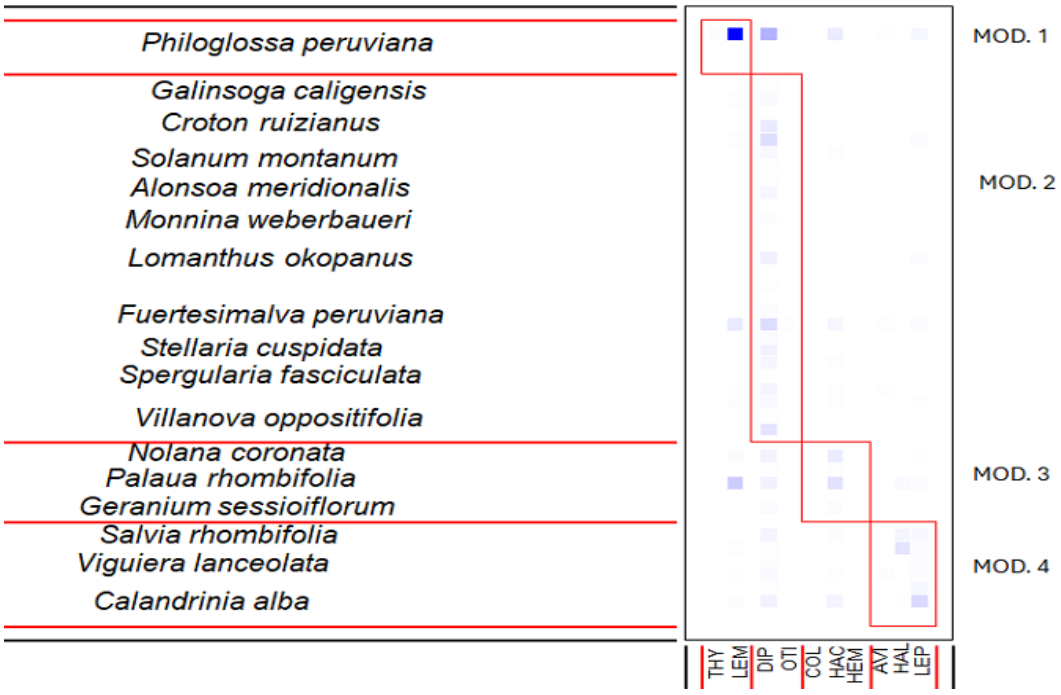


Figura 12. Modularidad de la red de interacción planta-visitante floral del ACP Lomas de Atiquipa. Se nombran los cuatro módulos encontrados en la red. En el eje vertical están las especies de plantas en antesis y en el eje horizontal, los grupos funcionales de visitantes florales: Tisanópteros (THY), mariposas (LEM), dípteros (DIP), otros insectos (OTI), coleópteros (COL), abejas lengua larga (HAL), hemípteros (HEM), avispas (HAV), abejas lengua corta (HAC), polillas (LEP).

Por otro lado, el índice de anidamiento (NODF2=38.40) (Tabla 9) describe que la red presenta también una estructura moderadamente anidada, es decir, las especies menos conectadas interactúan con un subconjunto de las especies más conectadas, dando lugar a círculos concéntricos en la distribución de interacciones junto a una organización jerárquica (Manrique, 2022). El índice de anidamiento-especialización (9.09) corrobora el anidamiento moderado de la red y da luces a un grado de especialización por parte de los visitantes florales; es decir, la distribución de interacciones de los visitantes florales está ligeramente más especializados que las plantas. El índice de especialización (H2=0.40) indica que la red de interacción es moderadamente anidada, coincidiendo con Watts et al., (2016) para las redes de polinización de los Andes peruanos, las cuales se caracterizarían por ser altamente estructuradas, moderadamente anidadas y significativamente modulares.

La robustez de la red fue alta tanto para visitantes florales (HL=0.59) como para plantas (LL=0.80) (Tabla 9), lo que significa que la red puede soportar cierto grado de eliminación de especies sin perder ninguna interacción o especie; no obstante, es más sensible a la pérdida de visitantes florales que a la de plantas. Estos resultados se asemejan a Rodríguez (2024), para el ecosistema de valle interandino en Arequipa. El índice de generalidad se encuentra en un rango medio (8.97), lo que sugiere que los nodos presentan una moderada cantidad de interacciones.

La vulnerabilidad es baja (2.50) (Tabla 9), con nodos pocos susceptibles a la extinción de especies o pérdida de interacciones ante los disturbios. Estos resultados están relacionados con la hipótesis tradicionalmente aceptada para redes planta-polinizador especializadas en respuesta a la elevada diversidad (Vizentin et al., 2018).

En conclusión, la red ecológica de polinización del ecosistema de lomas en el ACP Lomas de Atiquipa es moderadamente anidada, pero con cantidad de especies generalistas, lo que la hace robusta y poco vulnerable a la pérdida de especies e interacciones, coincidiendo con los reportes de Rodriguez (2024) para la Reserva Paisajística Sub Cuenca de Cotahuasi en Arequipa.

Tabla 9. Métricas e índices de la estructura de la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa

Índices	Valores
Conectancia	0.27
Modularidad Q	0.38
Anidamiento (NODF2)	38.40
Anidamiento - Especialización	9.09
H_2'	0.40
Robustez (HL)	0.59
Robustez (LL)	0.80
Generalidad (HL)	8.97
Vulnerabilidad (LL)	2.50

4.2.1.2 Métricas a nivel de especies

Las métricas para las especies de plantas en antesis (Anexo 2 y 3) muestran que, los mayores valores de fuerza de especie fueron para *P. peruviana* (3.34), seguido de *P. rhombifolia* (2.0), *F. peruviana* (0.96) y *N. urens* (0.70), con la mayor cantidad de interacciones y diversidad de visitantes florales, siendo de gran importancia para la red ecológica de polinización en lomas de Atiquipa.

Cumplen el rol de especies concentradoras de módulos independientes en la interacción: *P. peruviana* y lidera el módulo 1 e interactúa con mariposas, dípteros, abejas de lengua larga y abejas de lengua corta como principales visitantes florales. Del mismo modo, ocurre con *P. rhombifolia* como especie concentradora en el módulo 3 interactuando directamente con los mismos grupos funcionales que *P. peruviana.* En el módulo 02 destacan las especies *F. peruviana y N. urens* interactuando principalmente con dípteros en su gran mayoría y abejas de lengua corta. En el módulo 4 destacan *S. rhombifolia* y *C. alba* interactuando con lepidópteros y abejas de lengua larga (Figura 13).

En cuanto a la conectividad c y z de las especies de plantas (Anexo 2, Figura 13), se observa que las especies *P. peruviana* y *Spergularia fasciculata* superaron el umbral en (c), siendo plantas generalistas y desempañando el rol de especies conectoras; además, *F. peruviana* superó el umbral en ambos valores (c=0.64; z=4.66), comportándose como una especie supergeneralista, siendo, por lo tanto, un centro de red. El resto de plantas fueron especies

periféricas; sin embargo, se esperaba que las especies de plantas desempeñen principalmente el rol de centros de módulos, según Watts et al. (2016), lo cual también podría explicarse por la oferta floral de la mayoría de las especies de plantas (Aguado et al., 2019).

Por el contrario, se observaron plantas cuyo valor de fuerza es cero (Anexo 2), por lo que serían aparentemente irrelevantes para la red de interacción: *Trixis cacaleoides, Stevia ovata, Monnina weberbaueri*, *Bowlesia sodiroana,* entre otras. La disponibilidad del recurso floral en antesis es importante para el mantenimiento de la diversidad de polinizadores, vinculado la polinización efectiva (Pantoja et al., 2014).

El índice de asimetría de las plantas en floración (Anexo 2) muestra que solo dos especies de plantas afectan a sus visitantes florales más de lo que ellos las afectan: *P. peruviana* (0.29) y *P. rhombifolia* (0.14); esto se le atribuye a su elevada frecuencia de interacción y a su función como concentradoras de módulos. Por otro lado, según el índice de especialización de plantas (d'), se registraron dos especies especialistas: *T. spinosa* (0.67) visitada por *Apis mellifera* y *Noctuidae* sp. 1, y Heliotropium. (0.44) visitado por *Drosophila* sp. 1 y *Noctuidae* sp. 2. El resto de las especies de plantas que integran la red, serían generalistas.

Al analizar los roles de las especies de visitantes florales, mediante los valores de conectividad entre módulos (c) y dentro de los módulos (z), se observó que, ningún grupo funcional superó el umbral de conectividad entre módulos, lo que significa que presentan más conexiones dentro de su módulo que fuera de él, mostrando un comportamiento generalista y desempeñando el rol de especies periféricas (Figura 13). Esto difiere con los resultados de Rodríguez (2024), que describió a las abejas de lengua corta (HAC) con más conexiones fuera de su módulo que dentro de él, con el rol de especies conectoras.

El comportamiento como especies periféricas de los grupos funcionales en el estudio difiere con lo descrito por Watts et al. (2016), reportan a las abejas lengua larga *Apis mellifera* y *Bombus funebris* como centros de módulo en las redes de polinización de los valles andinos. Esto podría explicarse por la baja abundancia de algunos grupos como thysanopteros, Coleopteros, hemípteros y otros insectos registrados, así como la baja abundancia de las especies de plantas que visitaron en el área de estudio. Por otro lado, el comportamiento generalista de *Vanessa carye* (LEM) podría ser resultado de la elevada oferta del recurso floral (*P. peruviana)*;

ya este visitante alcanzó un elevado valor de conectividad entre módulos (c=0.56) y se le observó interactuando con otras especies de plantas (*T. spinosa, Nolana coronata*, entre otras) cuya oferta floral fue baja, lo cual reduce la frecuencia de interacción y favorece la especialización por el recurso floral y mayor flexibilidad a cambios en la oferta de flores gracias a su capacidad de vuelo que les permite encontrar recursos según su disponibilidad (Aguado et al., 2019).

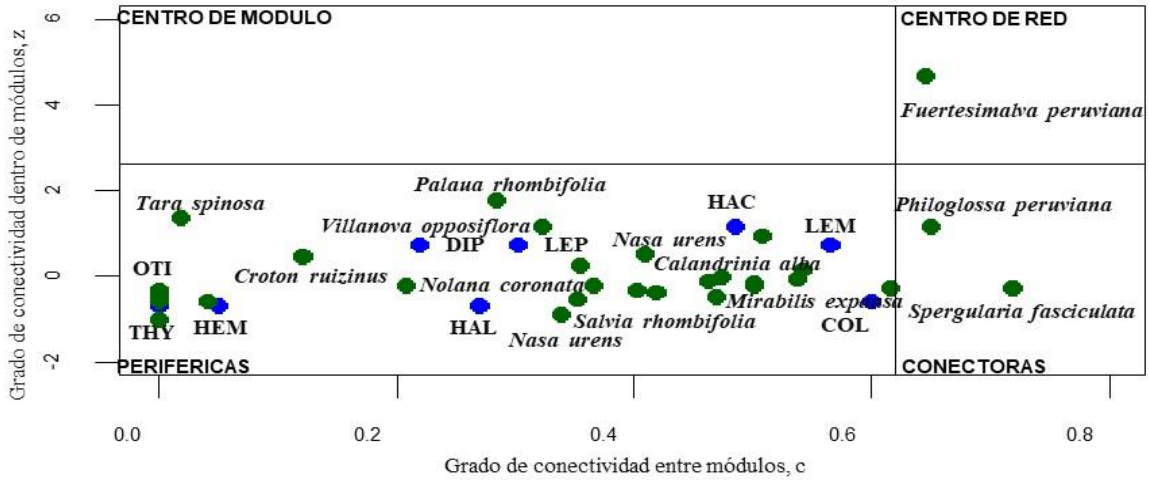


Figura 13. Diagrama de dispersión de los roles de los grupos funcionales de visitantes florales (punto azul) y especies de plantas (punto verde) que conforman la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa. Los coeficientes c y z indican el grado de conectividad entre módulos y dentro de los módulos. Las líneas señalan los umbrles de conectividad que determinan los roles topológicos: Especies periféricas, especies conectoras, especies centro de módulo y centro de red.

