



IDEOs
Centro de Investigación
y Producción Científica

Bromelias, fitotelmas y biodiversidad amazónica



Ecología y conservación de
Aechmea nidularioides en Allpahuayo Mishana

CARLOS ENRIQUE CALLOAPAZA VALLADARES
LUIS GABRIEL GODOY PÉREZ
LUZ ANGÉLICA ANGULO RIOS
OLGA ISUIZA MOZOMBITE
HARVEY ENRIQUE PANDURO URRELO
PERLITA RIOS DEL AGUILA
ROSSANA CUBAS GUERRA

Bromelias, fitotelmas y biodiversidad amazónica

Ecología y conservación de *Aechmea*
nidularioides en Allpahuayo Mishana

Editor



Carlos Enrique Calloapaza Valladares

valladaresc@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2996-938X>

Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Iquitos, Loreto, Perú

Luis Gabriel Godoy Pérez

luisgodoy228@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3973-8649>

Facultad de Medicina Humana, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Iquitos, Loreto, Perú

Luz Angélica Angulo Rios

luz.angulo@unapiquitos.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0002-6752-6731>

Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Iquitos, Loreto, Perú

Olga Isuiza Mozombite

olga.isuiza@unapiquitos.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0002-6437-7806>

Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos – Perú

Harvey Enrique Panduro Urrelo

harpanu1@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3552-2592>

Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Iquitos, Loreto, Perú

Perlita Rios del Aguila

perlita.rios@unapiquitos.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0001-5752-8410>

Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Iquitos, Loreto, Perú

Rossana Cubas Guerra

rossana.cubas@unapiquitos.edu.pe



<https://orcid.org/0000-0002-3745-4861>

Facultad Biología, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP), Iquitos,
Loreto, Perú

PRÓLOGO

Los bosques amazónicos sobre arena blanca obligan a mirar la diversidad tropical desde una escala menos evidente y, precisamente por ello, más reveladora. Allí donde el suelo es pobre en nutrientes y la vegetación desarrolla arquitecturas particulares, la vida no disminuye simplemente: se reorganiza. Los varillales de Loreto constituyen un ejemplo privilegiado de esa reorganización y muestran que la singularidad ecológica puede concentrarse en espacios relativamente reducidos. En ese escenario, las bromelias terrestres no son elementos decorativos del sotobosque, sino estructuras vivas capaces de interceptar agua, retener detrito y ofrecer microambientes que conectan procesos vegetales, microbianos y faunísticos.

Esta obra sitúa a *Aechmea nidularioides* en el centro de una trama ecológica mucho más amplia que la descripción de una especie. Su interés radica en comprender cómo una planta adaptada a condiciones de sombra en el varillal alto seco participa en ciclos de agua y materia, se relaciona con la vegetación circundante y sostiene espacios acuáticos diminutos utilizados por invertebrados y vertebrados. Esa perspectiva permite pasar de la observación de organismos aislados a la interpretación de relaciones, flujos y dependencias que configuran un sistema ecológico.

La investigación de base aportó observaciones de campo realizadas durante un ciclo anual y registró factores abióticos, rasgos de floración y reproducción, densidad, composición florística y asociaciones con fauna. La transformación editorial desarrollada aquí conserva esos datos como evidencia primaria y los integra con literatura reciente sobre bosques de arena blanca, evolución de Bromeliaceae, fitotelmata, microbiomas, redes tróficas, cambio climático y conservación. El resultado busca servir tanto a la comunidad científica como a gestores de áreas naturales protegidas, docentes, estudiantes y profesionales interesados en la Amazonía.

El principal valor de estudiar micro ecosistemas como los fitotelmas reside en que permiten observar, a una escala manejable, procesos que también operan en ecosistemas mayores: competencia por nutrientes, descomposición, depredación, facilitación, respuesta a la sequía y recuperación después de una perturbación. Las investigaciones contemporáneas han reforzado esta mirada y muestran que las bromelias tanque pueden funcionar como

modelos experimentales para comprender estabilidad, resiliencia y efectos de eventos climáticos extremos (Romero et al., 2020; Séguigne et al., 2024, 2025).

En conservación, una especie adquiere relevancia no solo por su abundancia o rareza, sino por el conjunto de relaciones que sostiene. Proteger *Aechmea nidularioides* implica conservar la cobertura que regula su microclima, el régimen hidrológico que alimenta sus fitotelmas, la materia orgánica que entra al sistema y la fauna que utiliza esos reservorios. Esa conclusión conduce a una idea transversal del libro: el manejo eficaz exige conservar procesos y conexiones, no únicamente individuos.

El lector encontrará, por tanto, un libro que parte de una investigación local para dialogar con preguntas globales. La Reserva Nacional Allpahuayo Mishana aparece aquí como laboratorio natural y, al mismo tiempo, como territorio de conservación donde las decisiones de vigilancia, monitoreo, educación e investigación pueden beneficiarse de evidencia ecológica acumulada. La ciencia adquiere sentido editorial cuando permite comprender mejor un fenómeno y, sobre esa comprensión, formular acciones prudentes, verificables y adaptables.

PRESENTACIÓN

La presente obra procede de la tesis doctoral titulada “*ECOLOGÍA DE Aechmea nidularioides* L.B.SM (BROMELIACEAE) EN BOSQUE DE VARILLAL ALTO SECO Y PROPUESTA DE CONSERVACIÓN EN LA RESERVA NACIONAL ALLPAHUAYO MISHANA”, presentada por Rossana Cubas Guerra en la Facultad de Ciencias Biológicas, Doctorado en Ciencias con Mención en Ecología Amazónica, de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, para optar el grado académico de Doctora en Ciencias con Mención en Ecología Amazónica. La investigación fue desarrollada en Iquitos, Perú, y aprobada en 2022. Su registro se encuentra en el Repositorio Institucional de la UNAP mediante el identificador persistente <https://hdl.handle.net/20.500.12737/8956> (Cubas Guerra, 2022).

El libro no reproduce mecánicamente la estructura universitaria de aquella tesis. La investigación original se utiliza como fuente primaria para conservar con exactitud sus períodos de observación, sitios, procedimientos, instrumentos, tablas, valores, asociaciones ecológicas y propuestas de manejo. Sobre esa base se ha construido una arquitectura expositiva diferente, orientada a explicar el ecosistema, la biología de las bromelias tanque, la ecología de los fitotelmas y la conservación como procesos conectados.

La ampliación científica incorpora literatura publicada con posterioridad a buena parte de los antecedentes incluidos en la tesis. Se revisan estudios sobre la diversidad y biogeografía de bosques amazónicos sobre arena blanca, análisis filogenéticos y funcionales de Bromeliaceae, trabajos sobre capacidad de almacenamiento de agua, acidez de los fitotelmas, microbiomas bacterianos y fúngicos, respuesta de redes tróficas a lluvias extremas, sequía, calentamiento y pérdida de depredadores, además de investigaciones recientes realizadas en la propia Reserva Nacional Allpahuayo Mishana.

Esta actualización no pretende reinterpretar retroactivamente los datos de campo como si hubieran sido obtenidos con técnicas que no se aplicaron. Cuando se describen los resultados del estudio de 2016–2017, se mantiene su trazabilidad y se atribuyen expresamente a la investigación original. Cuando se proponen lecturas funcionales o comparaciones con investigaciones posteriores, estas se presentan como ampliación del libro y se respaldan con fuentes externas verificables.

La obra se organiza en seis capítulos. Los cuatro primeros construyen el marco ecológico y conceptual necesario para comprender los varillales, las bromelias, los fitotelmas y las interacciones multiespecíficas; el quinto reconstruye el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana; y el sexto integra los hallazgos con la evidencia contemporánea para plantear conservación adaptativa, monitoreo e investigación futura. Las Reflexiones finales sintetizan los aprendizajes sin convertir el libro nuevamente en una tesis.

El público natural de este volumen incluye investigadores de ecología tropical, botánica, zoología y conservación; profesionales de áreas naturales protegidas; docentes y estudiantes de ciencias biológicas; gestores ambientales y actores regionales vinculados al uso sostenible del territorio. La expectativa es que la obra permita usar la información de campo no como un conjunto cerrado de resultados, sino como punto de partida para preguntas más precisas y mejores decisiones de manejo.

INTRODUCCIÓN

La Amazonía no es una superficie ecológicamente uniforme. Dentro de la matriz de bosques húmedos existen ambientes determinados por condiciones edáficas y geomorfológicas muy particulares. Los bosques sobre arena blanca constituyen uno de esos ambientes y, en el nororiente peruano, reciben localmente denominaciones como varillales y chamizales. Suelos de baja fertilidad, drenajes contrastantes y estructuras de vegetación diferenciadas generan filtros ambientales que condicionan la composición florística y favorecen conjuntos de especies adaptadas a restricciones intensas de nutrientes y agua disponible (García-Villacorta et al., 2003; García-Villacorta et al., 2016; Guevara et al., 2016).

En la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, la conservación de estos bosques adquiere relevancia porque el mosaico de ambientes de arena blanca sostiene comunidades especializadas y contribuye a la heterogeneidad biológica de Loreto. Investigaciones recientes realizadas en la reserva han documentado variación de aves, mamíferos, escarabajos y comunidades planctónicas, reforzando la idea de que el tipo de hábitat y las transiciones entre formaciones vegetales influyen en la composición de las comunidades (Ampudia Gatty et al., 2020; Chávez-Veintemilla et al., 2021; Vásquez-Arévalo et al., 2022; Cossios et al., 2022).

Dentro del varillal alto seco, *Aechmea nidularioides* constituye un punto de encuentro entre la ecología vegetal y la ecología de pequeñas masas de agua. La disposición de sus hojas permite la formación de fitotelmas, reservorios capaces de recibir agua, hojarasca, partículas y organismos. La planta no actúa únicamente como recipiente. La literatura contemporánea muestra que las bromelias tanque participan activamente en el intercambio de nutrientes, modifican condiciones fisicoquímicas del agua y mantienen relaciones estrechas con microorganismos e invertebrados (Vergne et al., 2021; Aguilar-Cruz et al., 2022; Rogy & Srivastava, 2023; North et al., 2023).

La tesis que origina este libro estudió la especie durante el período comprendido entre octubre de 2016 y septiembre de 2017 en los sectores PV Irapay, Llanchara y Mishana. La investigación registró temperatura, humedad, precipitación, entrada de luz, floración, reproducción, hojarasca, macroinvertebrados, densidad, composición florística, distribución y relaciones planta-animal. Ese conjunto de observaciones permite aproximarse a la especie

como componente de un sistema de interacciones y no como una unidad biológica aislada (Cubas Guerra, 2022).

La necesidad de revisar aquellos resultados a la luz de nueva evidencia se vuelve especialmente importante ante el aumento de investigaciones experimentales sobre eventos climáticos extremos. En bromelias tanque, las alteraciones de precipitación, sequía, calentamiento y pérdida de depredadores pueden reconfigurar la estructura trófica, la descomposición y la recuperación de las comunidades acuáticas (Romero et al., 2020; Antikeira et al., 2022; Séguigne et al., 2024, 2025). Estas investigaciones no sustituyen el caso amazónico peruano, pero ofrecen hipótesis y mecanismos con los que puede dialogar.

El enfoque del libro es, por ello, multiescalar. Parte del suelo y la estructura del varillal, asciende a la arquitectura y fisiología de las bromelias, entra en los fitotelmas como micro ecosistemas y vuelve a ampliar la escala hasta la gestión de paisajes y áreas protegidas. El hilo conductor es la dependencia recíproca entre ambiente, planta y comunidad. Conservar un fitotelma supone conservar una planta funcional; conservar la planta requiere mantener microclima y cobertura; y conservar la cobertura exige proteger la integridad del varillal y reducir presiones externas.

Los seis capítulos desarrollan esa lógica de manera progresiva. El primero aborda la singularidad de los bosques amazónicos sobre arena blanca; el segundo examina la diversificación, anatomía y estrategias funcionales de Bromeliaceae; el tercero analiza los fitotelmas como micro ecosistemas acuáticos; el cuarto integra interacciones y amenazas; el quinto presenta el caso de estudio original con sus datos y advertencias de consistencia interna; y el sexto propone un marco de conservación adaptativa y una agenda de monitoreo e investigación.