Las métricas para los grupos funcionales de visitantes florales (Tabla 10) mostraron que los dípteros fueron el grupo con la mayor fuerza de especie (27.70), diferenciándose ampliamente del resto de grupos funcionales, lo que indicaría que éste es el grupo más relevante para la red, seguido de las mariposas (4.43) y polillas (4.05). Estos resultados difieren con Rodríguez (2024), quien reporta a las abejas de lengua corta con mayor fuerza de especie para la red de polinización del valle matorral andino. Sin embargo, Barahona et al. 2022, indican que los dípteros son muy activas y capaces de desarrollar un vuelo frenético cuyo comportamiento genera la necesidad de ingerir néctar para proveerse de la energía necesaria para sostener este comportamiento activo; por ello, las moscas frecuentan flores, siendo potencialmente polinizadores en muchos ecosistemas, el resto de los grupos funcionales presentó valores relativamente similares de fuerza.

El índice de asimetría muestra que los grupos que más afectan a las especies de plantas con las que interactúan son dípteros (0.70), lo que se explica por la elevada fuerza de este grupo. Tanto el índice de fuerza de especie como el índice de asimetría mostraron que las avispas, hemípteros y coleópteros fueron los grupos de visitadores menos relevantes para la red, lo cual difiere con Suarez et al. (2021), quienes reportaron a la familia Ichneumonidae con mayores interacciones en lomas por debajo de los 1 000 m.s.n.m.

Tabla 10. Métricas e índices para los grupos funcionales de visitantes florales de la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa

Grupo Funcional	Fuerza de especie	Asimetría (Push-pull)	PSI	d'	c	z
DIP - dípteros	27.70	0.70	0.59	0.27	0.22	0.70
HAC- abejas leng.corta	3.98	0.16	0.26	0.26	0.48	1.15
LEM - mariposas	4.43	0.19	0.62	0.45	0.56	0.70
LEP - polillas	4.05	0.17	0.42	0.45	0.30	0.70
THY - tisanópteros	0.00	-0.99	0.00	0.20	0.00	-0.57
COL - coleópteros	0.01	-0.33	0.00	0.03	0.06	-0.57
HAL- abejas leng.larga	1.38	0.06	0.60	0.73	0.26	-0.70
HAV- avispas	0.27	-0.08	0.05	0.22	0.54	NA
OTI - otros insectos	0.00	-0.99	0.00	0.08	0.00	-0.70
HEM - hemípteros	1.13	0.03	0.39	0.43	0.04	-0.70

En cuanto al índice de servicio de polinización [PSI] de los visitantes florales, le corresponde a *Vanessa carye* (0.62), *Apis mellifera, Acamptopoeum* sp. (0.60), *Allograpta* sp. 4 y *Allograpta* sp. 5 (0.59, cada uno) con la alta probabilidad de transferencia de polen de la especie de planta con la que interactúa (*P. peruviana, T. spinosa, N. urens, P. rhombifolia, S. rhombifolia*, entre otras), es decir, existe una alta probabilidad de polinización efectiva (Tabla 10). El siguiente PSI más elevado corresponde a polillas (0.42) y está respaldado por diferentes estudios que señalan a estos grupos como polinizadores altamente eficientes (Sosenski y Domínguez, 2018; Balbieri et al., 2022; Barahona et al., 2022; More et al., 2022).

4.3 Estado de conservación del ACP Lomas de Atiquipa

4.3.1 Especies indicadoras o claves de la red ecológica de polinización

Las investigaciones de Aguado et al. (2019) muestran que las interacciones entre especies que forman las redes ecológicas son de vital importancia, dado que influencian la capacidad de coexistencia de las especies y dan estructura y estabilidad a las comunidades

biológicas en un ecosistema, pudiendo denominarlas como “especies claves” y su pérdida, podría causar la ruptura de las múltiples interacciones en toda la red. En la red ecológica de polinización del ACP Lomas de Atiquipa, se encontró que el 10% de especies que la conforman, son especies clave, estando representadas por siete especies de plantas y dos grupos funcionales de visitantes florales con 08 especies indicadoras. Estos resultados difieren con Rodríguez (2024), reportó 05 especies de plantas y 01 grupo funcional de visitante floral, con 09 especies indicadoras para la red de valle interandino.

La especie más importante de la red fue *Fuertesimalva peruviana,* al desempeñarse como centro de red, es decir, concentra las interacciones de su módulo y mantiene la conexión de los módulos de la red. Se trata de una especie generalista de la familia malvaceae, abundante en el área de estudio y de elevada oferta floral, además de tener flores fácilmente accesibles y vistosas (Talavera et al., 2017); lo que explicaría su elevada frecuencia de visitas y diversidad de visitantes florales. Esto difiere de las redes ecológicas en valles interandinos, ya que Rodríguez (2024) encontró a la especie *Minthostachys mollis* (Lamiaceae) como centro de la red. En el Perú, *F. peruviana* es considerada como nativa para ecosistemas de lomas y no registra amenazas de extinción, sin embargo, la degradación y cambio de uso de suelos podría afectar sus poblaciones.

Otras especies indicadoras para la red ecológica en el ACP Lomas de Atiquipa, fueron las especies conectoras: *Philoglossa peruviana* (Asteraceae) y *Spergularia fasciculata* (Caryophyllaceae); que desempeñan el rol de especies conectoras de módulos de interacción y se presume que el retiro de estas especies de la red, provocaría su inestabilidad y ruptura (Schleuning, 2016). Consideradas como especies nativas para ecosistemas de lomas, con diferentes rasgos florales pero mostraron comportamiento generalista, con similar proporción de interacciones dentro y fuera de sus módulos. La familia Asteraceae ha sido reportado como conectora en las redes de valles andinos (Watts et al., 2016), coincidiendo con nuestros resultados. Las especies *Palaua rhombifolia* (palaua), *Nasa urens* (ortiga negra), *Tara spinosa* (tara) y *Nolana coronata* (Nolana), no desempeñaron un rol clave, pero son de importancia para la conservación de la red ya que mostraron elevada fuerza de interacción.

Por otro lado, ningún grupo funcional de visitantes florales desempeñó el papel de centro de red, ya que el 100 % de los grupos se comportaron como especies periféricas con hábitos

generalistas. Estos resultados difieren ampliamente de Watts et al. (2016) quienes reportan a *Apis mellifera* como centro de red de la mayoría de las redes de polinización de los valles interandinos. Por otra parte, los grupos que presentaron elevada fuerza de especie y el servicio de polinización eficiente fueron dípteros y mariposas. Además, se podrían considerar a las especies de dípteros *Drosophila* sp. 1*, Sarcophagidae* sp. 1, *Allograpta* sp. 2, *Allograpta* sp. 4, *Toxomerus* sp. 1, *Allograpta* sp. 5 y a las especies de mariposas Hesperiidae., *Vanessa carye;* como especies indicadoras, ya que fueron los principales visitantes de las especies conectoras y centro de red. Estos resultados difieren con Rodriguez (2024), quien reportó al género Xilocopa (abeja de lengua larga) como polinizador eficiente para valle interandino.

Por lo tanto, los planes de conservación y manejo sostenible en el ACP Lomas de Atiquipa, deben dirigirse a estas especies clave para mantener la estabilidad de la red ecológica de polinización en el ecosistema de lomas.

4.3.2 Especies potencialmente invasoras en la red ecológica de polinización

Las especies potencialmente invasoras pueden producir impactos negativos en la red ecológica de polinización. Una de las más conocidas es *Apis mellifera* acaparando los recursos florales, desplazando competitivamente a polinizadores nativos, perturbando su alimentación y alterando la reproducción de plantas nativas o cultivadas (Balbieri et al., 2022). Como ya se mencionó anteriormente, en los estudios de Watts et al. (2016), dicha especie invasora se comporta como un visitante floral de elevada frecuencia en la red de polinización de valles interandinos; en contraste, en la red ecológica de polinización en lomas de Atiquipa, se comporta como una especie generalista con mayor fuerza de interacción en dos especies (*T*. spinosa y *S. rhombifolia*), sin embargo, no cumple ningún papel fundamental ni es una especie clave en la red.

Al analizar los índices y métricas estructurales de la red, con y sin la presencia de *A. mellifera* (Tabla 11), se obtuvo que los valores varían muy poco ante la extracción de esta especie de la red, registrándose un ligero incremento de la generalidad de plantas, ligera disminución de la especialización y modularidad, leve aumento de la vulnerabilidad de insectos; la conectancia y robustez de la red permanecieron invariables. Por lo tanto, la topología de la red se conservaría aún después de la eliminación esta especie. Al verificar la variación en la frecuencia de visitas florales recibidas por las especies de plantas en antesis, si se extrajera a *A.*

mellifera de la red, se observa que la especie más afectadas sería *T. spinosa*, y *S. rhombifolia.* Por otra parte, los visitantes florales que reducirían la competencia por estos recursos florales serían las mariposas, dipteras y polillas; el resto de las especies de la red se ven mínimamente o no afectadas en la ausencia de esta especie potencialmente invasora.

Los resultados, demostrarían que la presencia de *A. mellifera* altera de forma mínima y casi imperceptible a la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa y no tendría repercusión en la estructura de la red, coincidiendo con Rodríguez (2024) para la red de polinización en la Reserva Paisajística Subcuenca de Cotahuasi, un ecosistema poco intervenido y se encuentra protegido legalmente por el Estado, al igual que el ACP Lomas de Atiquipa. Cabe mencionar que Watts et al. (2016) ha reportado que *A. mellifera* concentra las interacciones, reduciendo la diversidad de visitantes florales nativos, ejerciendo presión por competencia sobre ellos, llegando a desplazarlos en las redes de polinización del Valle Sagrado.

A. mellifera es considerado como polinizador importante en muchas partes del mundo, incluso donde es invasor. Sin embargo, la evidencia muestra que esta especie puede tener efectos negativos sobre las poblaciones de abejas y plantas nativas, a pesar de transportar polen de una flor a otra, la cantidad y el lugar dónde lo deposita no necesariamente es el más adecuado para que la planta pueda maximizar la producción de semillas, e incluso pueden ser robadoras de néctar, es decir que toman el néctar sin hacer contacto con el androceo y gineceo de la flor, dejando muy poca disponibilidad de polen en las plantas visitadas forzando a los polinizadores efectivos a viajar más lejos en busca de recurso floral (Santos et al., 2012; Baena et al., 2022).

Por otro lado, la presencia de esta especie potencialmente invasora está ligada a la propagación de patógenos que afectan y pueden llegar a mermar las poblaciones de polinizadores nativos. Se ha comprobado que la situación sanitaria de las abejas en México ha empeorado en los últimos años, incrementándose la tasa de mortalidad por infección parasitaria, cuya causa principal se atribuye a la rápida implementación de colmenas rústicas de *A. mellifera* para la actividad apícola, sin ningún tipo de control (Baena et al., 2022). En este sentido, las poblaciones de *A. mellifera*, deben siempre ser controladas en los espacios protegidos como en Atiquipa.

La agricultura, ganadería y pesquería son las principales actividades económicas para las comunidades Campesina de Atiquipa y Yauca (GOREA, 2023); y si bien, *A. mellifera* es

un polinizador de importancia para algunos cultivos, su baja eficiencia de polinización podría afectar, en el largo plazo, a las plantas cultivadas en la zona y sería un duro golpe a la producción agrícola y la economía local. La actividad apícola es una actividad económica practicada recientemente en el distrito de Atiquipa; sin embargo, la producción de miel de abeja y productos derivados es a nivel artesanal (GOREA, 2023). Esto explicaría la baja presencia de *A. mellifera* y su poco aporte a la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa, sugiriendo que la especie se encuentra todavía en proceso de integración al ecosistema, un momento ideal para la aplicación de medidas de manejo y control.

En este contexto, los estudios sobre redes ecológicas de polinización son importantes porque ayudan a comprender de manera más integral el papel de *A. mellífera* como visitante floral de distintas especies y su posible interacción con otros polinizadores. Por lo tanto, la introducción de *A. mellifera* sin medidas de control representaría una amenaza latente para la conservación de las redes ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa.

Tabla 11. Índices de la red ecológica con y sin la presencia de *Apis mellifera*

Índices	**Red completa**	**Red sin *Apis mellifera***
Conectancia	0.27	0.27
Modularidad Q	0.38	0.21
Anidamiento (NODF2)	38.40	38.50
Anidamiento - Especialización	9.09	9.03
H_2'	0.40	0.37
Robustez (HL)	0.59	0.59
Robustez (LL)	0.80	0.80
Generalidad (HL)	8.97	9.16
Vulnerabilidad (LL)	2.50	2.53

4.3.3 Especies endémicas y amenazadas en la red ecológica de polinización

Las especies de plantas endémicas y categorizadas que conforman la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa (Tabla 12), están representadas por 10 especies, de los cuales ocho especies son endémicas para el Perú y cuatro especie se encuentran en alguna categorización de amenaza para la legislación peruana: *Lomanthus okopanus* en peligro crítico (CR), *Gaya atiquipana* (Gaya) en peligro (EN), *Tara spinosa* (Tara) como vulnerable (VU) y *Mirabilis expansa* (Mirabilis) como casi amenazado (NT). Estos resultados difieren con

Rodríguez (2024), reportó 07 especies de flora endémica y 01 especie en casi amenazada: *Mutisia acuminata.*

Tabla 12. Especies de plantas endémicas y categorizadas amenazadas que conforman la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa

Familia	Especie	D.S. Nº 043 – 2006 – AG	Endémica
Iridaceae	*Tigridia raimondii*	-	Si
Asteraceae	*Lomanthus okopanus*	CR	Si
Asteraceae	*Philoglossa peruviana*	-	Si
Malvaceae	*Gaya atiquipana*	EN	Si
Montiaceae	*Calandrinia alba*	-	Si
Fabaceae	*Tara spinosa*	VU	No
Asteraceae	*Galinsoga caligensis*	-	Si
Nyctaginaceae	*Mirabilis expansa*	NT	No
Solanaceae	*Nolana coronata*	-	Si
Malvaceae	*Palaua rhombifolia*	-	Si

Cabe mencionar que, seis de dichas especies fueron de elevada relevancia para los módulos de la red: *P. peruviana*, *T. spinosa, P. rhombifolia, N. coronata, C. alba* y *M. expansa.* Además, la presencia de *Tara spinosa* "tara" es de gran importancia ecológica y económica en lomas de Atiquipa, porque cumple un rol primordial para el funcionamiento del ecosistema, por ser el principal responsable de la captación de agua de neblina, que luego es utilizada por gran parte de las comunidades campesinas aledañas y las vainas de la tara que es utilizado para la industria farmacéutica e industrial (Talavera et al., 2017).

Dada la restringida distribución, vulnerabilidad, amenazas y potencialidad que presentan estas especies, deben ser consideradas también como especies indicadoras para la conservación la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa.

4.3.4 Valorización del estado de conservación del ACP Lomas de Atiquipa

Si empleamos los criterios de ponderación para identificar ecosistemas frágiles del SERFOR (R.D.E N° 287 – 2018 – MINAGRI-SERFOR-DE), asumiríamos que según la variable "Relevancia biológica de flora y fauna silvestre" (Tablas 13, 14), el estado de conservación del ecosistema del ACP Lomas de Atiquipa, sería MUY ALTO con la máxima puntuación en la escala de ponderación, 4 puntos.

Tabla 13. Criterios para identificar ecosistemas frágiles del SERFOR

Variable	Criterio	Resultados	Puntuación	Valor asignado
Relevancia biológica de flora y fauna silvestre	Con una mayor riqueza de especies de flora y fauna silvestre nativa en relación con su entorno. Con presencia o evidencia de al menos cinco especies amenazadas y/o endémicas.	Existen 08 especies endémicas (Tabla 13)	04	Muy Alto

Tabla 14. Escala de valoración, relevancia biológica de flora y fauna silvestre (SERFOR, 2018)

Escala de Valoración	
Muy Alto:	**3.4 - 4.0**
Alto:	**2.4 - 3.3**
Medio:	1.4 - 2.3
Bajo:	1.0 - 1.3

Sin embargo, la variable "Relevancia biológica de flora y fauna silvestre", solamente emplea el criterio "presencia de especies amenazadas y/o endémicas" para ponderar el valor de conservación del ecosistema; por lo que, basados en los resultados de índices o métricas obtenidos para caracterizar la red ecológica de polinización del ACP Lomas de Atiquipa, se elaboró la matriz de ponderación con 09 criterios de evaluación (Tabla 15).

El estado de conservación del ecosistema del ACP Lomas de Atiquipa, sería ALTO con la puntuación en la escala de ponderación promedio de 2.89 puntos, estos resultados coinciden con los registros del SERNANP (2022), indicando el 99.25 % del ecosistema de lomas se encontraba sin afectación ambiental hasta el año 2021 y un 0.75 % estaba siendo impactado por presión antrópica. El sobrepastoreo por vacas y cabras ha degradado grandes áreas de lomas, produciendo desertificación y poniendo en peligro de extinción a muchas especies. En lomas de Atiquipa, la tala indiscriminada de especies arbóreas como *T. spinosa* (tara), *Myrcianthes ferreyrae* (arrayán), que son importantes porque captan el agua de neblina y mantienen el equilibrio de todo el ecosistema de lomas, está aumentando. Añadido a esto, la disminución de la disponibilidad de agua y el cambio climático, son las principales amenazas en el ecosistema de lomas de Atiquipa (GOREA, 2023). Miranda (2018) da a conocer el proyecto "Conservación y

Uso Sostenible de los Ecosistemas de las lomas de Atiquipa", por gestión de la Comunidad Campesina de Atiquipa desde el año 2012 con colaboración de instituciones locales y apoyo económico de fuentes cooperantes; indica también, que la población local manifiesta valor de contingencia ALTO por el ACP Lomas de Atiquipa, ya que el 95 % de la población, relaciona el verdor en las lomas con la tranquilidad, no sólo porque se escucha a la naturaleza, sino que también, esta asociada a la presencia de lluvias, lo que asegura una buena cosecha, y por ende, la supervivencia de los comuneros y sus ganados; por lo tanto, los comuneros sienten hacia las lomas, amor, cariño y nostalgia.

Tabla 15. Criterios de ponderación para determinar el estado de conservación del ACP Lomas de Atiquipa, propuesta de estudio

Variable	Criterios	Resultados	Puntuación	Valor asignado
Relevancia biológica de flora y fauna silvestre	Con un mayor índice de diversidad de especies de flora y fauna silvestre en relación a su entorno	2.64, 2.89	03	Alto
	Red ecológica con valores altos de modularidad (0 a 1)	0.38	02	Medio
	Red ecológica con valores altos de conectancia (0 a 1)	0.27	02	Medio
	Red ecológica con valores altos de anidamiento (0 a 100)	38.40	02	Medio
	Red ecológica con valores altos de robustez (0 a 1)	0.59, 0.80	03	Alto
	Red ecológica con valores altos de especialización	0.40	02	Medio
	Red ecológica con valores bajos de vulnerabilidad	2.50	04	Muy Alto
	Red ecológica con presencia o evidencia de al menos cinco especies con valores alto de fuerza de interacción	Existen 05 especies	04	Muy Alto
	Red ecológica con presencia o evidencia de al menos cinco especies con valores alto de servicio de polinización	Existen 05 especies	04	Muy Alto
Valoración del estado de conservación del ACP Lomas de Atiquipa		**26 puntos**	**Promedio: 2.89**	**ALTO**

4.4 Estrategias de gestión para la conservación de especies indicadoras en el ACP Lomas de Atiquipa

Con el conocimiento de la estructura de la red ecológica de polinización y especies indicadores o claves para la red, sería posible monitorear el estado de conservación del ecosistema (Soares et al., 2017; Manrique, 2022), y plantear en los instrumentos de gestión del área natural protegida, programas de aprovechamiento sostenible, conservación y monitoreo a corto, mediano y largo plazo. En este contexto, la administración del ACP Lomas de Atiquipa cuenta el Plan de Gestión 2021 – 2026 (SERNANP, 2022), instrumento de gestión que orienta la hoja de ruta para el cumplimiento de sus objetivos de conservación, enfocados en el aprovechamiento sostenible de recursos forestales a través de la reforestación; así como, la conservación de la población de flora y fauna endémicas y/o amenazadas. Los resultados obtenidos en la presente investigación, podría ser considerado como propuesta de línea base preliminar acerca del estado de conservación del ACP Lomas de Atiquipa; también, se propone como estrategia de gestión, tres pautas o lineamientos para monitorear la conservación de especies indicadoras en el Área de Conservación Privada Lomas de Atiquipa (Tabla 16):

PAUTA 1: Manejo y aprovechamiento de la especie indicadora de la red: *Tara spinosa*

1.1. Realizar una línea base y zonificación de áreas priorizadas para el aprovechamiento de *tara* (hectáreas, beneficiarios y volumen máximo de extracción anual); definir microzonas de monitoreo geoespacial para evaluar impactos antrópicos (% de afectación y sobreuso del recurso); y establecer áreas de recuperación (hectáreas).

1.2. La comunidad de Atiquipa gestiona, en representación de los administrados, la autorización de extracción mediante la Declaración de Manejo, conforme a los lineamientos del SERFOR para el aprovechamiento sostenible de productos forestales no maderables.

1.3. Los administrados deberán firmar un permiso de ingreso con la Comunidad de Atiquipa, sustentado en un informe técnico sobre aprovechamiento sostenible; el permiso tendrá vigencia anual renovable.

1.4. El uso no autorizado del recurso será considerado infracción, con decomiso y sanciones correspondientes, debiendo establecerse un Manual de Infracciones.