ÍNDICE

PRÓLOGO	4
PRESENTACIÓN	6
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO I.....	12
1.1. ARENA BLANCA, OLIGOTROFIA Y FILTROS AMBIENTALES	12
1.2. TIPOS DE VARILLAL Y HETEROGENEIDAD DEL PAISAJE	17
1.3. DIVERSIDAD, ESPECIALIZACIÓN Y RECAMBIO BIOLÓGICO.....	22
1.4. MICROCLIMA DEL SOTOBOSQUE Y CONTINUIDAD ECOLÓGICA	28
1.5. CONSERVACIÓN DEL VARILLAL COMO SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	32
CAPÍTULO II.....	38
2.1. DIVERSIFICACIÓN EVOLUTIVA DE BROMELIACEAE	38
2.2. ARQUITECTURA DE ROSETA, TRICOMAS Y CAPTACIÓN DE RECURSOS..	43
2.3. FISIOLÓGÍA BAJO RESTRICCIONES DE AGUA Y NUTRIENTES	48
2.4. FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y REPRODUCCIÓN	53
2.5. AECHMEA NIDULARIOIDES COMO ESPECIE FOCAL	58
CAPÍTULO III	64
3.1. EL FITOTELMA COMO ECOSISTEMA ACUÁTICO EN MINIATURA.....	64
3.2. DETRITO, MICROORGANISMOS Y CICLADO DE NUTRIENTES	69
3.3. MACROINVERTEBRADOS Y ORGANIZACIÓN TRÓFICA.....	74
3.4. VERTEBRADOS, REPRODUCCIÓN Y REFUGIO.....	79
3.5. PRECIPITACIÓN EXTREMA, SEQUÍA Y RESILIENCIA.....	84
CAPÍTULO IV	90
4.1. DE LA PLANTA INDIVIDUAL A LA RED DE INTERACCIONES.....	90
4.2. VEGETACIÓN ACOMPAÑANTE, SOMBRA Y SOPORTE DEL MICROHÁBITAT	95
4.3. BIODIVERSIDAD DE ALLPAHUAYO MISHANA Y COMPLEMENTARIEDAD DE INDICADORES	100
4.4. AMENAZAS: EXTRACCIÓN, FRAGMENTACIÓN Y CAMBIO CLIMÁTICO ..	105
4.5. CONSERVACIÓN BASADA EN PROCESOS Y APRENDIZAJE ADAPTATIVO	110
CAPÍTULO V	116
5.1. ESCENARIO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE OBSERVACIÓN	116
5.2. FACTORES ABIÓTICOS Y MICROCLIMA DEL VARILLAL	121
5.3. FLORACIÓN, REPRODUCCIÓN, HOJARASCA Y DENSIDAD	127
5.4. COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y RELACIONES CON FAUNA.....	132
5.5. CONSISTENCIA ESTADÍSTICA, LIMITACIONES Y VALOR DE LA EVIDENCIA.....	138
CAPÍTULO VI.....	145
6.1. RELECTURA DE LOS HALLAZGOS A LA LUZ DE LA EVIDENCIA RECIENTE	145

6.2. MONITOREO ECOLÓGICO DE AECHMEA NIDULARIOIDES Y SUS FITOTELMAS	150
6.3. GESTIÓN DE AMENAZAS Y PRIORIDADES ESPACIALES.....	155
6.4. INVESTIGACIÓN FUTURA: DE LA ECOLOGÍA DESCRIPTIVA A LOS MECANISMOS.....	160
6.5. GOBERNANZA, EDUCACIÓN Y CIENCIA APLICADA.....	165
REFLEXIONES FINALES.....	171
BIBLIOGRAFÍA.....	173

CAPÍTULO I

BOSQUES AMAZÓNICOS SOBRE ARENA BLANCA: SINGULARIDAD ECOLÓGICA DE LOS VARILLALES

Este capítulo desarrolla una lectura integrada de los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. El propósito no es acumular definiciones, sino construir relaciones entre estructura, procesos y evidencia. La investigación original de Cubas Guerra (2022) funciona como anclaje local cuando corresponde, mientras que la literatura externa se utiliza para ampliar mecanismos y debates. La distinción entre ambas fuentes permite mantener trazabilidad y evitar que resultados de otros sistemas se presenten como datos obtenidos en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. A lo largo del capítulo, las tablas sintetizan comparaciones y las figuras recuperan variables particularmente informativas para el análisis ecológico.

1.1. ARENA BLANCA, OLIGOTROFIA Y FILTROS AMBIENTALES

La baja disponibilidad de nutrientes no debe interpretarse como una simple carencia, sino como un filtro que reorganiza la competencia entre plantas y selecciona estrategias de adquisición, conservación y reciclaje de recursos. En el contexto de los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. García-Villacorta et al. (2003) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por García-Villacorta et al. (2016) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

Los suelos arenosos modifican la retención de agua, la disponibilidad mineral y la dinámica de materia orgánica, por lo que pequeñas diferencias de drenaje pueden expresarse en cambios visibles de estructura vegetal. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Guevara et al. (2016) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Flores y Holmgren (2021) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué

modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

La condición oligotrófica favorece comunidades con rasgos funcionales diferentes de los observados en bosques sobre suelos más fértiles, especialmente en crecimiento, arquitectura, densidad de tallos y uso de nutrientes. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por SERNANP (2022) no implica que opere con igual intensidad en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Ampudia Gatty et al. (2020) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

Los bosques sobre arena blanca aparecen como islas ambientales dentro de una matriz amazónica más extensa, y esa discontinuidad espacial influye en dispersión, endemismo y recambio de especies. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Vásquez-Arévalo et al. (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esto sugiere evaluar

refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Cossios et al. (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

La interpretación ecológica del varillal necesita combinar suelo, hidrología, vegetación y conectividad, evitando explicar la diversidad únicamente mediante listas florísticas. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. García-Villacorta et al. (2003) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números

similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. García-Villacorta et al. (2016) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

La conservación de estos ambientes depende de mantener procesos edáficos y micro climáticos que son difíciles de restaurar una vez removida la cobertura y alterado el sustrato. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Guevara et al. (2016) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Flores y Holmgren (2021) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

Tabla 1. Rasgos ecológicos usados para diferenciar formaciones sobre arena blanca

Componente	Expresión ecológica	Implicación
Altura de vegetación	Varía entre formaciones bajas y altas	Modifica dosel y microclima
Drenaje	Seco, húmedo o intermedio	Regula oxigenación y disponibilidad de agua
Materia orgánica	Espesor variable	Influye en nutrientes y retención
Densidad de tallos	Desde estructuras abiertas hasta muy densas	Condiciona luz y movilidad
Especies indicadoras	Conjuntos florísticos característicos	Apoya clasificación y monitoreo

Elaboración propia con base en García-Villacorta et al. (2003) y Cubas Guerra (2022).

En síntesis, arena blanca, oligotrofia y filtros ambientales debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

1.2. TIPOS DE VARILLAL Y HETEROGENEIDAD DEL PAISAJE

La clasificación de varillales según altura, drenaje, materia orgánica y densidad de tallos ofrece un lenguaje operativo para diferenciar hábitats que, vistos superficialmente, podrían parecer equivalentes. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. García-Villacorta et al. (2016) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Guevara et al. (2016) no implica que opere con igual intensidad en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

El varillal alto seco se distingue por una estructura arbórea mayor que la de formaciones bajas y por condiciones de drenaje que influyen en el sotobosque y en las especies terrestres que allí prosperan. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Flores y Holmgren (2021) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. SERNANP (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta

definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

Las fronteras entre tipos de bosque no siempre son abruptas y pueden formar gradientes; por ello, la clasificación debe entenderse como una herramienta ecológica y de manejo, no como una frontera rígida. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Ampudia Gatty et al. (2020) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Vásquez-Arévalo et al. (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

La heterogeneidad espacial puede generar diferencias en luz, hojarasca, humedad y disponibilidad de microhábitats incluso dentro de un mismo tipo de varillal. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Cossios et al. (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En los bosques

amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de García-Villacorta et al. (2003) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

La cartografía de parches y transiciones es esencial para identificar áreas sensibles, corredores y zonas de presión asociadas a carreteras, centros poblados y extracción de arena. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por García-Villacorta et al. (2016) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia

ecológica. Guevara et al. (2016) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

Las decisiones de monitoreo ganan precisión cuando las unidades de paisaje se vinculan con indicadores medibles y no solo con denominaciones locales. La literatura representada por Flores y Holmgren (2021) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de SERNANP (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

Tabla 2. Ejemplos de evidencia reciente en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana

Grupo	Aporte principal	Referencia
Escarabajos coprófagos	Diferencias de riqueza y abundancia entre tipos de varillal	Ampudia Gatty et al., 2020
Plancton	Variación estacional y estructura de comunidades acuáticas	Chávez-Veintemilla et al., 2021
Aves	Recambio entre bosque sobre arena blanca y arcilla	Vásquez-Arévalo et al., 2022
Mamíferos	Actualización de registros mediante cámaras trampa	Cossios et al., 2022

Elaboración propia a partir de las fuentes citadas.

En síntesis, tipos de varillal y heterogeneidad del paisaje debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

1.3. DIVERSIDAD, ESPECIALIZACIÓN Y RECAMBIO BIOLÓGICO

La diversidad de los bosques de arena blanca combina especies especializadas con otras capaces de ocupar hábitats oligotróficos adyacentes, de modo que endemismo y conectividad regional deben analizarse conjuntamente. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Guevara et al. (2016) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En

términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Flores y Holmgren (2021) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

El recambio de especies puede ser elevado, aunque la estructura general del bosque parezca estable, porque distintos grupos biológicos responden de manera desigual a suelo, cobertura y disponibilidad de recursos. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. SERNANP (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Ampudia Gatty et al. (2020) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías

funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

Los estudios de aves, mamíferos, escarabajos y plancton en Allpahuayo Mishana muestran que la conservación del paisaje requiere considerar múltiples grupos y escalas temporales. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Vásquez-Arévalo et al. (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Cossios et al. (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

Los organismos indicadores pueden revelar cambios de estructura o perturbación antes de que la pérdida de cobertura resulte evidente en imágenes de gran escala. En el contexto de los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. García-Villacorta et al. (2003) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo,

perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por García-Villacorta et al. (2016) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

La diversidad funcional es particularmente importante en ambientes pobres en nutrientes, donde descomponedores, dispersores, depredadores y herbívoros sostienen procesos de reciclaje y regulación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Guevara et al. (2016) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este

punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Flores y Holmgren (2021) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

El valor de la biodiversidad del varillal reside tanto en el número de especies como en la singularidad de las interacciones que mantienen la funcionalidad del sistema. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por SERNANP (2022) no implica que opere con igual intensidad en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Ampudia Gatty et al. (2020) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

Tabla 3. Escalas de análisis para el varillal

Escala	Variables clave	Uso
Microhábitat	Luz, humedad, detrito, agua retenida	Explicar condiciones inmediatas
Parcela	Densidad, composición, hojarasca	Comparar estructura local
Parche	Tamaño, borde, cobertura	Evaluar integridad y conectividad
Paisaje	Distribución de parches, vías, presiones	Priorizar conservación

Elaboración propia.

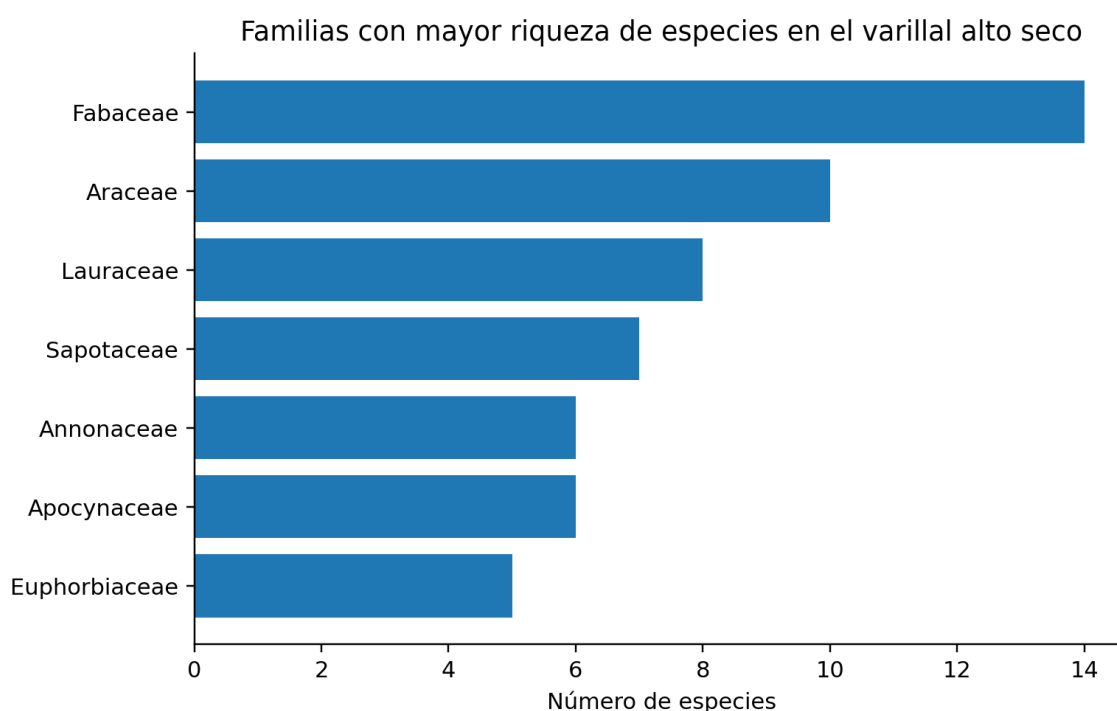


Figura 1. Ejemplo de gradiente de riqueza florística documentado en el caso de estudio

Elaboración propia con datos de Cubas Guerra (2022).

En síntesis, diversidad, especialización y recambio biológico debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

1.4. MICROCLIMA DEL SOTOBOSQUE Y CONTINUIDAD ECOLÓGICA

La cobertura del dosel controla una parte importante del balance de radiación, temperatura y humedad del sotobosque, generando condiciones que difieren del ambiente abierto circundante. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Flores y Holmgren (2021) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de SERNANP (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

Para una bromelia terrestre que depende de fitotelmas, el microclima regula simultáneamente evaporación, permanencia del agua, acumulación de detrito y actividad de la fauna asociada. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Ampudia Gatty et al. (2020) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada

puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Vásquez-Arévalo et al. (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

La caída natural de árboles produce claros que aumentan temporalmente la radiación y activan procesos de regeneración, pero la apertura antrópica puede ser más extensa, persistente y difícil de revertir. La literatura representada por Cossios et al. (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los

estudios de García-Villacorta et al. (2003) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

La continuidad de cobertura no equivale a inmovilidad; un bosque funcional integra perturbaciones pequeñas dentro de su dinámica, manteniendo refugios y fuentes de recolonización. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. García-Villacorta et al. (2016) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Guevara et al. (2016) no implica que opere con igual intensidad en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

La comparación entre microclima del bosque y datos meteorológicos externos ayuda a entender cómo el dosel amortigua extremos y por qué la conservación estructural tiene efectos sobre organismos pequeños. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Flores y Holmgren (2021) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. SERNANP (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

El monitoreo climático a escala local debe registrar no solo promedios, sino duración de periodos secos, extremos térmicos y cambios en la disponibilidad de agua en microhábitats. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Ampudia Gatty et al. (2020) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para

que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Vásquez-Arévalo et al. (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

Tabla 4. Presiones y mecanismos ecológicos potenciales

Presión	Mecanismo	Respuesta esperable
Extracción de arena	Eliminación de sustrato y cobertura	Pérdida directa de hábitat
Apertura del dosel	Más radiación y evaporación	Menor permanencia de agua
Fragmentación	Menor conectividad	Aislamiento de poblaciones
Sequía prolongada	Reducción de recarga hídrica	Estrés en fitotelmas y fauna

Elaboración propia a partir de la literatura revisada.

En síntesis, microclima del sotobosque y continuidad ecológica debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

1.5. CONSERVACIÓN DEL VARILLAL COMO SISTEMA SOCIOECOLÓGICO

Los varillales no están aislados de las decisiones humanas: caminos, extracción de arena, agricultura, uso de recursos y vigilancia determinan la intensidad de las presiones sobre

sus bordes y parches externos. En el contexto de los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. SERNANP (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Ampudia Gatty et al. (2020) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

La conservación eficaz requiere diferenciar amenazas internas, presiones de amortiguamiento y procesos regionales, porque una misma medida de control no resuelve problemas de naturaleza distinta. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Vásquez-Arévalo et al. (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y

fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Cossios et al. (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

La educación ambiental tiene mayor impacto cuando vincula procesos ecológicos concretos con servicios, identidad local y consecuencias visibles de la degradación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por García-Villacorta et al. (2003) no implica que opere con igual intensidad en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de García-Villacorta et al. (2016) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que

modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

Las áreas protegidas necesitan información que pueda traducirse en rutas de patrullaje, prioridades de restauración, sitios de monitoreo y criterios para investigación aplicada. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Guevara et al. (2016) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Flores y Holmgren (2021) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

Los planes de manejo deben incorporar incertidumbre y revisar periódicamente indicadores, en lugar de asumir que las condiciones observadas en un año representan indefinidamente al ecosistema. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, organismos y

microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. SERNANP (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Ampudia Gatty et al. (2020) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

La ciencia de conservación aporta valor cuando convierte hallazgos ecológicos en decisiones reversibles, medibles y adaptables a nueva evidencia. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Vásquez-Arévalo et al. (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde

una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los bosques amazónicos sobre arena blanca y los varillales de Loreto. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Cossios et al. (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

En síntesis, conservación del varillal como sistema socio ecológico debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

El capítulo 1 muestra que el conocimiento útil para conservación surge de relacionar niveles de organización. Los datos locales ofrecen una base concreta; la literatura comparada amplía mecanismos y permite formular preguntas; y el manejo convierte esas preguntas en indicadores y acciones verificables. La continuidad con el capítulo siguiente conserva ese recorrido desde la evidencia hacia la interpretación y, finalmente, hacia la gestión.

CAPÍTULO II

BROMELIACEAE Y AECHMEA NIDULARIOIDES: ADAPTACIÓN, FORMA Y FUNCIÓN

Este capítulo desarrolla una lectura integrada de la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. El propósito no es acumular definiciones, sino construir relaciones entre estructura, procesos y evidencia. La investigación original de Cubas Guerra (2022) funciona como anclaje local cuando corresponde, mientras que la literatura externa se utiliza para ampliar mecanismos y debates. La distinción entre ambas fuentes permite mantener trazabilidad y evitar que resultados de otros sistemas se presenten como datos obtenidos en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. A lo largo del capítulo, las tablas sintetizan comparaciones y las figuras recuperan variables particularmente informativas para el análisis ecológico.

2.1. DIVERSIFICACIÓN EVOLUTIVA DE BROMELIACEAE

La historia evolutiva de Bromeliaceae está marcada por innovaciones que permitieron ocupar ambientes extremadamente contrastantes en el Neotrópico, desde bosques húmedos hasta hábitats secos y expuestos. La literatura representada por Givnish et al. (2014) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Kessous et al. (2021) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

Los análisis filogenéticos modernos han mostrado que la diversidad actual no puede explicarse mediante una única trayectoria adaptativa, sino por múltiples combinaciones de hábitos, metabolismo, arquitectura y estrategias de absorción. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Bratzel et al. (2023) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Zotz et al. (2020) no implica que opere con igual intensidad en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué

parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

La formación de tanques y la capacidad de absorber agua y nutrientes por superficies foliares modificaron la relación de muchas bromelias con el suelo y ampliaron los nichos disponibles. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de North et al. (2023) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Pinto-Junior et al. (2026) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

La evolución de la subfamilia Bromelioideae continúa siendo objeto de revisión mediante datos filogenómicos, lo que aconseja distinguir entre identificaciones de campo estables y conceptos taxonómicos en desarrollo. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Rocha (2023) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas:

duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Givnish et al. (2014) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

El registro fósil de la familia es escaso y obliga a reconstruir buena parte de su historia mediante filogenias calibradas y biogeografía comparada. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Kessous et al. (2021) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Bratzel et al. (2023) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura

trófica. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

Comprender esa historia permite interpretar a *Aechmea nidularioides* como resultado de una radiación adaptativa amplia y no como una excepción ecológica aislada. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Zotz et al. (2020) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. North et al. (2023) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

Tabla 5. Innovaciones funcionales relevantes en Bromeliaceae

Rasgo	Función	Consecuencia ecológica
Roseta/tanque	Captura y almacenamiento de agua	Crea fitotelmas
Tricomatos foliares	Absorción de agua y nutrientes	Reduce dependencia exclusiva de raíces
CAM en varios linajes	Eficiencia hídrica	Favorece ocupación de ambientes restrictivos
Plasticidad de hábito	Terrestre, epífita, saxícola	Expansión de nichos

Síntesis basada en Givnish et al. (2014), Zotz et al. (2020) y Pinto-Junior et al. (2026).

En síntesis, diversificación evolutiva de bromeliaceae debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

2.2. ARQUITECTURA DE ROSETA, TRICOMAS Y CAPTACIÓN DE RECURSOS

La roseta crea una superficie de captación que canaliza lluvia y partículas hacia cavidades foliares, transformando la forma de la planta en una infraestructura hidráulica. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Kessous et al. (2021) no implica que opere con igual intensidad en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de

manejo. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Bratzel et al. (2023) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

La capacidad de almacenamiento depende del tamaño y geometría de la planta, por lo que individuos de distinta dimensión pueden ofrecer volúmenes acuáticos muy diferentes aun dentro de una misma familia. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Zotz et al. (2020) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por North et al. (2023) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

Los tricomas foliares participan en la absorción de agua y nutrientes y reducen la dependencia exclusiva de las raíces en muchas bromelias tanque. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Pinto-Junior et al. (2026) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Rocha (2023) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

La relación entre captación de lluvia, evaporación y absorción determina cuánto tiempo permanece disponible el agua para la propia planta y para los organismos asociados. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Givnish et al. (2014) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Kessous et al. (2021) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

El detrito atrapado en las axilas no es un residuo pasivo: constituye una entrada de carbono y nutrientes que será transformada por microorganismos e invertebrados. En el contexto de la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Bratzel et al. (2023) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Zotz et al. (2020) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa

correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

La arquitectura funcional conecta así tres escalas: morfología vegetal, química del fitotelma y estructura de la comunidad acuática. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de North et al. (2023) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Pinto-Junior et al. (2026) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

Tabla 6. Procesos que determinan la capacidad de un fitotelma

Proceso	Factor controlador	Resultado
Captación	Área de roseta y lluvia	Volumen incorporado
Almacenamiento	Geometría de axilas	Capacidad máxima
Evaporación	Radiación, temperatura, humedad	Pérdida de agua

Proceso	Factor controlador	Resultado
Absorción	Tricomas y estado fisiológico	Transferencia a la planta

Elaboración propia.

En síntesis, arquitectura de roseta, tricomas y captación de recursos debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

2.3. FISIOLÓGÍA BAJO RESTRICCIONES DE AGUA Y NUTRIENTES

Las bromelias combinan estrategias fisiológicas que reducen pérdidas y optimizan la adquisición de recursos en ambientes donde el agua o los nutrientes pueden ser intermitentes. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Bratzel et al. (2023) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Zotz et al. (2020) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando

las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

El metabolismo CAM, presente en diferentes linajes de la familia, ilustra cómo la regulación temporal del intercambio gaseoso puede contribuir a la eficiencia hídrica, aunque no todas las especies ni todos los contextos responden de igual manera. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. North et al. (2023) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Pinto-Junior et al. (2026) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

La nutrición mineral puede depender de raíces, tricomas, agua acumulada y organismos descomponedores, generando una economía de recursos distribuida entre partes de la planta y su micro ecosistema. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida

por Rocha (2023) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Givnish et al. (2014) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

La acidez del agua de los tanques constituye una propiedad funcional que puede influir en transporte, disponibilidad de nutrientes y composición microbiana. La literatura representada por Kessous et al. (2021) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una

consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Bratzel et al. (2023) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

Las respuestas fisiológicas deben interpretarse junto con el microclima; una misma arquitectura puede comportarse de manera distinta bajo sombra estable que bajo apertura intensa del dosel. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Zotz et al. (2020) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por North et al. (2023) no implica que opere con igual intensidad en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

En *Aechmea nidularioides*, la vida terrestre bajo cobertura del varillal plantea preguntas específicas sobre la contribución relativa del suelo, detrito y fitotelmas a su balance de recursos. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Pinto-Junior et al. (2026) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Rocha (2023) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

Tabla 7. Etapas funcionales de una bromelia tanque terrestre

Etapas	Rasgo dominante	Función de axilas
Juvenil	Crecimiento de hojas	Capacidad creciente
Adulta funcional	Roseta desarrollada	Retención estable de agua
Floración/senescencia	Cambio estructural y detrito	Funcionalidad variable
Planta madre declinante	Axilas obstruidas o abiertas	Reducción del hábitat acuático

Elaboración propia con base en Cubas Guerra (2022).

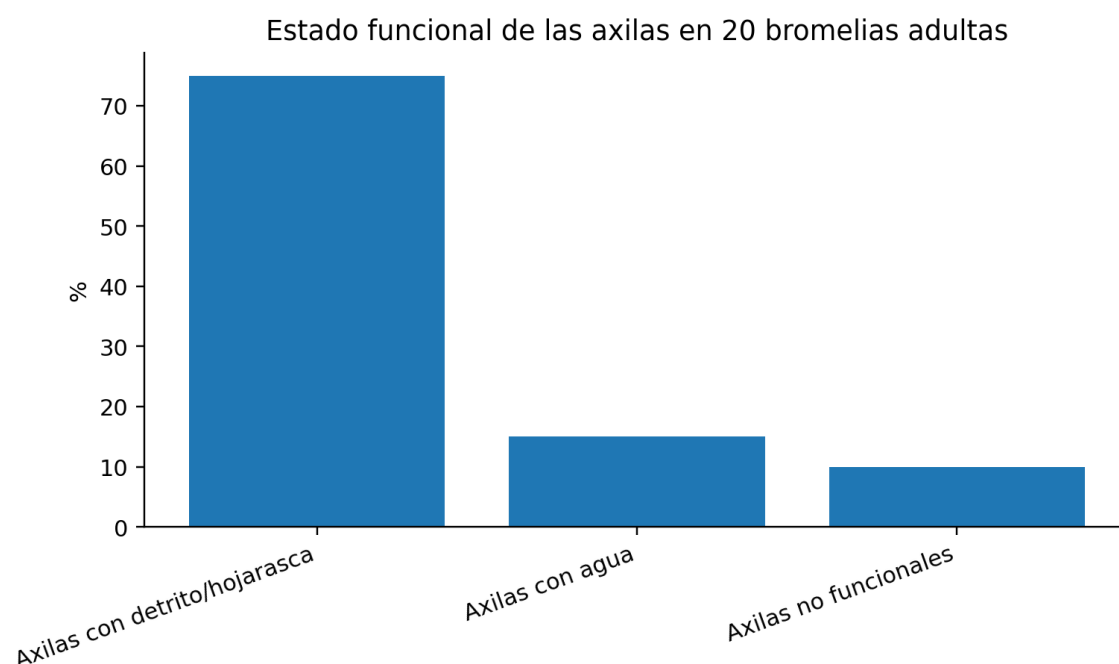


Figura 2. Estado funcional de axilas en una muestra de bromelias adultas

Elaboración propia con datos de Cubas Guerra (2022).