1.5. La cosecha de *tara* se realizará una vez al año, entre abril y julio, evitando días de lluvia intensa; cada usuario deberá registrar su volumen en la caseta administrativa del ACP.

1.6. Implementar actividades de reforestación de esp. Indicadora Tara, dentro de la Zona de Uso Limitado [ZUL]. En el año 2021 se contaba con una Línea Base de 331 ha.

Las acciones serán realizadas en la ZUL, teniendo como actores a CA, Administración del ACP Lomas de Atiquipa, Municipalidad Distrital de Atiquipa [MDA], SERFOR y Comité de Gestión del ACP Lomas de Atiquipa [CG].

PAUTA 2: Conservación y protección de especies indicadoras de la red

2.1. Efectuar la microzonificación de corredores de interacciones ecológicas de polinización y zonificar unidades geoespaciales de monitoreo para evaluar impactos antrópicos (% de afectación).

2.2. Establecer convenios con universidades para monitorear la diversidad de flora silvestre y sus visitantes florales, incluyendo especies endémicas o amenazadas, según la metodología propuesta.

2.3. Realizar la puesta en valor del corredor de interacciones ecológicas de polinización para el desarrollo turísticos, investigación y educación ambiental (Plan de uso turístico, Plan de investigación y Plan de Educación Ambiental).

2.4. Reforestación de esp. Indicadora Tara dentro de la Zona de Uso Múltiple [ZUM]. En el año 2021 se contaba con una Línea Base de 1 779 ha.

PAUTA 3: Control y vigilancia de especies potencialmente invasoras de la red

3.1. Levantar la línea base de la actividad ganadera y pastoril, zonificar unidades de monitoreo para evaluar impactos antrópicos (pérdida de hábitat, desplazamiento por especies exóticas y % de afectación) y establecer acuerdos de reordenamiento con la población.

3.2. Elaborar Línea de Base sobre N° de colmenas silvestres y apiarios activos

(comunales o privados), establecer planes de manejo apícola y formalizar a los apicultores.

3.3. Monitorear la frecuencia de *Apis mellifera* frente a abejas nativas y otros visitantes florales, identificando áreas de mayor interacción y flora clave según la metodología propuesta.

3.4. Realizar patrullajes especiales con informes estandarizados que incluyan datos básicos y sucesos relevantes; todos los eventos y recorridos deberán registrarse con georreferenciación y evidencia fotográfica.

3.5. Implementar Reglamento Interno de Sanciones, que contemple decomisos, amonestaciones y otras medidas.

Las Pautas 2 y 3, serán realizados en la Zona de Uso Múltiple [ZUM] teniendo como actores a la CA, Administración del ACP Lomas de Atiquipa, MDA, SERFOR, Universidades, Servicio Nacional de Sanidad Agraria de Arequipa, Comité de Gestión del ACP, Organismos No Gubernamentales [ONGs], MINAM, Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo de Arequipa, Instituciones Educativas y CG del ACP Lomas de Atiquipa.

Tabla 16. Principales pautas para para encaminar acciones de conservación en el ACP Lomas de Atiquipa, propuesta de estudio

Lineamientos	***Actores***	***Zonificación***	***Responsables***
I.- Pautas para el manejo y aprovechamiento de especies indicadoras de la red: Tara spinosa			
1.1. Realizar una línea base y zonificación de áreas priorizadas para el aprovechamiento de *tara* (hectáreas, beneficiarios y volumen máximo de extracción anual); definir microzonas de monitoreo geoespacial para evaluar impactos antrópicos (% de afectación y sobreuso del recurso); y establecer áreas de recuperación (hectáreas)	Comunidad de Atiquipa, Administración del ACP, Municipalidad Distrital de Atiquipa	Zona de Uso Limitado (ZUL)	Administración del ACP
1.2. La comunidad de Atiquipa gestiona, en representación de los administrados, la autorización de extracción mediante la Declaración de	Administrados, Comunidad de Atiquipa, Administración		La comunidad de Atiquipa

Manejo, conforme a los lineamientos del SERFOR para el aprovechamiento sostenible de productos forestales no maderables.	del ACP, SERFOR		
1.3. Los administrados deberán firmar un permiso de ingreso con la Comunidad de Atiquipa, sustentado en un informe técnico sobre aprovechamiento sostenible; el permiso tendrá vigencia anual renovable.	Comunidad de Atiquipa		Comité de Vigilancia de la Comunidad de Atiquipa
1.4. El uso no autorizado del recurso será considerado infracción, con decomiso y sanciones correspondientes, debiendo establecerse un Manual de Infracciones.	Administrados, Comunidad de Atiquipa, Administración del ACP, SERFOR		Comité de Vigilancia de la Comunidad de Atiquipa
1.5. La cosecha de *tara* se realizará una vez al año, entre abril y julio, evitando días de lluvia intensa; cada usuario deberá registrar su volumen en la caseta administrativa del ACP.	Administración del ACP		Comité de control y vigilancia de la comunidad
1.6. Implementar actividades de reforestación de esp. Indicadora Tara, dentro de la Zona de Uso Limitado [ZUL]. En el año 2021 se contaba con una Línea Base de 331 ha.	Administrados, Comunidad de Atiquipa, Administración del ACP, ONGs, I.E.		Comité de control y vigilancia de la comunidad
II.- Pautas para la conservación y protección de especies indicadoras de la red			
2.1. Efectuar la microzonificación de corredores de interacciones ecológicas de polinización y zonificar unidades geoespaciales de monitoreo para evaluar impactos antrópicos (% de afectación).	Administración del ACP, Universidades, ONGs, MINAM	ZUL y ZUM	Administración del ACP
2.2. Establecer convenios con universidades para monitorear la diversidad de flora silvestre y sus visitantes florales, incluyendo especies endémicas o amenazadas, según la metodología propuesta.	Administración del ACP, Universidades, ONGs, MINAM		Comité de Gestión del ACP
2.3. Realizar la puesta en valor del corredor de interacciones ecológicas de polinización para el desarrollo turísticos, investigación y educación ambiental (Plan de uso turístico, Plan	Administración del ACP, DIRCETUR, ONGs		Comité de Gestión del ACP

de investigación y Plan de Educación Ambiental).			
2.4. Reforestación de esp. Indicadora Tara dentro de la Zona de Uso Múltiple [ZUM]. En el año 2021 se contaba con una Línea Base de 1 779 ha.	Administración del ACP, Comunidad Campesina, ONGs, SERFOR, I.E.		Comité de control y vigilancia de la comunidad
III.- Pautas para el control y vigilancia de especies potencialmente invasoras de la red			
3.1. Levantar la línea base de la actividad ganadera y pastoril, zonificar unidades de monitoreo para evaluar impactos antrópicos (pérdida de hábitat, desplazamiento por especies exóticas y % de afectación) y establecer acuerdos de reordenamiento con la población.	Administración del ACP, Municipalidad Distrital de Atiquipa	ZUM	Administración del ACP
3.2. Elaborar Línea de Base sobre N° de colmenas silvestres y apiarios activos (comunales o privados), establecer planes de manejo apícola y formalizar a los apicultores.	Administración del ACP, Universidades, SENASA		Comité de Gestión del ACP
3.3. Monitorear la frecuencia de *Apis mellifera* frente a abejas nativas y otros visitantes florales, identificando áreas de mayor interacción y flora clave según la metodología propuesta.	Comunidad de Atiquipa, Administración del ACP, Universidades, SENASA		Universidad Nacional San Agustín
3.4. Realizar patrullajes especiales con informes estandarizados que incluyan datos básicos y sucesos relevantes; todos los eventos y recorridos deberán registrarse con georreferenciación y evidencia fotográfica.			Comité de Gestión del ACP
3.5. Implementar Reglamento Interno de Sanciones, que contemple decomisos, amonestaciones y otras medidas.			

IV. CONCLUSIONES

- La diversidad florística asociada a las parcelas de interacción en el Área de Conservación Privada Lomas de Atiquipa está conformada por 57 especies distribuidas en 18 órdenes y 27 familias, la familia más diversa es la Asteraceae y *Philoglossa peruviana* como especie dominante, la abundancia alcanzó 5 298 individuos. En cuanto a visitantes florales, se registraron 60 especies de insectos distribuidas en 7 órdenes y 30 familias con predominancia de Diptera, Hymenoptera y Lepidoptera y suman 2 270 individuos. La diversidad en el ecosistema de lomas, resultó moderada tanto en flora como en visitantes florales.

- La red ecológica de polinización en el ACP lomas de Atiquipa, estuvo conformada por 3 085 interacciones entre 41 especies de plantas y 60 especies de visitantes florales, organizados en 10 grupos funcionales (Diptera, Mariposa, Polilla, Abeja Lengua Corta, Abeja Lengua larga, Avispa, Coleoptera, Hemiptera, Thysanoptera y Otros Insectos). Su estructura fue moderadamente anidada, con predominio de especies generalistas, lo que les confiere alta robustez y baja vulnerabilidad frente a posibles perturbaciones.

- El ecosistema de lomas presenta un estado de conservación alto (Valor Biológico=2.89), sustentado en la relevancia de especies indicadoras como *Fuertesimalva peruviana* (centro de red), *Philoglossa peruviana* y *Spergularia fasciculata* (conectoras de módulos), además de especies con alta fuerza de interacción (*Palaua rhombifolia*, *Nasa urens*, *Tara spinosa y Nolana coronata*). La presencia de 8 especies endémicas y 4 amenazadas refuerza su valor biológico. Se identificó a *Apis mellifera* como especie potencialmente invasora.

- Se propone tres estrategias locales para la conservación del ecosistema de lomas: (i) Manejo y aprovechamiento de *Tara spinosa* mediante líneas base, zonificación y reforestación en el ACP lomas de Atiquipa; (ii) Conservación y protección de especies indicadoras y endémicas, con monitoreo anual, así como la puesta en valor del corredor de interacciones de polinización, la investigación científica, turismo y educación ambiental; (iii) Control y vigilancia de *Apis mellifera*, a través de la líneas base apícola, acuerdos comunitarios, monitoreo de apiarios y la frecuencia de esta especie.

V. PROPUESTAS A FUTURO

- Los estudios de biodiversidad en ecosistemas de lomas constituyen avances importantes para complementar los vacíos de información biológica, pero resultan insuficientes para comprender la dinámica funcional y ecológica en profundidad. En este sentido, se recomienda replicar la metodología empleada en el presente estudio para evaluar las interacciones ecológicas en estos ecosistemas frágiles, y en otras áreas naturales protegidas del Perú, a fin de obtener diagnósticos comparativos que fortalezcan su gestión y conservación.

- Se recomienda integrar la metodología de redes ecológicas en los protocolos oficiales de evaluación del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, a fin de ser utilizados por el personal del ACP lomas de Atiquipa para complementar los inventarios florísticos y faunísticos; considerando también, otros parámetros no tomados en cuenta en el presente estudio, por ejemplo: factores climáticos (humedad, temperatura y precipitación), condiciones de la vegetación (patrones fenológicos de las especies), esfuerzo de muestreo (> tiempo de observación).

- Es necesario ampliar las evaluaciones a periodos nocturnos, considerando que diversos grupos de insectos polinizadores muestran actividad crepuscular o nocturna, lo cual enriquecerá la comprensión integral de las interacciones planta–polinizador.