En síntesis, fisiología bajo restricciones de agua y nutrientes debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

2.4. FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y REPRODUCCIÓN

La fenología integra señales ambientales con decisiones de crecimiento y reproducción; por ello, registrar el momento de floración aporta información sobre la relación entre planta y ciclo climático. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Zotz et al. (2020) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este

modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por North et al. (2023) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

La reproducción vegetativa mediante hijuelos permite mantener ocupación espacial aun cuando la reproducción sexual sea limitada o variable, y puede generar agregaciones de individuos genéticamente relacionados. En el contexto de la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Pinto-Junior et al. (2026) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Rocha (2023) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, una lectura

funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

La formación de nuevos brotes también renueva la disponibilidad de axilas funcionales y, con ello, la oferta de microhábitats acuáticos para otros organismos. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Givnish et al. (2014) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Kessous et al. (2021) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

La transición desde individuo funcional hasta senescencia modifica la capacidad de retener agua a medida que se acumula detrito y cambia la orientación de las hojas. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo

haya sido demostrado por Bratzel et al. (2023) no implica que opere con igual intensidad en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Zotz et al. (2020) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

La mortalidad causada por caída de árboles representa una perturbación natural vinculada a la dinámica forestal, mientras que daños antrópicos pueden alterar la frecuencia y distribución de esas pérdidas. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. North et al. (2023) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Pinto-Junior et al. (2026) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

La investigación futura debe distinguir con mayor precisión reproducción clonal, viabilidad de semillas, reclutamiento y longevidad para construir modelos poblacionales de la especie. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Rocha (2023) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Givnish et al. (2014) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías

funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

Tabla 8. Preguntas de investigación sobre reproducción de *Aechmea nidularioides*

Pregunta	Variable sugerida	Método
¿Cuál es la viabilidad de semillas?	Germinación y supervivencia	Ensayo controlado
¿Qué tasa de clonación existe?	Hijuelos por individuo/año	Plantas marcadas
¿Cuál es la longevidad?	Supervivencia individual	Seguimiento longitudinal
¿Hay estructura genética espacial?	Diversidad genética	Marcadores moleculares

Elaboración propia.

En síntesis, fenología, crecimiento y reproducción debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

2.5. AECHMEA NIDULARIOIDES COMO ESPECIE FOCAL

Una especie focal es útil cuando permite articular preguntas sobre ambiente, procesos y comunidad. *Aechmea nidularioides* cumple esa función porque conecta sotobosque, agua retenida, hojarasca y fauna. La literatura representada por North et al. (2023) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una

consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Pinto-Junior et al. (2026) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

La distribución de la especie en el piso del varillal alto seco facilita observaciones repetidas y permite relacionar densidad con condiciones micro ambientales sin depender de acceso al dosel. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Rocha (2023) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Givnish et al. (2014) no implica que opere con igual intensidad en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

Sus fitotelmas ofrecen un punto de observación de procesos de descomposición, uso por anfibios y reptiles, presencia de artrópodos y dinámica de agua a pequeña escala. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Kessous et al. (2021) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Bratzel et al. (2023) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

La especie también puede actuar como indicador de integridad estructural si futuras investigaciones confirman relaciones robustas entre su desempeño, cobertura y disponibilidad hídrica. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Zotz et al. (2020) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento

descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. North et al. (2023) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

Usar una especie focal no implica reducir la conservación a esa especie; al contrario, obliga a identificar las dependencias que la conectan con la vegetación y con otros organismos. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Pinto-Junior et al. (2026) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Rocha (2023) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El

criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

El valor científico reside en pasar de la descripción de *Aechmea nidularioides* a un modelo verificable de interacciones que pueda ponerse a prueba mediante monitoreo de largo plazo. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Givnish et al. (2014) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de la biología funcional de las bromelias y su adaptación al sotobosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Kessous et al. (2021) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

En síntesis, *aechmea nidularioides* como especie focal debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y

decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

El capítulo 2 muestra que el conocimiento útil para conservación surge de relacionar niveles de organización. Los datos locales ofrecen una base concreta; la literatura comparada amplía mecanismos y permite formular preguntas; y el manejo convierte esas preguntas en indicadores y acciones verificables. La continuidad con el capítulo siguiente conserva ese recorrido desde la evidencia hacia la interpretación y, finalmente, hacia la gestión.

CAPÍTULO III

FITOTELMAS COMO MICROECOSISTEMAS: AGUA, DETRITO Y REDES TRÓFICAS

Este capítulo desarrolla una lectura integrada de los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. El propósito no es acumular definiciones, sino construir relaciones entre estructura, procesos y evidencia. La investigación original de Cubas Guerra (2022) funciona como anclaje local cuando corresponde, mientras que la literatura externa se utiliza para ampliar mecanismos y debates. La distinción entre ambas fuentes permite mantener trazabilidad y evitar que resultados de otros sistemas se presenten como datos obtenidos en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. A lo largo del capítulo, las tablas sintetizan comparaciones y las figuras recuperan variables particularmente informativas para el análisis ecológico.

3.1. EL FITOTELMA COMO ECOSISTEMA ACUÁTICO EN MINIATURA

Un fitotelma es una masa de agua contenida por una estructura vegetal y, aunque su volumen sea pequeño, puede presentar productores, consumidores, descomponedores y depredadores. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Romero et al. (2020) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los fitotelmas como

pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Malfatti et al. (2020) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

La escala reducida facilita observar entradas de recursos, tasas de descomposición, cambios de comunidad y efectos de perturbaciones en periodos relativamente cortos. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Antonetti et al. (2021) no implica que opere con igual intensidad en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Vergne et al. (2021) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

Los fitotelmas están conectados con el ecosistema terrestre por lluvia, hojarasca, insectos, depredadores y nutrientes, de modo que no funcionan como recipientes cerrados. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Aguilar-Cruz et al. (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Dos Santos et al. (2023) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

La identidad y tamaño de la planta anfitriona modifican la duración del agua, la cantidad de detrito y la superficie disponible para colonización. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Rogy y Srivastava (2023) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite

reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Antiqueira et al. (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

La estabilidad del micro ecosistema depende de un equilibrio entre llenado, pérdida de agua, aporte de materia orgánica y actividad biológica. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Séguigne et al. (2024, 2025) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Romero et al. (2020) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y

que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

El estudio de fitotelmas permite vincular ecología de comunidades con fisiología vegetal porque la planta crea el hábitat y al mismo tiempo utiliza recursos procesados dentro de él. En el contexto de los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Malfatti et al. (2020) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Antonetti et al. (2021) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

Tabla 9. Compartimentos funcionales del fitotelma

Compartimento	Ejemplos	Función
Materia orgánica	Hojas, flores, detrito	Entrada de carbono y nutrientes

Compartimento	Ejemplos	Función
Microorganismos	Bacterias, hongos, protistas	Descomposición y transformación
Microfauna	Rotíferos, pequeños metazoos	Consumo y reciclaje
Macroinvertebrados	Larvas, coleópteros, odonatos	Fragmentación y depredación
Vertebrados	Larvas de anuros y otros usos	Consumo, refugio, reproducción

Elaboración propia a partir de la literatura revisada.

En síntesis, el fitotelma como ecosistema acuático en miniatura debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

3.2. DETRITO, MICROORGANISMOS Y CICLADO DE NUTRIENTES

En fitotelmas sombreados, la materia orgánica alóctona puede constituir una fuente energética dominante y sostener redes tróficas basadas en detrito. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Malfatti et al. (2020) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Antonetti et al. (2021) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la

organización previa de la comunidad. Aplicado a los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

Bacterias, hongos, protozoos y pequeños metazoos transforman partículas y compuestos disueltos, acelerando la mineralización y modificando la disponibilidad de nutrientes. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Vergne et al. (2021) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Aguilar-Cruz et al. (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

Las comunidades microbianas no son uniformes; estudios recientes muestran que la identidad de la bromelia y los gradientes ambientales pueden influir en su composición y

potencial metabólico. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Dos Santos et al. (2023) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Rogy y Srivastava (2023) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

La presencia de hongos amplía la comprensión de los fitotelmas como sistemas donde ocurren procesos complejos de descomposición, no solo como criaderos de insectos o anfibios. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Antikeira et al. (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Séguigne et al. (2024, 2025) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

La planta puede competir con microorganismos por nutrientes disueltos y, al mismo tiempo, beneficiarse de la mineralización realizada por ellos, produciendo relaciones simultáneamente competitivas y facilitadoras. La literatura representada por Romero et al. (2020) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Malfatti et al. (2020) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la

supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

Estas interacciones sugieren que el estado del fitotelma debe evaluarse mediante variables físicas, químicas y biológicas de manera conjunta. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Antonetti et al. (2021) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Vergne et al. (2021) no implica que opere con igual intensidad en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

Tabla 10. Estudios recientes sobre microbiota de fitotelmas

Tema	Hallazgo general	Referencia
Bacterias fototróficas	Firma asociada a la identidad de la bromelia	Vergne et al., 2021
Comunidades procarióticas	Funciones metabólicas redundantes a lo largo de un gradiente	Aguilar-Cruz et al., 2022

Tema	Hallazgo general	Referencia
Micobiota	Alta diversidad fúngica en fitotelmas	Dos Santos et al., 2023
Competencia por nutrientes	La planta modifica nutrientes y microorganismos del tanque	Rogy & Srivastava, 2023

Elaboración propia.

En síntesis, detrito, microorganismos y ciclado de nutrientes debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

3.3. MACROINVERTEBRADOS Y ORGANIZACIÓN TRÓFICA

Los macroinvertebrados ocupan distintos gremios funcionales, incluidos fragmentadores, recolectores, filtradores y depredadores, y su composición influye en la velocidad con que se procesa el detrito. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Antonetti et al. (2021) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Vergne et al. (2021) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En

los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

La estructura de la comunidad responde al tamaño del hábitat, la cantidad de materia orgánica, el régimen hídrico y la presencia de depredadores. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Aguilar-Cruz et al. (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Dos Santos et al. (2023) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

La pérdida de depredadores superiores puede desencadenar efectos indirectos sobre grupos de niveles tróficos inferiores y modificar flujos entre los compartimentos acuático y terrestre. En el contexto de los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una

consecuencia ecológica. Rogy y Srivastava (2023) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Antikeira et al. (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

La riqueza taxonómica no equivale necesariamente a redundancia funcional; algunas especies pueden desempeñar funciones desproporcionadas en descomposición o control poblacional. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Séguigne et al. (2024, 2025) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Romero et al. (2020) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

Los estudios comparativos muestran que la respuesta de comunidades de fitotelmas varía entre regiones, especies de bromelia y contextos de cobertura, por lo que es necesario evitar extrapolaciones automáticas. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Malfatti et al. (2020) no implica que opere con igual intensidad en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Antonetti et al. (2021) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de

conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

En el varillal alto seco, la identificación de macroinvertebrados de hojarasca y de organismos asociados a las axilas constituye una base inicial que puede ampliarse con muestreo estandarizado y herramientas moleculares. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Vergne et al. (2021) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Aguilar-Cruz et al. (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

Tabla 11. Efectos climáticos examinados en bromelias tanque

Perturbación	Proceso afectado	Referencia
Lluvia extrema	Estructura trófica	Romero et al., 2020
Calentamiento y pérdida de depredador	Interacciones acuáticas y terrestres	Antiqueira et al., 2022

Perturbación	Proceso afectado	Referencia
Sequía + deforestación	Comunidades y funciones ecosistémicas	Séguigne et al., 2024
Sequía e aislamiento	Resistencia y recuperación	Séguigne et al., 2025

Elaboración propia.

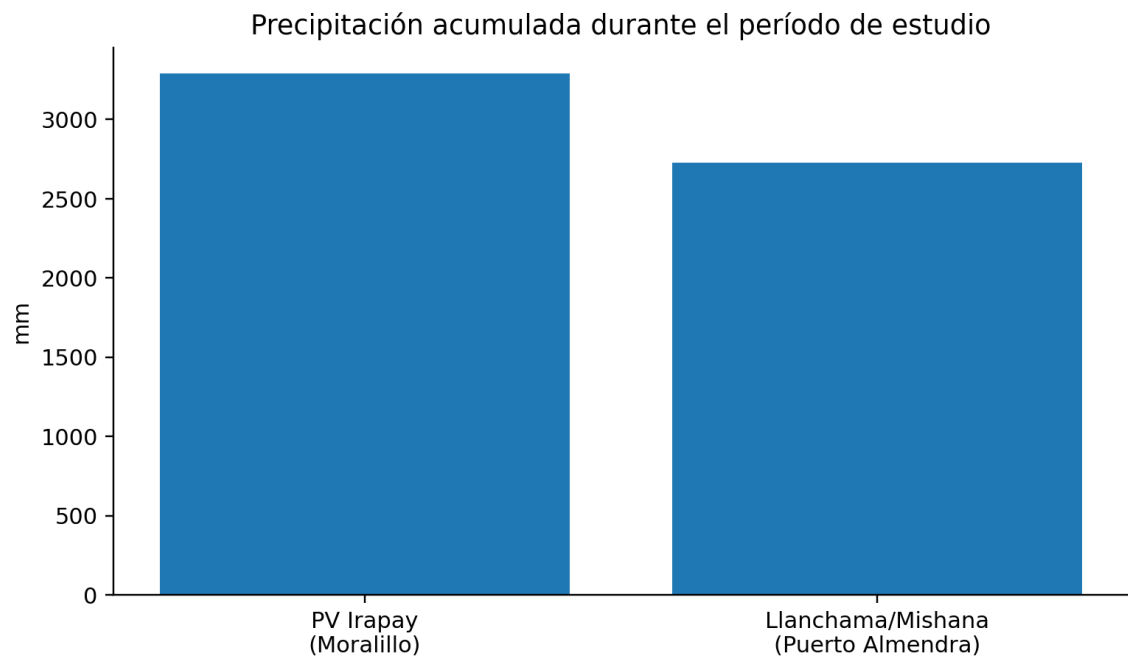


Figura 3. Precipitación acumulada reportada para los sectores del estudio

Elaboración propia con datos de Cubas Guerra (2022).

En síntesis, macroinvertebrados y organización trófica debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

3.4. VERTEBRADOS, REPRODUCCIÓN Y REFUGIO

Los fitotelmas pueden funcionar como lugares de oviposición, desarrollo larvario, refugio o hidratación para vertebrados de pequeño tamaño, especialmente anfibios. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos

y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Vergne et al. (2021) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Aguilar-Cruz et al. (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

La selección de un fitotelma por una especie animal depende de volumen de agua, permanencia, exposición, presencia de depredadores y disponibilidad de alimento. La literatura representada por Dos Santos et al. (2023) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Rogy y Srivastava (2023) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

Las interacciones planta-animal cambian con la edad de la bromelia porque la acumulación de detrito puede reducir la capacidad de retención de agua y transformar el microhábitat. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Antiqueira et al. (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Séguigne et al. (2024, 2025) no implica que opere con igual intensidad en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe

señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

Los huevos o larvas depositados en axilas quedan expuestos a sequía, depredación y variación de calidad del agua, por lo que la planta no constituye un refugio automáticamente seguro. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Romero et al. (2020) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Malfatti et al. (2020) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

La presencia de reptiles, salamandras, ranas, arañas y larvas de insectos alrededor de *Aechmea nidularioides* evidencia la diversidad de usos posibles de una misma estructura vegetal. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Antonetti et al. (2021) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia,

volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Vergne et al. (2021) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

La conservación de estas relaciones exige mantener un mosaico de individuos en diferentes estados de desarrollo y no únicamente plantas adultas de gran tamaño. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Aguilar-Cruz et al. (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Dos Santos et al. (2023) muestran que la ecología de

bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

Tabla 12. Variables recomendadas para caracterizar un fitotelma

Dimensión	Variables	Frecuencia sugerida
Hidrología	Volumen, presencia/ausencia, duración	Semanal o quincenal en periodos críticos
Física	Temperatura, luz	Continua o mensual
Química	pH, conductividad, nutrientes	Mensual/estacional
Biológica	Riqueza, abundancia, gremios	Estacional

Elaboración propia.

En síntesis, vertebrados, reproducción y refugio debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

3.5. PRECIPITACIÓN EXTREMA, SEQUÍA Y RESILIENCIA

El régimen de lluvia controla la frecuencia de llenado, el tiempo de residencia del agua y la probabilidad de desecación, por lo que es un regulador de primer orden de los fitotelmas. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Aguilar-Cruz et al. (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece

medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Dos Santos et al. (2023) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

Los eventos de lluvia extrema pueden modificar la estructura trófica mediante lavado de organismos, dilución de nutrientes y cambios en la disponibilidad de recursos. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Rogy y Srivastava (2023) no implica que opere con igual intensidad en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Antikeira et al. (2022) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera

el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

La sequía prolongada reduce el volumen disponible y puede provocar mortalidad, enquistamiento o migración, pero la recuperación posterior depende de resistencia local y recolonización. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Séguigne et al. (2024, 2025) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Romero et al. (2020) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

Los experimentos recientes muestran que tamaño del hábitat, aislamiento y conectividad entre bromelias influyen en la respuesta de comunidades acuáticas a periodos sin lluvia. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En los fitotelmas

como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Malfatti et al. (2020) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Antonetti et al. (2021) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

La deforestación y la sequía pueden interactuar porque la apertura del dosel aumenta radiación y evaporación, superponiendo dos presiones que no deberían evaluarse por separado. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Vergne et al. (2021) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Aguilar-Cruz et al. (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

Para Allpahuayo Mishana, el monitoreo de fitotelmas ofrece una escala sensible con la que detectar cambios hidrológicos antes de que sus efectos sean evidentes en organismos de mayor tamaño. En el contexto de los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Dos Santos et al. (2023) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Rogy y Srivastava (2023) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En los fitotelmas como pequeños ecosistemas acuáticos conectados al bosque, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque

separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

En síntesis, precipitación extrema, sequía y resiliencia debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

El capítulo 3 muestra que el conocimiento útil para conservación surge de relacionar niveles de organización. Los datos locales ofrecen una base concreta; la literatura comparada amplía mecanismos y permite formular preguntas; y el manejo convierte esas preguntas en indicadores y acciones verificables. La continuidad con el capítulo siguiente conserva ese recorrido desde la evidencia hacia la interpretación y, finalmente, hacia la gestión.

CAPÍTULO IV

INTERACCIONES MULTIESPECÍFICAS Y CONSERVACIÓN EN PAISAJES DE VARILLAL

Este capítulo desarrolla una lectura integrada de la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. El propósito no es acumular definiciones, sino construir relaciones entre estructura, procesos y evidencia. La investigación original de Cubas Guerra (2022) funciona como anclaje local cuando corresponde, mientras que la literatura externa se utiliza para ampliar mecanismos y debates. La distinción entre ambas fuentes permite mantener trazabilidad y evitar que resultados de otros sistemas se presenten como datos obtenidos en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. A lo largo del capítulo, las tablas sintetizan comparaciones y las figuras recuperan variables particularmente informativas para el análisis ecológico.

4.1. DE LA PLANTA INDIVIDUAL A LA RED DE INTERACCIONES

La ecología de una bromelia se comprende mejor como una red de relaciones que incluye árboles vecinos, hojarasca, microorganismos, invertebrados y vertebrados. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. García-Villacorta et al. (2016) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo

haya sido demostrado por Ampudia Gatty et al. (2020) no implica que opere con igual intensidad en la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

La sombra aportada por la vegetación circundante modifica temperatura y evaporación, mientras la caída de hojas aporta materia orgánica que puede nutrir el fitotelma o terminar obstruyéndolo. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Chávez-Veintemilla et al. (2021) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Vásquez Bardales et al. (2021) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

Los animales utilizan la planta de formas diferentes: algunos consumen recursos, otros depositan huevos, otros depredan y otros aportan materia orgánica mediante excretas o restos de presas. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Vásquez-Arévalo et al. (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Cossios et al. (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

Una interacción puede cambiar de signo según el contexto; el detrito, por ejemplo, funciona como recurso en cantidades moderadas y como factor de taponamiento cuando se acumula excesivamente. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Séguigne et al. (2024) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una

estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de SERNANP (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

Las redes ecológicas son dinámicas porque las etapas de vida de la bromelia y la estacionalidad alteran la disponibilidad de hábitat. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por García-Villacorta et al. (2016) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Ampudia Gatty et al. (2020) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir

entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

La gestión debe proteger esa dinámica y evitar medidas que busquen congelar el sistema en una condición estática. La literatura representada por Chávez-Veintemilla et al. (2021) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Vásquez Bardales et al. (2021) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

Tabla 13. Interacciones ecológicas alrededor de *Aechmea nidularioides*

Interacción	Mecanismo	Resultado potencial
-------------	-----------	---------------------

Interacción	Mecanismo	Resultado potencial
Vegetación–bromelia	Sombra	Menor evaporación
Vegetación–fitotelma	Caída de hojarasca	Recurso y eventual taponamiento
Bromelia–fauna	Retención de agua y refugio	Uso reproductivo o de protección
Depredador–presa	Consumo dentro de axilas	Regulación trófica

Elaboración propia con base en Cubas Guerra (2022) y literatura reciente.

En síntesis, de la planta individual a la red de interacciones debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

4.2. VEGETACIÓN ACOMPAÑANTE, SOMBRA Y SOPORTE DEL MICROHÁBITAT

La comunidad vegetal del varillal crea una matriz física que regula radiación, temperatura, humedad y caída de materia orgánica sobre las bromelias terrestres. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Ampudia Gatty et al. (2020) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Chávez-Veintemilla et al. (2021) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la red de interacciones y la

conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

La composición florística no es únicamente un inventario taxonómico; determina arquitectura del dosel, patrones de hojarasca y heterogeneidad de recursos. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Vásquez Bardales et al. (2021) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Vásquez-Arévalo et al. (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

Las especies leñosas participan indirectamente en la persistencia de fitotelmas al reducir la exposición y la evaporación en el sotobosque. Finalmente, la relevancia aplicada

aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Cossios et al. (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Séguigne et al. (2024) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

La caída de ramas y árboles forma parte de la dinámica del bosque, generando claros temporales que modifican microclima y pueden causar mortalidad localizada de bromelias. En el contexto de la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. SERNANP (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por García-Villacorta et al. (2016) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

La pérdida extensa de vegetación por extracción o conversión rompe la amortiguación micro climática y puede alterar simultáneamente la planta focal y sus organismos asociados. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Ampudia Gatty et al. (2020) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Chávez-Veintemilla et al. (2021) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a

comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

Por ello, las acciones de conservación deben considerar radio de influencia alrededor de los parches y no limitarse a proteger individuos de *Aechmea nidularioides*. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Vásquez Bardales et al. (2021) no implica que opere con igual intensidad en la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Vásquez-Arévalo et al. (2022) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

Tabla 14. Indicadores complementarios para conservación

Indicador	Qué detecta	Escala
Cobertura de dosel	Apertura y degradación	Parcela/parche
Permanencia de agua en fitotelmas	Estrés hídrico	Microhábitat
Densidad de <i>A. nidularioides</i>	Estado poblacional	Parcela
Macroinvertebrados funcionales	Cambios de red trófica	Fitotelma

Indicador	Qué detecta	Escala
Presión de extracción	Riesgo antrópico	Paisaje

Elaboración propia.

En síntesis, vegetación acompañante, sombra y soporte del microhábitat debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

4.3. BIODIVERSIDAD DE ALLPAHUAYO MISHANA Y COMPLEMENTARIEDAD DE INDICADORES

Los estudios recientes de la reserva muestran que diferentes grupos responden a dimensiones distintas del hábitat, lo que justifica un sistema de indicadores complementarios. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Chávez-Veintemilla et al. (2021) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Vásquez Bardales et al. (2021) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo,

la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

Las aves pueden reflejar recambio entre tipos de suelo y estructura de vegetación; los escarabajos pueden responder a cambios de cobertura; los mamíferos ofrecen señales sobre presión humana y conectividad. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Vásquez-Arévalo et al. (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Cossios et al. (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

Las comunidades planctónicas de cuerpos de agua mayores aportan información distinta a la de fitotelmas, pero ambas escalas pueden integrarse para evaluar calidad ecológica. La literatura representada por Séguigne et al. (2024) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de

Allpahuayo Mishana, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de SERNANP (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

La elección de indicadores debe balancear sensibilidad, costo, posibilidad de repetición y capacidad de interpretación por parte de gestores. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. García-Villacorta et al. (2016) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La

interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Ampudia Gatty et al. (2020) no implica que opere con igual intensidad en la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

Un indicador útil no necesita medir toda la biodiversidad, pero sí responder de manera consistente a una presión o proceso relevante. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Chávez-Veintemilla et al. (2021) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Vásquez Bardales et al. (2021) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

La propuesta de monitoreo de *Aechmea nidularioides* puede complementarse con indicadores de cobertura, microclima, fauna y presión antrópica. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Vásquez-Arévalo et al. (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Cossios et al. (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

Tabla 15. Diferencias entre perturbación natural y presión antrópica

Criterio	Perturbación natural	Presión antrópica
Escala	Generalmente localizada	Puede ser extensa
Duración	Temporal con regeneración	Persistente o recurrente
Sustrato	Suele conservarse	Puede removerse por extracción
Conectividad	Refugios cercanos frecuentes	Puede fragmentarse

Elaboración propia.