- Es importante socializar con los actores involucrados, las pautas estratégicas planteadas en el presente estudio, para encaminar acciones de conservación en el ACP Lomas de Atiquipa.

- El desarrollo de proyectos piloto para el manejo y aprovechamiento de la especie indicadora: *Tara spinosa,* considerando su importancia ecológica.

- El monitoreo de la frecuencia de *Apis mellifera* frente a abejas nativas y otros visitantes florales, identificando áreas de mayor interacción y flora clave, según la metodología propuesta en la investigación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguado, D., Gutierrez, C., & Muñoz, M. (2019). Estructura funcional y patrones de especialización en las relaciones planta - polinizador de un agroecosistema en el valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana, 24*(2), 331-342. doi:https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.73177

Alonso, C., & Jesus, R. (2021). Problemática socioambiental de las lomas costeras de Lima: una revisión (I. Scientific, Ed.) *Social Innova Sciencies, 2*(2), 18-28. Obtenido de https://es.scribd.com/document/569299151/Vol-2-Num-2-2021-*Social-Innova-Sciences*-Revista-de-Ciencia-Sociales#

Arana, A. (2019). Ecología y biogeografía de las plantas vasculares de las lomas del Perú Central. *Repositorio Institucional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos [Tesis de Maestría]*, 244. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12672/10859

Baena, F., Chevez, E., Ruiz, F., & Porter, L. (2022). Apis mellifera en México: producción de miel, flora melífera y aspectos de polinización. Revisión. *Revista Mexicana Ciencas Pecuarias, 13*(2), 525-548. Obtenido de https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5960

Balbieri, C., Flores, L., Francoy, T., Geisa, M., Gernari, G., & Faleyros, M. (2022). Abejas y Polinización. En E. Enrique, & N. Pirani, *Los grupos de polinizadores en América del Sur* (págs. 39-45). Cubo. doi:https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-65-86819-21-2.s02c04.es

Barahona-Segovia, R., Domingos-Melo, A., Moré, M., & Mulierie, P. (2022). Moscas (Diptera) y su rol en la polinización. En E. Enrique, & N. Pirani, *Los grupos de polinizadores en América del Sur* (págs. 81-86). Brasil: Editora Cubo. doi:https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-65-86819-21-2.s02c09.es

Bascompte, J. (2009). Mutualistic networks. *Ecology and the Environment, 7*(8), 429-436. doi:doi:10.1890/080026

Bernabé Paniagua, K. (2024). Áreas potenciales de conservación mediante la caracterización de redes ecológicas de polinización en el valle interandino de la provincia de Oyón, departamento de Lima, 2023. Lima, Oyón, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Tesis de Magister. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12672/24927

Bernabé, K., Malca, N., Wong, A., Revilla, I., Churata, J., Zea, M., . . . Hilario, R. (2024). Estado del arte de las redes ecológicas de polinización y visitadores florales del Perú. *Revista Forestal del Perú, 1*(39), 116-149. doi:https://doi.org/10.21704/rfp.v39i1.2113

Calizaya-Melo, Y., ML, A., & E., L. T. (2020). High Andean bees (Hymenoptera: Apoidea) in Arequipa, Perú. *Acta Biológica Colombiana [Universidad Nacional de Colombia], 26*(3), 295-302. doi:https://doi.org/10.15446/abc.v26n3.86011

Campos-Navarrete, M. J., Rommel -Moo, A., & Ramos-Zapata, J. y.-T. (2017). Visitantes florales y redes de interacción planta–polinizador. En J. Ramos -Zapata, V. Parra -Tabla, J. Leirana-Alcocer, A. González-Moreno, & X. Chiappa-Carrara (Ed.), *Ecología funcional de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos* (págs. 231-248). Mexico: Secretaría de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán. Recuperado el Marzo de 2023, de https://www.researchgate.net/publication/321953158

Claro Carrascal, R. A., Mamani, D., & Monges, R. (2017). *Estado del Arte del Servicio Ecosistémico de la Polinización en Chile -Paraguay y Perú.* Santiago, Chile: FAO. Obtenido de https://www.fao.org/publications/card/es/c/c2114ea8-bd36-4aad-8c24-e5923bbe80f9/

Colom, P., Beltrán, R., Serra, P., Traveset, A., Pons, S., & Mesquida, y. V. (2021). *Proyecto "Biodiversidad y contribución de los insectos polinizadores para el mantenimiento de los ecosistemas".* Ministerio de Ciencia e Innovación, Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados. Menorca: Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado el Diciembre de 2023, de http://www.biosferamenorca.org/documents/documents/8009doc2.pdf

Dormann, C. F. y Strauss, R. (2014). A method for detecting modules in quantitative bipartite networks. Methods in Ecology and Evolution, 5(1), 90–98. Disponible en: https://doi.org/10.1111/2041-210X.12139

Gobierno Regional de Arequipa. (6 de 7 de 2023). *Expediente tecnico de creación Area de Conservación Regional Lomas de Atiquipa.* Atiquipa. Obtenido de Solicitud al SERNANP via electrrónica

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Peleontological Electronica 4(1): 1-9.

Ings, T., & Hawes, J. (2018). The History of Ecological Networks. En *Ecological Networks in the tropical [Chapter 2]* (págs. 15-28). Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-68228-0_2

Kato, M., Kosaka, Y., Kawakita, A., Okuyama, Y., Kobayashi, C., Phimminith, T., & Thongphan, D. (2008). Plant-pollinator interactions in tropical monsoon forests in Southeast Asia. *American Journal of Botany, 95*(11), 1375-1394. doi:10.3732/ajb.0800114

Lizárraga Travaglini, A. (2022). *Innovación agraria y la promoción de abejas silvestres en los agroecosistemas del Perú* (1 ed.). (C. E. INIA, Ed.) Lima, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12955/2040

Maldonado, B., Cabana, J., Postigo, A., Villasante, J., & Delgado, J. (2020). *Visitantes florales y polinizadores diurnos de Tecoma fulva subsp. arequipensis y Prosopis calderensis en tres localidades del valle de Arequipa (Batolito de la Caldera, Quebrada del Huayrondo y anexo San Antonio.* Obtenido de UNSA: ttps://pure.unsa.edu.pe/en/projects/visitantes-florales-y-polinizadores-diurnos-de-tecoma-fulva-subsp-2

Manrique Garzón, L. (2022). *Red de polinización para los páramos andinos: un caso de estudio en el páramo de Matarredonda [Tesis de maestría, Univesidad de los Andes].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/64477

Martínez-Falcón, A. P., Martínez-Adriano, C. A., & Dáttilo, W. (2019). Redes complejas como herramientas para estudiar la diversidad de las interacciones ecológicas. En U. A. Hidalgo, *La biodiversidad en un mundo cambiante. Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio* (Vol. 1, págs. 265-283). Libermex. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/338557692_Redes_complejas_como_herramientas_para_estudiar_la_diversidad_de_las_interacciones_ecologicas

MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal - Memoria descriptiva* (Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural ed.). Lima: Imprenta TIPSAL S. A. C. doi: https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2674-mapa-nacional-de-cobertura-vegetal-memoria-descriptiva

MINAM. (2019). *Sexto Informe Nacional sobre Divesidad Biológica* (Vol. 1). (MINAM, Ed.) Lima: INDUSTRIA GRÁFICA CIMAGRAF S. A. C. Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/281709-sexto-informe-nacional-sobre-diversidad-biologica

MINAM. (2022, 19 de enero). *Resolución Ministerial N° 018-2022-MINAM.* Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano. Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2708449-018-2022-minam

Miranda Wilson, E. I. (2018). La Comunidad Campesina de Atiquipa: Análisis de las percepciones, saberes y acciones sobre las Lomas de Atiquipa, en la provincia de Caravelí, del departamento de Arequipa, y sobre los primeros proyectos para conservar, reforestar y poner en valor este ec. Lima: PUCP, tesis para optar el titulo de magister en gerencia social mención participación ciudadana. Obtenido de https://repositorio.pucp.edu.pe/items/4b011e6a-1ce8-40f0-9783-73194d16dd94

Moat, J. O.-G. (2021). *Seeing through the clouds – Mapping desert fog oasis ecosystems using 20 years of MODIS imagery over Peru and Chile.* International Journal of Applied Earth Observation. doi: https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102468

More, M., Marini, O., & Amorin, F. (2022). Mariposas y polillas y su rol como polinizadores. En N. Pirani, & E. Enrique, *Ciencia Ciuidadana y polinizadores de América del Sur* (1 ed., págs. 48-52). Cubo. doi:https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-65-86819-21-2.s02c05.es

Moreno E., C. (2001). *Métodos para medir la Biodiversidad* (Vol. 1). (P. I. Desarrollo, Ed.) Zaragoza: Manuales & Tesis SEA. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad

Nieuwland, B., & Mamani, J. M. (2017). Las lomas de Lima: enfocando ecosistemas desérticos como espacios abiertos en Lima metropolitana. *Espacio y Desarrollo, 29*, 109-113. doi:https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201701.005

Olesen, J. M., Bascompte, J., Dupont, Y. L., & Pedro. (2007). The modularity of pollination networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*(50), 19891-19896. doi:ttps://doi.org/10.1073/pnas.0706375104

Pantoja, A., Allan, S.–P., Anamaría, G., Sáenz, A., & Rojas, F. (2014). *Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinamérica y el Caribe.* Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [Santiago, Chile]: https://www.fao.org/3/i3547s/i3547s.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. (2018). *Retos y oportunidades en la conservación de las lomas de Lima Metropolitana* (1 ed., Vol. 1). (P. E. Lomas, Ed.) Lima: Cirkel Estudio Gráfico. Obtenido de https://www.undp.org/es/peru/publications/eba-lomas

Programa Life 4 Pollinators. (2023). *Mariposa y Polillas del Mediterraneo, Guia de Campo*. (N. 2000, Editor) Recuperado el 2023, de www.life4pollinators.eu: www.life4pollinators.eu

Quipuscoa, v., Margarita, B., Treviño, I., & Sinca, F. (2022). *Plantas vasculares endémicas de Arequipa – Perú* (1 ed., Vol. 1). Arequipa: UNSA. doi:https://repositorio.unsa.edu.pe/items/21539c28-573e-4397-9711-08f1816d15f5

Quipuscoa, V., Tejada, C., Fernández, C., & Duran, K. (2016). Diversidad de plantas vasculares de las Lomas de Yuta, provincia de Islay, Arequipa Perú, 2016. Arnaldoa, 23(2), 517 - 546. doi:http://doi.org./10.22497/arnaldoa.232.23207

Rafael, J., Melo, G., De Carvalho, C., & Casari, S. (2012). *Inseto do Brasil, Divesidade e Taxonomia* (1 ed., Vol. 1). (J. Rafael, G. Melo, C. De Carvalho, & S. Casari, Edits.) Sao Paolo, Brasil: Holo. Obtenido de https://www.amazon.com.br/Insetos-do-Brasil-Diversidade-Taxonomia/dp/8586699721

Rodriguez Pinto, D. D. (2024). *Red de Interacción Planta-Visitador Floral del Matorral Andino del Valle de Toro, Provincia La Unión, Arequipa*. Arequipa, La Unión, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, Tesis Magister. Obtenido de https://web.lamolina.edu.pe/postgrado/conrecnatural/investigacion.php

Ruiz Cancino, E., coronado, J., & vanovich, A. (2014). Biodiversity of Ichneumonidae (Hymenoptera) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad,*(85), 385-391. doi:DOI: 10.7550/rmb.32448

Santos, G., Aguiar, J., Zanella, F., & Mello, M. (2012). Invasive Africanized honeybees change the structure of native pollination networks in Brazil. *Biol Invasions, 14*, 2369-2378. doi:https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-012-0235-8

SERFOR. (2018, 19 de diciembre). *Resolución de Dirección Ejecutiva N.° 0287-2018-MINAGRI-SERFOR-DE.* Perú: Portal Institucional SERFOR. Recuperado el agosto de 2023, de

https://www.gob.pe/institucion/serfor/normas-legales/963468-0287-2018-minagri-serfor-de

SERNANP. (2017). *Gestión efectiva del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE) Base conceptual para la articulación del ciclo de gestión, instrumentos y herramientas* (NEGRAPATA SAC ed., Vol. 1). (SERNANP, Ed.) Lima. Obtenido de https://peru.wcs.org/es-es/WCS-Peru/Noticias/articleType/ArticleView/articleId/15703/Hacia-una-gestion-efectiva-de-las-ANP-Documento-propone-consideraciones-metodologicas-y-operativas-para-el-monitoreo-en-Areas-Naturales-Protegidas-del-Peru.aspx.