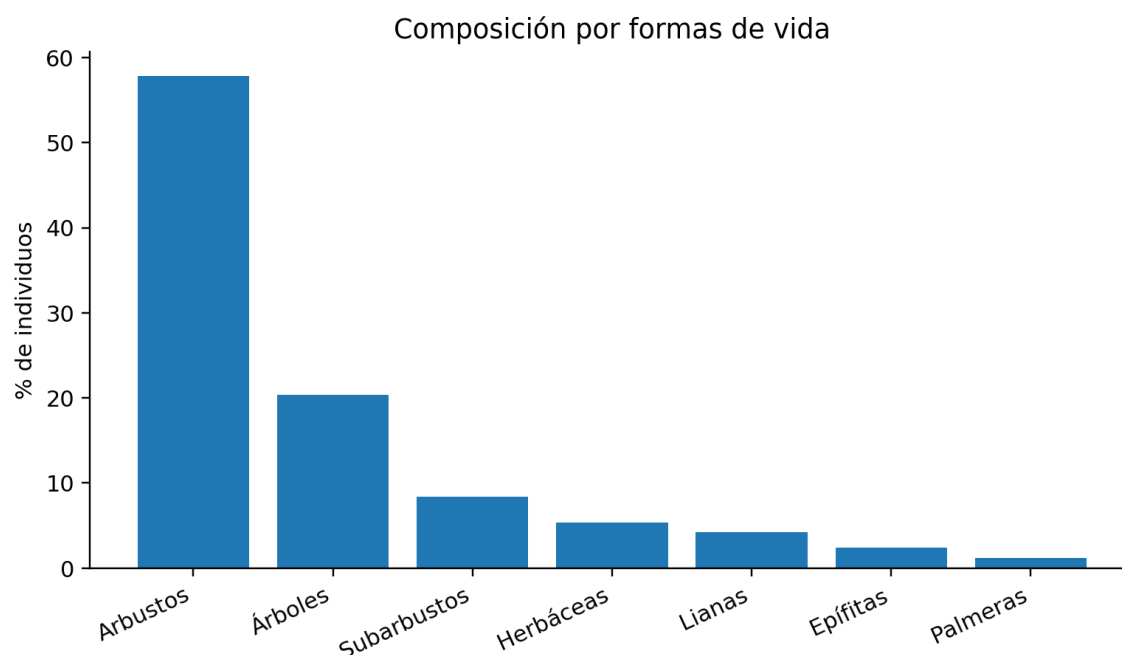


Figura 4. Formas de vida de la vegetación registrada en el varillal alto seco

Elaboración propia con datos de Cubas Guerra (2022).

En síntesis, biodiversidad de allpahuayo mishana y complementariedad de indicadores debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

4.4. AMENAZAS: EXTRACCIÓN, FRAGMENTACIÓN Y CAMBIO CLIMÁTICO

La extracción de arena blanca elimina el sustrato y la cobertura de manera directa, por lo que su impacto difiere cualitativamente de perturbaciones pequeñas del dosel. En el contexto de la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Vásquez Bardales et al. (2021) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el

régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Vásquez-Arévalo et al. (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

La expansión agrícola y el uso de bordes pueden incrementar fragmentación, facilitar acceso y reducir continuidad entre parches de varillal. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Cossios et al. (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Séguigne et al. (2024) permite situar ese intercambio dentro de

un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

El cambio climático introduce una presión más difusa mediante alteraciones en duración de periodos secos, temperatura y ocurrencia de eventos extremos. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por SERNANP (2022) no implica que opere con igual intensidad en la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de García-Villacorta et al. (2016) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

Las amenazas pueden acumularse y producir efectos no lineales: una sequía moderada puede volverse más severa para los fitotelmas si coincide con pérdida de sombra. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Ampudia Gatty et al. (2020) aporta

evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Chávez-Veintemilla et al. (2021) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

Los parches externos al área protegida merecen atención porque pueden actuar como reservorios de diversidad, zonas de conectividad o focos de degradación que afectan el paisaje mayor. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Vásquez Bardales et al. (2021) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Vásquez-Arévalo et al. (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

La gestión preventiva es especialmente importante en ecosistemas de baja fertilidad, donde la recuperación de suelos y comunidades puede ser lenta. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Cossios et al. (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Séguigne et al. (2024) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos,

donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

Tabla 16. Principios de manejo adaptativo

Etapas	Pregunta	Producto
Diagnóstico	¿Qué proceso está en riesgo?	Hipótesis y línea de base
Acción	¿Qué intervención es viable?	Medida aplicada
Monitoreo	¿Qué cambió?	Indicadores comparables
Evaluación	¿Funcionó?	Decisión de mantener, ajustar o retirar

Elaboración propia.

En síntesis, amenazas: extracción, fragmentación y cambio climático debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

4.5. CONSERVACIÓN BASADA EN PROCESOS Y APRENDIZAJE ADAPTATIVO

La conservación basada en procesos prioriza mantener ciclos hidrológicos, cobertura, descomposición, dispersión y relaciones tróficas, además de evitar la pérdida de especies. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Vásquez-Arévalo et al. (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Cossios et al. (2022) no implica que opere con igual intensidad en la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

El manejo adaptativo convierte cada intervención en una oportunidad de aprendizaje mediante objetivos explícitos, indicadores, umbrales y revisión de resultados. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Séguigne et al. (2024) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. SERNANP (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta

definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

La vigilancia debe concentrarse en sitios donde la combinación de accesibilidad, presión y valor ecológico genera mayor riesgo, sin descuidar parches aislados que podrían aportar resiliencia. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por García-Villacorta et al. (2016) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Ampudia Gatty et al. (2020) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

La investigación aplicada puede evaluar restauración de cobertura, respuesta de fitotelmas, viabilidad de poblaciones y eficacia de educación ambiental. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Chávez-Veintemilla et al. (2021) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En la red de

interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Vásquez Bardales et al. (2021) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

La participación local mejora la continuidad del monitoreo cuando los indicadores son comprensibles y las acciones responden a problemas reconocidos por las comunidades. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Vásquez-Arévalo et al. (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el

interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Cossios et al. (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

Un plan de conservación robusto integra ciencia, gestión, cumplimiento normativo y aprendizaje social en una misma secuencia de decisiones. La literatura representada por Séguigne et al. (2024) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de SERNANP (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En la red de interacciones y la conservación del paisaje de Allpahuayo Mishana, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

En síntesis, conservación basada en procesos y aprendizaje adaptativo debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

El capítulo 4 muestra que el conocimiento útil para conservación surge de relacionar niveles de organización. Los datos locales ofrecen una base concreta; la literatura comparada amplía mecanismos y permite formular preguntas; y el manejo convierte esas preguntas en indicadores y acciones verificables. La continuidad con el capítulo siguiente conserva ese recorrido desde la evidencia hacia la interpretación y, finalmente, hacia la gestión.

CAPÍTULO V

ECOLOGÍA DE *AECHMEA NIDULARIOIDES* EN LA RESERVA NACIONAL ALLPAHUAYO MISHANA: CASO DE ESTUDIO 2016–2017

Este capítulo desarrolla una lectura integrada de el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. El propósito no es acumular definiciones, sino construir relaciones entre estructura, procesos y evidencia. La investigación original de Cubas Guerra (2022) funciona como anclaje local cuando corresponde, mientras que la literatura externa se utiliza para ampliar mecanismos y debates. La distinción entre ambas fuentes permite mantener trazabilidad y evitar que resultados de otros sistemas se presenten como datos obtenidos en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. A lo largo del capítulo, las tablas sintetizan comparaciones y las figuras recuperan variables particularmente informativas para el análisis ecológico.

5.1. ESCENARIO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE OBSERVACIÓN

La investigación original desarrolló trabajo de campo desde octubre de 2016 hasta septiembre de 2017 en varillales altos secos de PV Irapay, Llanchara y Mishana, dentro del ámbito de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Cubas Guerra (2022) no implica que opere con igual intensidad en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación.

Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Cubas Guerra (2022) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

El diseño fue descrito como longitudinal y la investigación como descriptivo-correlacional, con observaciones repetidas de factores abióticos y bióticos a lo largo de un ciclo anual. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Cubas Guerra (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Cubas Guerra (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017 exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

Los sitios fueron georreferenciados y la densidad de *Aechmea nidularioides* se evaluó mediante 45 parcelas de 5 por 5 metros, distribuidas en 15 parcelas por lugar de muestreo. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Cubas Guerra (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Cubas Guerra (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

La selección de parcelas se realizó mediante muestreo probabilístico al azar sin reemplazo a partir de cuadrículas trazadas sobre cartografía del varillal. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Cubas Guerra (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se

limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Cubas Guerra (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

La combinación de mediciones de microclima, observación de la planta, inventario vegetal y registros de fauna permitió construir una caracterización integrada del hábitat. En el contexto de el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Cubas Guerra (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Cubas Guerra (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y

2017, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

En el libro se preservan los valores originales y, cuando el texto de la tesis contiene interpretaciones incompatibles con sus propias tablas, la discrepancia se señala de manera transparente sin alterar los datos. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Cubas Guerra (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Cubas Guerra (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

Tabla 17. Sitios de muestreo de la investigación original

Sitio	Coordenadas UTM reportadas	Contexto
-------	----------------------------	----------

Sitio	Coordenadas UTM reportadas	Contexto
Llanchama	676159.157 / 9571640.363	Varillal alto seco
PV Irapay (km 28)	673092.8 / 9560348.834	Carretera Iquitos–Nauta
Mishana	667181.065 / 9568298.553	Sector del río Nanay

Fuente: Cubas Guerra (2022), tabla de ubicación de varillales.

En síntesis, escenario de estudio y diseño de observación debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

5.2. FACTORES ABIÓTICOS Y MICROCLIMA DEL VARILLAL

Los registros de temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación y entrada de luz describen un ambiente de sotobosque condicionado por cobertura vegetal y variación estacional de lluvia. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Cubas Guerra (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017 exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Cubas Guerra (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de

los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

Para la Reserva, la tesis reportó temperaturas ambientales dentro de un rango amplio y humedades relativas elevadas, mientras que el sotobosque mostró variación entre sitios y horas del día. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Cubas Guerra (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Cubas Guerra (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

La precipitación acumulada reportada fue de 3 288.5 mm para el sector de PV Irapay usando la estación Moralillo y de 2 725.8 mm para Llanchama y Mishana usando Puerto Almendra durante el período considerado. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el caso de estudio de *Aechmea*

nidularioides registrado entre 2016 y 2017. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Cubas Guerra (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto de el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Cubas Guerra (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

La entrada de luz al piso del varillal durante días soleados se mantuvo generalmente entre 10 y 15 %, con promedios de 12.2 % en Irapay, 13.0 % en Llanchara y 13.1 % en Mishana. La literatura representada por Cubas Guerra (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Cubas Guerra (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

La investigación observó también aperturas con exposición cercana al 100 % por caída de árboles y condiciones de días sombríos con entrada prácticamente nula, evidenciando heterogeneidad a escala fina. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Cubas Guerra (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Cubas Guerra (2022) no implica que opere con igual intensidad en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué

parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

La interpretación ecológica central fue que la cobertura mantiene condiciones de sombra asociadas al desarrollo de *Aechmea nidularioides* y a la permanencia de agua en sus axilas. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Cubas Guerra (2022) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Cubas Guerra (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

Tabla 18. Promedios de entrada de luz al piso del varillal

Parcela	Irapay (%)	Llanchama (%)	Mishana (%)
1	12	12	13
2	10	12	15
3	13	15	13
4	15	15	15

Parcela	Irapay (%)	Llanchama (%)	Mishana (%)
5	12	12	12
6	10	10	10
7	10	12	15
8	12	12	12
9	13	15	13
10	15	15	13
Promedio	12.2	13	13.1

Fuente: Cubas Guerra (2022).