SERNANP. (2022). Documento de Trabajo 57 : Procedimiento para Monitoreo y Evaluación del estado de conservación de ecosistemas en Áreas Naturales Protegidas mediante la metodología de efectos por acvidades antrópicas. (Primera ed., Vol. 1). (L. B. Baca, Ed.) Lima: MINAM. Recuperado el Dicembre de 2023, de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/DT%2057_Procedimiento-efectosPorActividades.pdf

SERNANP. (2022). Plan de Gestión del Área de Conservación Privada Lomas de Atiquipa (2021-2025). 51. (SERNANP, Ed.) Atiquipa, Arequipa, Perú. Obtenido de https://es.scribd.com/document/722262448/Plan-Gestion-ACP-2022-Atiquipa

Soares, R., Ferreira, P., & Lopes, L. (2017 de 2017). Can plant-pollinator network metrics indicate environmental quality? *Ecological Indicators, 78*(361-370). doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.037

Sosenski, P., & Domínguez, C. A. (2018). El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico. (I. d. Universidad Nacional Autónoma de México, Ed.) *Revista mexicana de biodiversidad, 89*(03), 961 - 970. Recuperado el Diciembre de 2023, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532018000300961

Sotomayor Melo, D. A., & Jiménez Milón, P. (2008). Condiciones meteorológicas y dinámica vegetal del ecosistema costero Lomas de Atiquipa (Caraveli - Arequipa en el sur del Perú. Ecología Aplicada, 7(1,2), 1-8. doi:10.21704/rea.v7i1-2.353

Suarez, R., Cerdeña, J., Zumarán, G., & Alvarado, M. (2021). Avispas parasitoides Ophioninae (Hymenoptera: Ichneumonidae) del. *Revista peruana de biología, 28*(2), 19387. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v28n2/1727-9933-rpb-28-02-e19387.pdf

Talavera, C., Pauca, A., Fernández, C., Villasante, F., Villegas, L., & Delgado, A. (2017). *Flora de Lomas de Atiquipa* (Vol. 1). Arequipa, Perú: Editorial UNSA. Obtenido de https://www.unsa.edu.pe/iciga/flora-atiquipa/

Ulrich, H., & Ingo, K. (2009). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators, 10*, 584–593. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009

Villegas, L., Caballero, K., & Luque, C. (2017). *Fauna Silvestre de las Lomas de Atiquipa.* (1, Trad.) Arequipa: UNSA. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Cesar-R-Luque-Fernandez/publication/330293216_Fauna_Silvestre_de_las_Lomas_de_Atiquipa/links/5d7bcf2392851c87c387f249/Fauna-Silvestre-de-las-Lomas-de-Atiquipa.pdf

Vizentin-Bugoni, J., Kiyoshi, P., Silveira de Souza, C., Ollerton, J., & Rech, R. (2018). Plant-Pollinator Networks in the Tropics:. En V. R.-G. W. Dáttilo, *Ecological Networks in the Tropics* (Vol. 6, págs. 73-91). Springer International Publishing AG. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-68228-0_6

Watts, S., Carsten, D., González, A., & Ollerton, J. (2016). The influence of floral traits on specialization and modularity of plant–pollinator networks in a biodiversity hotspot in the Peruvian Andes. *Annals of Botanic, 118*(3), 415-429. doi:https://doi.org/10.1093/aob/mcw114

WCS, W. C. (2020). *Documento de conceptualización del monitoreo en las Áreas Naturales Protegidas.* Lima, Perú: WCS. Obtenido de https://peru.wcs.org/Portals/94/Publicaciones/Monitoreo%20ANP_WCS%202020.pdf?ver=2020-12-29-150042-763

VII. ANEXOS

Anexo 1. Lista de interacciones registradas para la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa, Arequipa

Especie de planta	Grupo funcional de visitantes florales	Especie de visitador floral	Frecuencia de visitas
Alonsoa meridionalis (L.f.) Kuntze	DIP	*Allograpta sp. 6*	2
Lysimachia arvensis (L.) U.Manns & Anderb.	DIP	*Drosophila sp. 1*	4
		Toxomerus sp. 1	1
Valeriana chaerophylloides Sm.	LEP	*Crambidae sp. 2*	1
	DIP	*Drosophila sp. 1*	3
		Empididae sp.	7
		Lepidanthrax sp.	1
Bidens pilosa L.	DIP	*Drosophila sp. 1*	4
		Empididae sp.	2
Bowlesia sodiroana H.Wolff	DIP	*Allograpta sp. 5*	1
		Toxomerus sp. 2	1
Tara spinosa (Molina) Britton & Rose	HAL	*Apis mellifera*	113
	DIP	*Allograpta sp. 5*	1
		Tachinidae sp. 1	2
		Toxomerus sp. 1	1
	LEP	*Noctuidae sp. 1*	16
	LEM	*Vanessa carye*	4
Calandrinia alba (Ruiz & Pav.) DC.	DIP	*Allograpta sp. 1*	1
		Allograpta sp. 5	2
		Anthomyiidae sp.	1
		Drosophila sp. 1	1
		Linnaemya vulpina	3
		Muscidae sp.	6
		Sarcophagidae sp. 1	53
		Sarcophagidae sp. 2	3
		Toxomerus sp. 1	12
	HAV	*Pimpla sp.*	1
	LEP	*Crambidae sp. 1*	2
	LEM	*Vanessa carye*	1
Capsella bursa-pastoris (L.) Medik.	DIP	*Tachinidae sp. 1*	2
Cotula australis Hook.f. F.	DIP	*Allograpta sp. 6*	1
		Asemosyrphus sp.	1
		Tachinidae sp. 1	1

		Toxomerus sp. 1	2
Croton ruizianus Müll.Arg.	DIP	*Allograpta sp. 5*	1
		Cochliomyia macellaria	3
		Drosophila sp. 1	1
		Sarcophagidae sp. 1	3
		Sarcophagidae sp. 2	16
		Tachinidae sp. 2	7
		Toxomerus sp. 1	1
	LEP	*Crambidae sp. 1*	1
Cryptantha granulosa I.M. Johnst.	DIP	*Allograpta sp. 6*	1
		Toxomerus sp. 2	1
Erodium cicutarium (L.) L'Hér.	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	7
	LEM	*Vanessa carye*	2
	DIP	*Allograpta sp. 6*	19
		Copestylum sp.	1
		Drosophila sp. 1	11
		Sarcophagidae sp. 2	3
		Tachinidae sp. 1	4
		Toxomerus sp. 1	1
Fuertesimalva peruviana (L.) Fryxell.	DIP	*Allograpta sp. 2*	3
		Allograpta sp. 4	10
		Allograpta sp. 5	7
		Allograpta sp. 6	6
		Asemosyrphus sp.	8
		Drosophila sp. 1	8
		Eupeodes sp.	3
		Lepidanthrax sp.	2
		Linnaemya vulpina	7
		Muscidae sp.	3
		Sarcophagidae sp. 1	14
		Sarcophagidae sp. 2	43
		Tachinidae sp. 1	5
		Toxomerus sp. 1	23
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	31
	COL	*Chrysomelidae sp.*	1
	HEM	*Repipta sp.*	2
	HAV	*Pepsis sp.*	3
	LEP	*Nomophila sp.*	1
		Crambidae sp. 1	7
	LEM	*Vanessa carye*	79

		Hemiargus sp.	6
		Hesperiidae sp.	4
Galinsoga caligensis Canne	DIP	*Allograpta sp. 2*	2
		Allograpta sp. 4	17
		Allograpta sp. 5	19
		Drosophila sp. 1	33
		Lepidanthrax sp.	1
		Sarcophagidae sp. 2	14
		Syrphus sp.	1
		Tachinidae sp. 1	15
		Tachinidae sp. 2	4
		Toxomerus sp. 1	30
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	2
	LEM	*Vanessa carye*	3
	LEP	*Crambidae sp. 1*	9
Gamochaeta americana (Mill.) Wedd.	LEM	*Vanessa carye*	1
Gaya atiquipana Krapov.	DIP	*Drosophila sp. 1*	5
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	5
Geranium sessioiflorum Cav.	DIP	*Allograpta sp. 4*	1
		Asemosyrphus sp.	2
		Drosophila sp. 1	4
		Sarcophagidae sp. 2	1
		Tachinidae sp. 1	4
		Toxomerus sp. 1	5
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	7
		Caupolicana sp.	2
		Perditomorpha sp.	2
Gilia sp.	DIP	*Allograpta sp. 2*	2
		Toxomerus sp. 1	1
	LEP	*Crambidae sp. 1*	2
	LEM	*Vanessa carye*	2
Heliotropium arborescens L.	LEP	*Noctuidae sp. 2*	34
	DIP	*Drosophila sp. 1*	3
Lepechinia lamiifolia (Benth.) Epling	DIP	*Allograpta sp. 6*	1
Mirabilis expansa (Ruiz & Pav.) Standl.	DIP	*Allograpta sp. 6*	1
		Drosophila sp. 1	7
		Toxomerus sp. 1	5
		Empididae sp.	6

	LEM	*Vanessa carye*	4
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	1
	HAL	*Apis mellifera*	1
Monnina weberbaueri Chodat	DIP	*Allograpta sp. 2*	1
Nasa urens (Jacq.) Weigend	DIP	*Allograpta sp. 4*	10
		Allograpta sp. 5	4
		Allograpta sp. 6	1
		Anthomyiidae sp.	2
		Asemosyrphus sp.	1
		Drosophila sp. 1	24
		Eupeodes sp.	2
		Syrphus sp.	1
		Tachinidae sp. 1	1
		Toxomerus sp. 1	6
	LEM	*Vanessa carye*	3
		Hemiargus sp.	1
		Hesperiidae sp.	4
	HAV	*Pepsis sp.*	2
	LEP	*Noctuidae sp. 3*	113
		Noctuidae sp. 1	1
		Nomophila sp.	7
		Crambidae sp. 1	30
	HAL	*Xylocopa sp.*	2
		Apis mellifera	1
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	46
Nolana coronata Ruiz & Pav.	DIP	*Allograpta sp. 4*	19
		Allograpta sp. 5	1
		Allograpta sp. 6	3
		Anthomyiidae sp.	10
		Asemosyrphus sp.	1
		Copestylum sp.	1
		Drosophila sp. 1	3
		Linnaemya vulpina	2
		Empididae sp.	1
		Toxomerus sp. 1	6
	LEP	*Crambidae sp. 1*	2
		Nomophila sp.	1
	HAC	*Perditomorpha sp.*	24
		Caenohalictus sp.	5

		Lonchopria (Biglossa) sp.	1
		Andinopanurgus aff. Vargasllosaii	50
	LEM	*Vanessa carye*	15
Oenothera rosea Aiton	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	2
Palaua rhombifolia Graham	DIP	*Allograpta sp. 6*	4
		Anthomyiidae sp.	4
		Asemosyrphus sp.	4
		Caenohalictus sp.	10
		Drosophila sp. 1	19
		Empididae sp.	17
		Lepidanthrax sp.	1
		Linnaemya vulpina	3
		Sarcophagidae sp.2	5
		Toxomerus sp. 1	1
	LEP	*Crambidae sp. 1*	3
		Noctuidae sp. 1	1
	HAC	*Perditomorpha sp.*	52
		Lonchopria (Biglossa) sp.	1
		Andinopanurgus aff. Vargasllosaii	56
	THY	*Thrips sp*	2
	COL	*Calligrapha sp.*	2
	LEM	*Vanessa carye*	77
		Lycaenidae sp.	1
		Hesperiidae sp.	126
	HAL	*Acamptopoeum sp.*	20
Philoglossa peruviana DC.	DIP	*Allograpta sp. 1*	1
		Allograpta sp. 2	8
		Allograpta sp. 3	1
		Allograpta sp. 4	56
		Allograpta sp. 5	1
		Allograpta sp. 6	50
		Anthomyiidae sp.	5
		Bombylius sp.	10
		Cochliomyia macellaria	1
		Copestylum sp.	14
		Drosophila sp. 1	37
		Drosophila sp. 2	2
		Empididae sp.	2
		Eupeodes sp.	4
		Lepidanthrax sp.	9

		Linnaemya vulpina	20
		Muscidae sp.	2
		Sarcophagidae sp.2	19
		Syrphus sp.	29
		Tachinidae sp. 1	5
		Tachinidae sp. 2	17
		Toxomerus sp. 1	26
	HEM	*Pentatomidae sp.*	2
		Repipta sp.	4
		Nabis sp.	4
	OTI	*Acyrthosiphon sp.*	7
	LEM	*Hemiargus sp.*	1
		Phulia sp.	1
		Lycaenidae sp.	4
		Vanessa carye	1025
		Hesperiidae sp.	19
	HAV	*Pompilidae sp.*	3
		Pepsis sp.	3
	COL	*Anametis sp.*	1
		Calligrapha sp.	1
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	79
	LEP	*Crambidae sp. 1*	15
		Nomophila sp.	4
		Noctuidae sp. 1	12
Pilea microphylla (L.) Liebm.	DIP	*Allograpta sp. 4*	1
		Allograpta sp. 5	1
		Allograpta sp. 6	2
		Drosophila sp. 2	1
		Sarcophagidae sp.2	1
	HAL	*Apis mellifera*	1
	HEM	*Nabis sp.*	1
Salvia rhombifolia Ruiz & Pav.	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	9
	DIP	*Allograpta sp. 3*	6
		Allograpta sp. 4	8
		Allograpta sp. 6	2
		Bombylius sp.	1
		Empididae sp.	1
		Sarcophagidae sp.1	8
		Syrphus sp.	1
		Toxomerus sp. 1	14

	LEP	*Crambidae sp. 1*	5
		Noctuidae sp. 1	29
		Nomophila sp.	1
	HAV	*Pimpla sp.*	1
	LEM	*Vanessa carye*	5
	HAL	*Apis mellifera*	38
		Anthophora arequipensis	5
Lomanthus okopanus (Cabrera) B.Nord.	DIP	*Allograpta sp. 5*	1
		Drosophila sp. 1	13
		Empididae sp.	47
	LEP	*Crambidae sp. 1*	6
		Nomophila sp.	3
Solanum montanum L.	DIP	*Allograpta sp. 4*	1
		Drosophila sp. 1	4
		Toxomerus sp. 1	3
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	1
Sonchus asper (L.) Hill	DIP	*Allograpta sp. 5*	1
		Allograpta sp. 6	3
		Drosophila sp. 1	13
		Empididae sp.	10
		Toxomerus sp. 1	1
	HAC	*Perditomorpha sp.*	4
		Andinopanurgus aff. Vargasllosaii	4
Spergularia fasciculata Phil.	DIP	*Allograpta sp. 4*	3
		Sarcophagidae sp.1	3
		Tachinidae sp. 1	13
		Tachinidae sp. 2	6
	LEP	*Crambidae sp. 1*	2
		Nomophila sp.	1
		Noctuidae sp. 1	1
	HAC	*Perditomorpha sp.*	1
		Andinopanurgus aff. Vargasllosaii	4
	LEM	*Vanessa carye*	8
Stellaria cuspidata D.F.K.Schltdl.	DIP	*Allograpta sp. 6*	2
		Drosophila sp. 1	8
		Empididae sp.	38
		Lepidanthrax sp.	3
		Muscidae sp.	1
		Sarcophagidae sp.1	1

		Toxomerus sp. 1	2
	HAV	*Ichnemonidae sp. 2*	1
	HAC	*Perditomorpha sp.*	1
Stevia ovata Willd.	LEM	*Vanessa carye*	1
Tigridia raimondii Ravenna	DIP	*Anthomyiidae sp.*	3
		Asemosyrphus sp.	3
		Drosophila sp. 1	9
		Empididae sp.	2
		Lepidanthrax sp.	1
		Sarcophagidae sp. 1	2
		Tachinidae sp. 2	5
	LEP	*Crambidae sp. 1*	6
		Nomophila sp.	3
		Noctuidae sp. 1	1
	HAV	*Braconidae sp.*	1
		Pompilidae sp.	1
		Pimpla sp.	2
		Enicospilus sp.	2
		Ichnemonidae sp. 1	2
	LEM	*Vanessa carye*	3
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	5
Tiquilia paronychioides (Phil.) A.T.Richardson	DIP	*Allograpta sp. 2*	1
		Allograpta sp. 3	3
		Allograpta sp. 4	4
		Allograpta sp. 5	2
		Allograpta sp. 6	22
		Eupeodes sp.	1
		Tachinidae sp. 1	1
		Tachinidae sp. 2	8
	HAV	*Pompilidae sp.*	3
	HEM	*Repipta sp.*	1
	HAC	*Andinopanurgus aff. Vargasllosaii*	6
	LEM	*Vanessa carye*	6
Trichocereus chalaensis Rauh & Backeb.	DIP	*Drosophila sp. 1*	12
		Muscidae sp.	1
Trixis cacaleoides D.Don	DIP	*Allograpta sp. 4*	1
Viguiera lanceolata Britton	DIP	*Allograpta sp. 4*	1
		Cochliomyia macellaria	1
		Lepidanthrax sp.	1

		Sarcophagidae sp.1	3
		Tachinidae sp. 1	1
		Tachinidae sp. 2	1
	LEP	*Crambidae sp. 1*	8
	LEM	*Vanessa carye*	1
Villanova oppositifolia Lag.	DIP	*Allograpta sp. 1*	1
		Allograpta sp. 4	6
		Allograpta sp. 5	26
		Allograpta sp. 6	12
		Copestylum sp.	2
		Drosophila sp. 1	11
		Drosophila sp. 2	4
		Empididae sp.	1
		Sarcophagidae sp. 1	38
		Tachinidae sp. 2	1
		Toxomerus sp. 1	1
		Toxomerus sp. 2	4
	HEM	*Repipta sp.*	1
		Nabis sp.	1
	HAV	*Pimpla sp.*	2

COL=coleópteros, DIP=dípteros, HAC=abejas de lengua corta, HAL=abejas de lengua larga, HAV= avispas, OTI= otros insectos, HEM=hemípteros, LEM=mariposas, THY=tisanópteros.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Métricas e índices para los grupos funcionales de plantas en antesis de la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa, Arequipa

Especies de Plantas	Fuerza de especie	Asimetría (push.pull)	Servicio de Polinización) PSI	Índice de especialización (d´)	c	z
Philoglossa peruviana	3.34	0.29	3.34	0.28	0.65	1.15
Palaua rhombifolia	2.00	0.14	2.00	0.13	0.28	1.78
Fuertesimalva peruviana	0.96	-0.05	0.96	0.05	0.64	4.66
Nasa urens	0.70	-0.04	0.70	0.35	0.50	0.92
Galinsoga caligensis	0.13	-0.22	0.13	0.21	0.41	0.51
Nolana coronata	0.24	-0.19	0.24	0.20	0.36	-0.21
Tara spinosa	0.68	-0.08	0.68	0.67	0.01	1.36
Salvia rhombifolia	0.43	-0.11	0.43	0.25	0.35	0.24
Villanova oppositifolia	0.19	-0.26	0.19	0.27	0.32	1.13
Calandrinia alba	0.10	-0.22	0.10	0.22	0.54	1.24
Lomanthus okopanus	0.07	-0.46	0.07	0.19	0.47	-0.01
Stellaria cuspidata	0.08	-0.21	0.08	0.19	0.54	-0.04
Tiquilia paronychioides	0.16	-0.16	0.16	0.11	0.46	-0.13
Tigridia raimondii	0.36	-0.13	0.24	0.15	0.30	0.00
Erodium cicutarium	0.04	-0.32	0.04	0.13	0.50	-0.15
Spergularia fasciculata	0.04	-0.24	0.04	0.03	0.72	-0.25
Heliotropium arborescens	0.10	-0.45	0.10	0.44	0.04	-0.60
Sonchus asper	0.03	-0.48	0.04	0.15	0.50	-0.23
Croton ruizianus	0.02	-0.49	0.02	0.18	0.21	-0.20
Geranium sessioiflorum	0.04	-0.32	0.04	0.11	0.47	-0.49
Mirabilis expansa	0.02	-0.24	0.02	0.07	0.61	-0.29
Viguiera lanceolata	0.03	-0.32	0.03	0.14	0.34	-0.93
Trichocereus chalaensis	0.01	-0.99	0.01	0.17	0.00	-0.31
Valeriana chaerophylloides	0.01	-0.49	0.01	0.14	0.40	-0.35
Gaya atiquipana	0.01	-0.49	0.01	0.14	0.35	-0.52
Solanum montanum	0.00	-0.49	0.01	0.12	0.41	-0.37
Pilea microphylla	0.08	-0.30	0.08	0.17	0.11	0.43
Bidens pilosa	0.00	-0.99	0.00	0.14	0.00	-0.38
Lysimachia arvensis	0.00	-0.99	0.00	0.13	0.00	-0.39
Cotula australis	0.00	-0.99	0.00	0.13	0.00	-0.39
Gilia sp.	0.00	-0.99	0.00	0.10	0.00	-0.40
Alonsoa meridionalis	0.00	-0.99	0.00	0.10	0.00	-0.41

Bowlesia sodiroana	0.00	-0.99	0.00	0.10	0.00	-0.41
Capsella bursa-pastoris	0.00	-0.99	0.00	0.10	0.00	-0.41
Cryptantha granulosa	0.00	-0.99	0.00	0.10	0.00	-0.41
Oenothera rosea	0.00	-0.99	0.00	0.26	0.00	-0.53
Gamochaeta americana	0.00	-0.99	0.00	0.00	0.00	-0.57
Lepechinia lamiifolia	0.00	-0.99	0.00	0.00	0.00	-0.73
Monnina weberbaueri	0.00	-0.99	0.00	0.00	0.00	-0.41
Stevia ovata	0.00	-0.99	0.00	0.00	0.00	-0.57
Trixis cacaleoides	0.00	-0.99	0.00	0.00	0.00	-0.41

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. Fotografías de las especies de plantas en *antesis* que conforman la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa, Arequipa. Fotografías tomadas por los investigadores del Proyecto REDES.