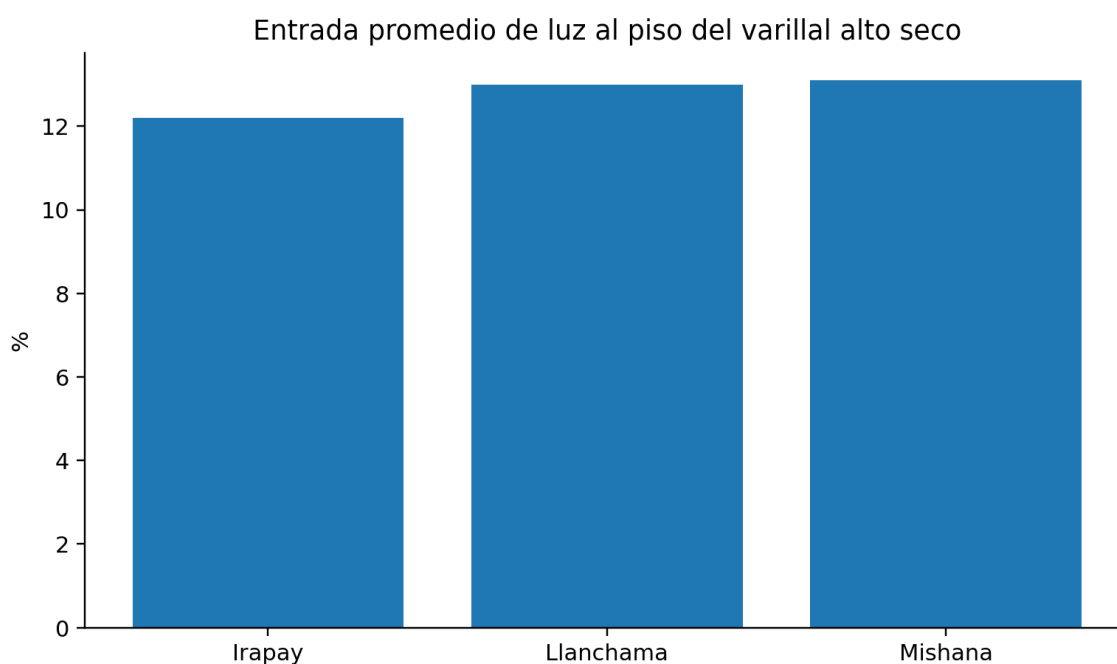


Figura 5. Entrada promedio de luz al piso del varillal

Elaboración propia con datos de Cubas Guerra (2022).

En síntesis, factores abióticos y microclima del varillal debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

5.3. FLORACIÓN, REPRODUCCIÓN, HOJARASCA Y DENSIDAD

La floración fue descrita como un evento único por individuo y de ocurrencia discontinua entre plantas, con inicio del proceso observado desde febrero y una progresión de la inflorescencia a lo largo de varios meses. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Cubas Guerra (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Cubas Guerra (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

La reproducción vegetativa mediante rizomas laterales fue señalada como el modo predominante, con formación de uno, dos o tres hijuelos por planta madre. En el contexto de el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Cubas Guerra (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola

causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Cubas Guerra (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

En una muestra de 20 bromelias adultas con un promedio de 16 hojas, la tesis registró 75 % de axilas llenas de detrito y hojarasca, 15 % con retención de agua y 10 % ya no funcionales por apertura u orientación horizontal. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Cubas Guerra (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el caso de estudio de

Aechmea nidularioides registrado entre 2016 y 2017, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Cubas Guerra (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

El grosor de hojarasca de una de las series reportadas presentó una media general de 13.06 cm y diferencias entre sitios, mientras otra sección de la tesis describe un submuestreo de macroinvertebrados con grosores de 20 a 30 cm; ambos registros se mantienen como contextos de muestreo distintos. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Cubas Guerra (2022) no implica que opere con igual intensidad en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Cubas Guerra (2022) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

La densidad general de *Aechmea nidularioides* fue de 25.6 individuos por 25 m², con valores medios de 27.0 en Irapay, 23.8 en Llanchara y 26.0 en Mishana. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Cubas Guerra (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Cubas Guerra (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017 exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

La variabilidad entre parcelas fue considerable, lo que refuerza la importancia de conservar heterogeneidad espacial y evitar interpretar un promedio como densidad uniforme del ecosistema. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Cubas Guerra (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La

interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Cubas Guerra (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

Tabla 19. Variación del grosor de la hojarasca

Estadígrafo	General	Irapay	Llanchama	Mishana
n	15	5	5	5
Mínimo	5	6	8	5
Máximo	25	25	20	19
Media	13.06	13.2	14.6	11.4
Varianza	32.63	53.7	22.8	31.3
Desv. estándar	5.71	7.32	4.77	5.59

Fuente: Cubas Guerra (2022).

Tabla 20. Densidad de *Aechmea nidularioides* en 25 m²

Estadígrafo	RNAM	Irapay	Llanchama	Mishana
n	45	15	15	15
Mínimo	7	7	16	16
Máximo	40	40	31	35
Media	25.6	27	23.8	26

Estadígrafo	RNAM	Irapay	Llanchama	Mishana
Varianza	79.4	163	49.7	58.5
Desv. estándar	8.97	12.76	7.04	7.64

Fuente: Cubas Guerra (2022).

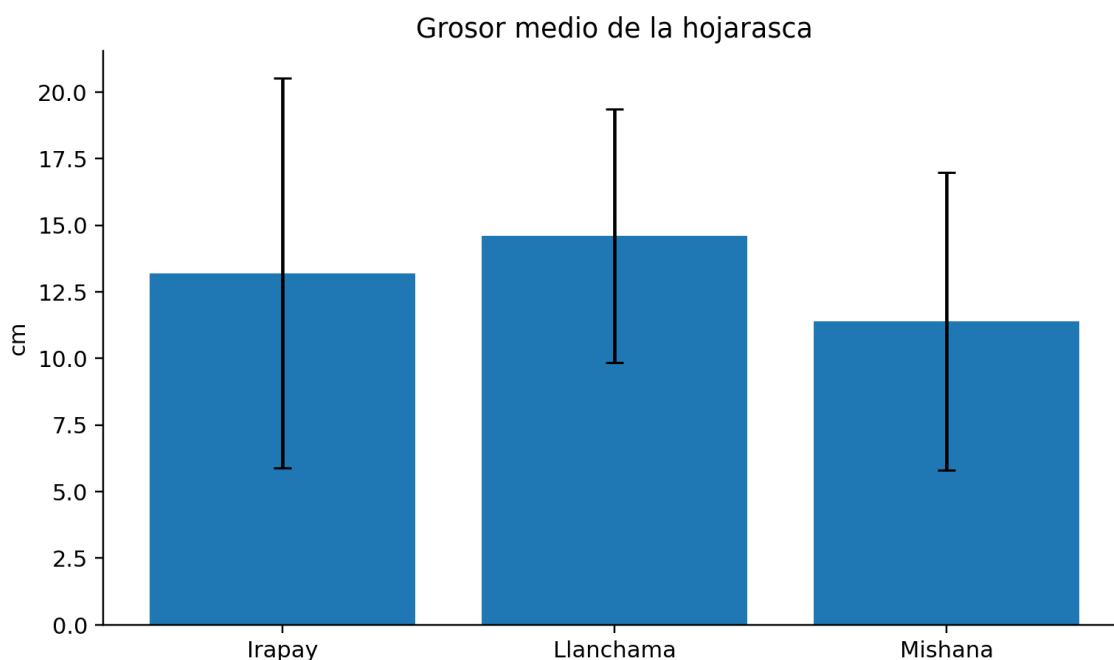


Figura 6. Grosor medio de hojarasca por sitio

Elaboración propia con datos de Cubas Guerra (2022); barras de error = desviación estándar.

En síntesis, floración, reproducción, hojarasca y densidad debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

5.4. COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y RELACIONES CON FAUNA

La composición florística del varillal alto seco registrada en la investigación reunió 56 familias y 142 especies, con predominio de Fabaceae, Araceae, Lauraceae y Sapotaceae entre las familias más ricas. La literatura representada por Cubas Guerra (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides*

registrado entre 2016 y 2017, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Cubas Guerra (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

En una síntesis por formas de vida de 166 individuos, los arbustos representaron 57.8 %, los árboles 20.4 %, los subarbustos 8.4 %, las herbáceas 5.4 %, las lianas 4.2 %, las epífitas 2.4 % y las palmeras 1.2 %. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Cubas Guerra (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Cubas Guerra (2022) no implica que opere con igual intensidad en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

Entre las Bromeliaceae se reportaron *Aechmea corymbosa*, *Aechmea martensii*, *Aechmea nidularioides* y *Guzmania calothyrsa*, todas relevantes para comprender la oferta de estructuras capaces de retener agua. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Cubas Guerra (2022) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Cubas Guerra (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta

definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

Los fitotelmas y hojas fueron utilizados por artrópodos y por vertebrados, incluidos *Anolis* spp., *Bolitoglossa altamazonica*, *Osteocephalus* spp., *Ranitomeya reticulata* y *Ranitomeya amazonica*. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Cubas Guerra (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017 exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Cubas Guerra (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

La investigación interpretó la vegetación leñosa como fuente de sombra indispensable y, simultáneamente, como fuente de hojarasca que puede aportar detrito o taponar progresivamente las axilas. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Cubas Guerra (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas

evidentes de riqueza. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Cubas Guerra (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

Estas observaciones muestran una relación bidireccional entre la planta focal y su comunidad: la bromelia ofrece microhábitat y la comunidad circundante determina buena parte de las condiciones bajo las cuales ese microhábitat persiste. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Cubas Guerra (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el

contexto de el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Cubas Guerra (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

Tabla 21. Resultados estadísticos que requieren lectura cuidadosa

Análisis	Valor reportado	Lectura del libro
ANOVA hojarasca	$F=0.3581$; $p=0.7103$	La tabla no respalda diferencia significativa
ANOVA densidad	$F=0.1482$; $p=0.8637$	La tabla no respalda diferencia significativa
Temperatura–densidad	$r=-0.2463$; $p=0.3762$	Asociación débil y no significativa
Humedad–densidad	$r=0.2491$; $p=0.3705$	Asociación débil y no significativa

Fuente: valores de Cubas Guerra (2022); interpretación estadística explícita del libro.

Tabla 22. Familias vegetales con mayor riqueza reportada

Familia	Especies
Fabaceae	14
Araceae	10
Lauraceae	8
Sapotaceae	7
Annonaceae	6
Apocynaceae	6
Euphorbiaceae	5

Fuente: Cubas Guerra (2022).

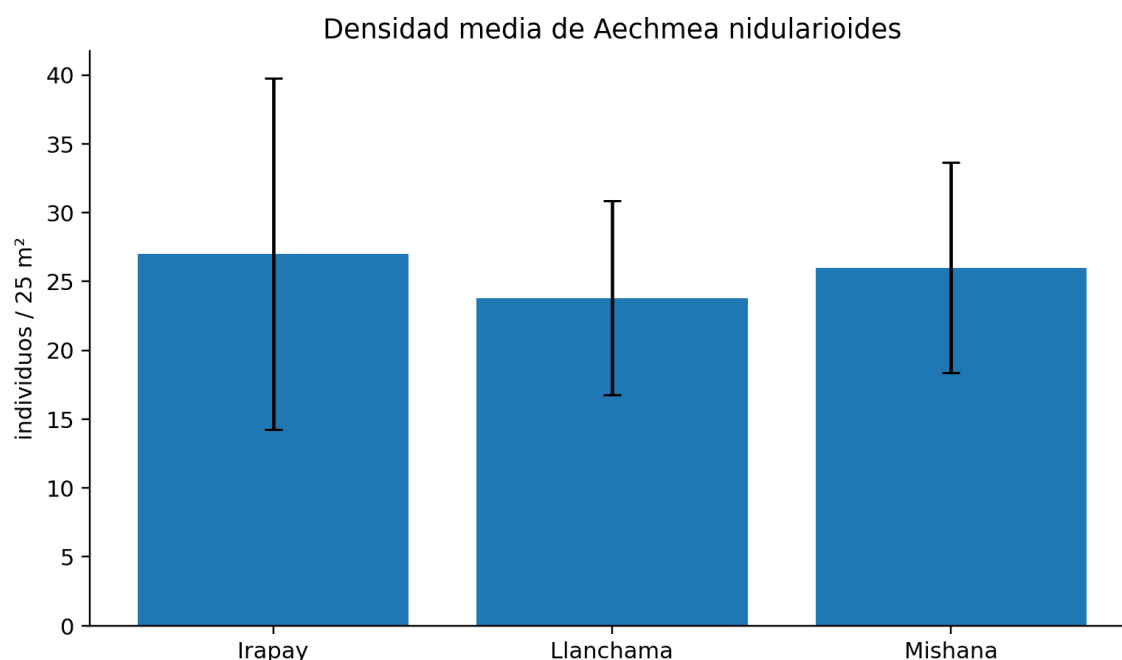


Figura 7. Densidad media de *Aechmea nidularioides* por sitio

Elaboración propia con datos de Cubas Guerra (2022); barras de error = desviación estándar.