Pilea microphylla
(Urticaceae)

Salvia rhombifolia
(Lamiaceaea)

Lomanthus okopanus
(Asteraceae)

Solanum montanum
(Solanaceae)

Sonchus asper
(Asteraceae)

Stellaria cuspidata
(Caryophyllaceae)

Stevia ovata
(Asteraceae)

Tigridia raimondii
(Iridaceae)

Gilia sp.
(Polemoniaceae)

Heliotropium arborescens
(Boraginaceae)

Mirabilis expansa
(Nyctaginaceae)

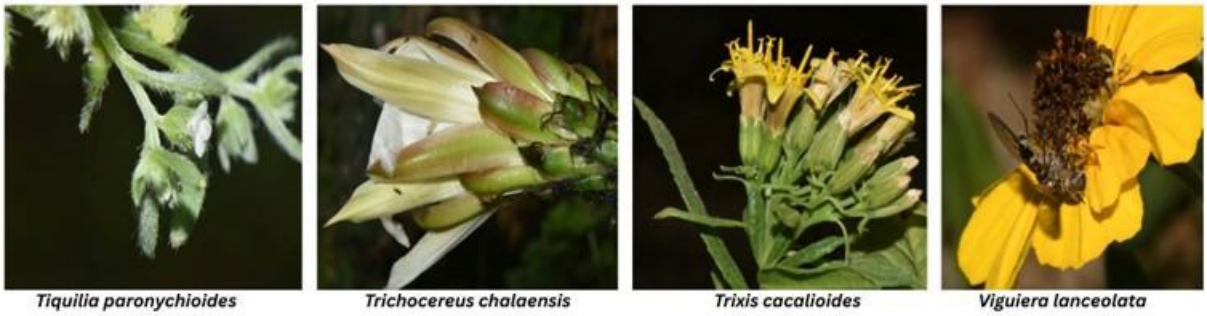
Monnina weberbaueri
(Polygalaceae)

Nasa urens
(Loasaceae)

Nolana coronata
(Solanaceae)

Palaua rhombifolia
(Malvaceae)

Philoglossa peruviana
(Asteraceae)



Tiquilia paronychioides
(Boraginaceae)

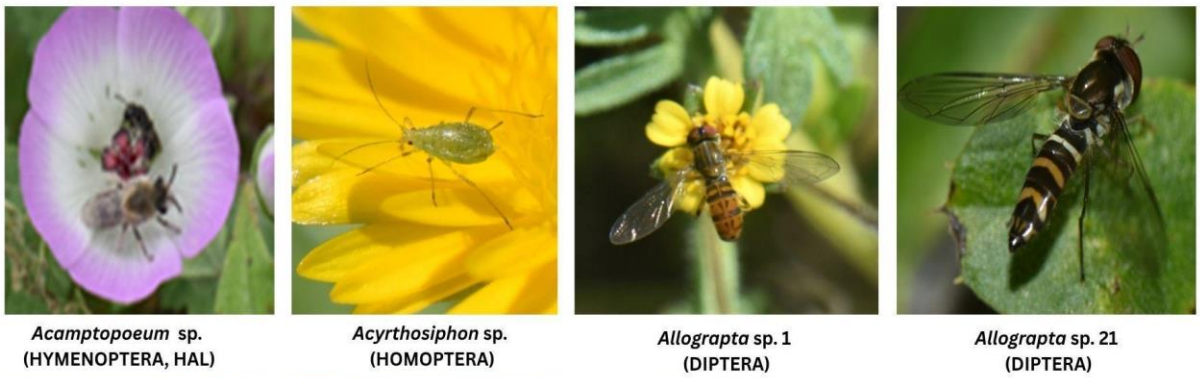
Trichocereus chalaensis
(Cactaceae)

Trixis cacalioides
(Asteraceae)

Viguiera lanceolata
(Asteraceae)

Villanova oppositifolia
(Asteraceae)

Anexo 4. Fotografías de los visitantes florales que conforman la red ecológica de polinización en el ACP Lomas de Atiquipa, Arequipa. Fotografías tomadas por los investigadores del Proyecto REDES.



Acamptopoeum sp.
(HYMENOPTERA, HAL)

Acyrthosiphon sp.
(HOMOPTERA)

Allograpta sp. 1
(DIPTERA)

Allograpta sp. 21
(DIPTERA)

Allograpta sp. 3
(DIPTERA)

Allograpta sp.4
(DIPTERA)

Allograpta sp. 5
(DIPTERA)

Allograpta sp. 6
(DIPTERA)

Anametis sp.
(COLEOPTERA)

Andinopanurgus aff. Vargasllosai
(HYMENOPTERA, HAC)

Anthomyiidae sp.
(DIPTERA)

Anthophora arequipensis
(HYMENOPTERA, HAL)

Apis mellifera
(HYMENOPTERA, HAL)

Asemosyrphus sp.
(DIPTERA)

Bombylius sp.
(DIPTERA)

Braconidae sp.
(HYMENOPTERA, HAV)

Caenohalictus sp.
(HYMENOPTERA, HAC)

Calligrapha sp.
(COLEOPTERA)

Caupolicana sp.
(HYMENOPTERA, HAC)

Chrysomelidae sp.
(COLEOPTERA)

Cochliomyia macellaria
(DIPTERA)

Copestylum sp.
(DIPTERA)

Crambidae sp. 1
(LEPIDOPTERA, LEP)

Crambidae sp. 2
(LEPIDOPTERA, LEP)

Drosophila sp. 1
(DIPTERA)

Drosophila sp. 2
(DIPTERA)

Empididae sp.
(DIPTERA)

Enicospilus sp.
(HYMENOPTERA, HAV)

Eupeodes sp. 1
(DIPTERA)

Hespiriidae sp. 1
(LEPIDOPTERA, LEM)

Ichneumonidae sp. 1
(HYMENOPTERA, HAV)

Ichneumonidae sp. 2
(HYMENOPTERA, HAV)

Lepidanthrax sp.
(DIPTERA)

Lepidanthrax sp.
(DIPTERA)

Lonchopria (Biglossa) sp.
(HYMENOPTERA, HAC)

Pentatomidae sp.
(HEMIPTERA)

Muscidae sp.
(DIPTERA)

Nabis sp.
(HEMIPTERA)

Noctuidae sp. 1
(LEPIDOPTERA, LEP)

Noctuidae sp. 2
(LEPIDOPTERA, LEP)

Noctuidae sp. 3
(LEPIDOPTERA, LEP)

Nomophila sp.
(LEPIDOPTERA, LEP)

Pepsis sp.
(HYMENOPTERA, HAV)

Perditomorpha sp.
(HYMENOPTERA, HAC)

Phulia sp.
(LEPIDOPTERA, LEM)

Pimpla sp.
(HYMENOPTERA, HAV)

Pompilidae sp.
(HYMENOPTERA, HAV)

Sarcophagidae sp. 1
(DIPTERA)

Repipta sp.
(HEMIPTERA)

Sarcophagidae sp. 2
(DIPTERA)

Syrphus sp.
(DIPTERA)

Tachinidae sp. 1
(DIPTERA)

Tachinidae sp. 2
(DIPTERA)

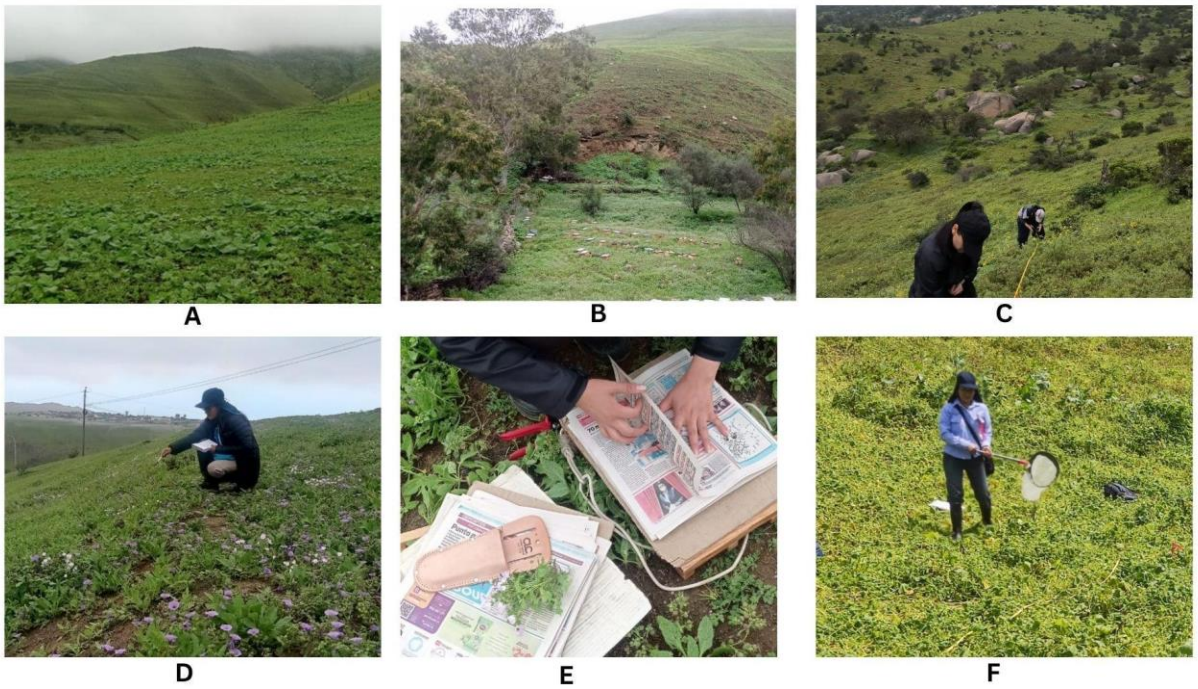
Toxomerus sp. 1
(DIPTERA)

Toxomerus sp. 2
(DIPTERA)

Vanessa carye
(LEPIDOPTERA, LEM)

Xilocopa sp.
(HYMENOPTERA, HAL)

Anexo 5. Fotografías de la evaluación en campo y toma de datos en el ACP Lomas de Atiquipa, Arequipa. Fotografías tomadas por los investigadores del Proyecto REDES.



A, B: Ecosistema de loma - ACP lomas de Atiquipa; C: Instalación de transectos; D: Registro de observaciones y toma de datos en campo; E,F: colecta de especímenes.