En síntesis, composición florística y relaciones con fauna debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

5.5. CONSISTENCIA ESTADÍSTICA, LIMITACIONES Y VALOR DE LA EVIDENCIA

La tesis contiene algunas discordancias entre los valores de sus tablas y ciertas frases interpretativas; reconocerlas es necesario para mantener la fidelidad científica sin reproducir errores de lectura. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Cubas Guerra (2022) no implica que opere con igual intensidad en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil

debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Cubas Guerra (2022) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

En el análisis de varianza del grosor de hojarasca, la tabla reporta $F = 0.3581$ y $p = 0.7103$, mientras el texto califica las diferencias como significativas. Con ese valor de p , la afirmación de significación no está respaldada por la tabla y debe considerarse una inconsistencia interna de la fuente. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Cubas Guerra (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Cubas Guerra (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el caso de estudio de *Aechmea nidularioides*

registrado entre 2016 y 2017 exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

En la densidad de *Aechmea nidularioides*, la tabla de ANOVA reporta $F = 0.1482$ y $p = 0.8637$, aunque el texto incluye en otro punto la expresión $p < 0.001$. El libro conserva los números de la tabla y señala la contradicción. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Cubas Guerra (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Cubas Guerra (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

Las correlaciones reportadas fueron $r = -0.2463$ entre temperatura del sotobosque y densidad, y $r = 0.2491$ entre humedad y densidad, con $p = 0.3762$ y $p = 0.3705$, respectivamente. Esos coeficientes representan asociaciones débiles y no una correlación perfecta. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Cubas Guerra (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Cubas Guerra (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

La identificación de estas inconsistencias no reduce el valor del estudio de campo; por el contrario, mejora su trazabilidad y permite distinguir observaciones empíricas, resultados numéricos e interpretación estadística. En el contexto de el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Cubas Guerra (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden

surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Cubas Guerra (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

La principal fortaleza del conjunto de datos reside en integrar un ciclo anual de observación con múltiples dimensiones del hábitat. Su principal oportunidad futura consiste en ampliar réplicas, estandarizar series climáticas y aplicar modelos que consideren dependencia temporal y espacial. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Cubas Guerra (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el caso de estudio de *Aechmea nidularioides* registrado entre 2016 y 2017, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el caso de estudio de

Aechmea nidularioides registrado entre 2016 y 2017, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Cubas Guerra (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

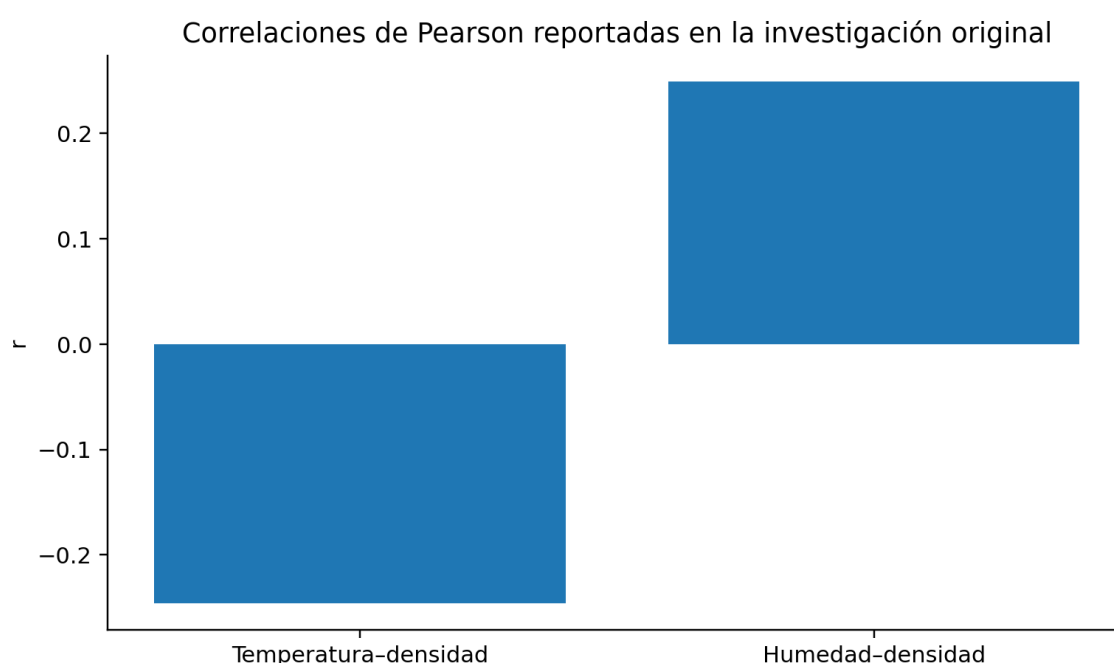


Figura 8. Coeficientes de correlación reportados entre microclima y densidad

Elaboración propia con datos de Cubas Guerra (2022).

En síntesis, consistencia estadística, limitaciones y valor de la evidencia debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

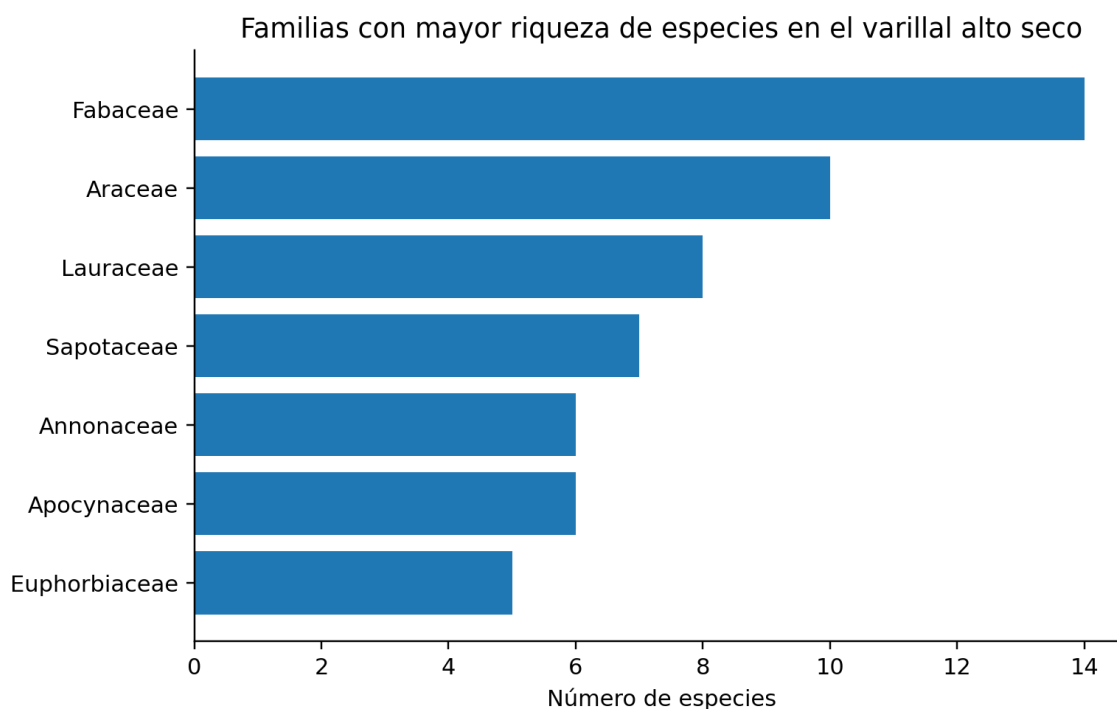


Figura 9. Familias con mayor riqueza de especies

Elaboración propia con datos de Cubas Guerra (2022).

El capítulo 5 muestra que el conocimiento útil para conservación surge de relacionar niveles de organización. Los datos locales ofrecen una base concreta; la literatura comparada amplía mecanismos y permite formular preguntas; y el manejo convierte esas preguntas en indicadores y acciones verificables. La continuidad con el capítulo siguiente conserva ese recorrido desde la evidencia hacia la interpretación y, finalmente, hacia la gestión.

CAPÍTULO VI

CONSERVACIÓN ADAPTATIVA, MONITOREO Y AGENDA DE INVESTIGACIÓN

Este capítulo desarrolla una lectura integrada del monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. El propósito no es acumular definiciones, sino construir relaciones entre estructura, procesos y evidencia. La investigación original de Cubas Guerra (2022) funciona como anclaje local cuando corresponde, mientras que la literatura externa se utiliza para ampliar mecanismos y debates. La distinción entre ambas fuentes permite mantener trazabilidad y evitar que resultados de otros sistemas se presenten como datos obtenidos en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. A lo largo del capítulo, las tablas sintetizan comparaciones y las figuras recuperan variables particularmente informativas para el análisis ecológico.

6.1. RELECTURA DE LOS HALLAZGOS A LA LUZ DE LA EVIDENCIA RECIENTE

Los hallazgos originales sobre sombra, agua retenida y asociaciones faunísticas son compatibles con la visión contemporánea de las bromelias tanque como ecosistemas creados por plantas y regulados por interacciones entre clima, morfología y comunidad. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Romero et al. (2020) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde

el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Antiqueira et al. (2022) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

La literatura reciente añade mecanismos que no fueron medidos en el estudio original, como estructura del microbioma, competencia por nutrientes disueltos, respuestas de funciones ecosistémicas a sequía y efectos de la pérdida de depredadores. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por North et al. (2023) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Rogy y Srivastava (2023) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

La coincidencia conceptual entre ambos cuerpos de evidencia no debe confundirse con validación directa; las especies, regiones y diseños experimentales difieren y requieren pruebas específicas en Allpahuayo Mishana. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Séguigne et al. (2024, 2025) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Pinto-Junior et al. (2026) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

El valor de la comparación reside en convertir observaciones locales en hipótesis: por ejemplo, cómo cambia la permanencia de agua con apertura del dosel o cómo la composición microbiana responde a distintos niveles de detrito. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por SERNANP (2022) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es

especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto del monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Romero et al. (2020) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

La investigación original aporta una línea de base histórica que puede ser repetida con protocolos compatibles para detectar cambios después de una década o más. La literatura representada por Antikueira et al. (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de North et al. (2023) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el seguimiento temporal resulta por

ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

La actualización científica convierte el caso de estudio en una plataforma para monitoreo longitudinal y experimentación de bajo impacto. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Rogy y Srivastava (2023) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Séguigne et al. (2024, 2025) no implica que opere con igual intensidad en el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

Tabla 23. Matriz de monitoreo propuesta

Componente	Indicador	Método	Periodicidad
Microclima	Temperatura/humedad	Registrador automático	Horaria

Componente	Indicador	Método	Periodicidad
Dosel	Apertura/luz	Foto hemisférica o sensor	Trimestral
Fitotelma	Volumen/presencia de agua	Medición directa	Quincenal en época seca
Población	Densidad y supervivencia	Parcelas y plantas marcadas	Semestral
Fauna	Gremios en fitotelmas	Muestreo estandarizado	Estacional

Elaboración propia.

En síntesis, relectura de los hallazgos a la luz de la evidencia reciente debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

6.2. MONITOREO ECOLÓGICO DE AECHMEA NIDULARIOIDES Y SUS FITOTELMAS

Un programa de monitoreo debe separar variables de estado, como densidad de plantas, de variables de proceso, como duración del agua, tasa de taponamiento o velocidad de reclutamiento. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Antiqueira et al. (2022) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números

similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. North et al. (2023) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

La frecuencia de muestreo debe ajustarse a la dinámica de cada variable: la precipitación requiere alta resolución temporal, mientras composición florística puede evaluarse con intervalos más amplios. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Rogy y Srivastava (2023) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Séguigne et al. (2024, 2025) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

Los fitotelmas permiten indicadores sencillos como presencia de agua, volumen, conductividad, pH, temperatura, cantidad de detrito y grupos funcionales de macroinvertebrados. En el contexto del monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Pinto-Junior et al. (2026) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por SERNANP (2022) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

El seguimiento de plantas marcadas facilitaría estimar supervivencia, producción de hijuelos, floración, senescencia y cambios de funcionalidad de axilas. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Romero et al. (2020) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de

recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Antiqueira et al. (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

La cobertura y apertura del dosel pueden registrarse con fotografías hemisféricas o sensores de luz, vinculándolas con temperatura, evaporación y persistencia del agua. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por North et al. (2023) no implica que opere con igual intensidad en el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Rogy y Srivastava (2023) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera

el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

La base de datos debe conservar metadatos, coordenadas, protocolos y control de calidad para que las series sean comparables entre años y equipos. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Séguigne et al. (2024, 2025) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Pinto-Junior et al. (2026) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

Tabla 24. Umbrales de gestión que deben definirse mediante línea de base

Variable	Pregunta para el umbral	Respuesta de gestión
Permanencia de agua	¿Cuánto descenso precede pérdida de fauna?	Refuerzo de monitoreo y análisis causal

Variable	Pregunta para el umbral	Respuesta de gestión
Apertura de dosel	¿Qué nivel eleva evaporación de forma sostenida?	Control de perturbación/restauración
Densidad de plantas	¿Qué variación excede la fluctuación natural?	Evaluación poblacional
Presión extractiva	¿Qué frecuencia produce expansión del daño?	Vigilancia y fiscalización

Los umbrales son preguntas de investigación; no se asignan valores sin una serie temporal suficiente.

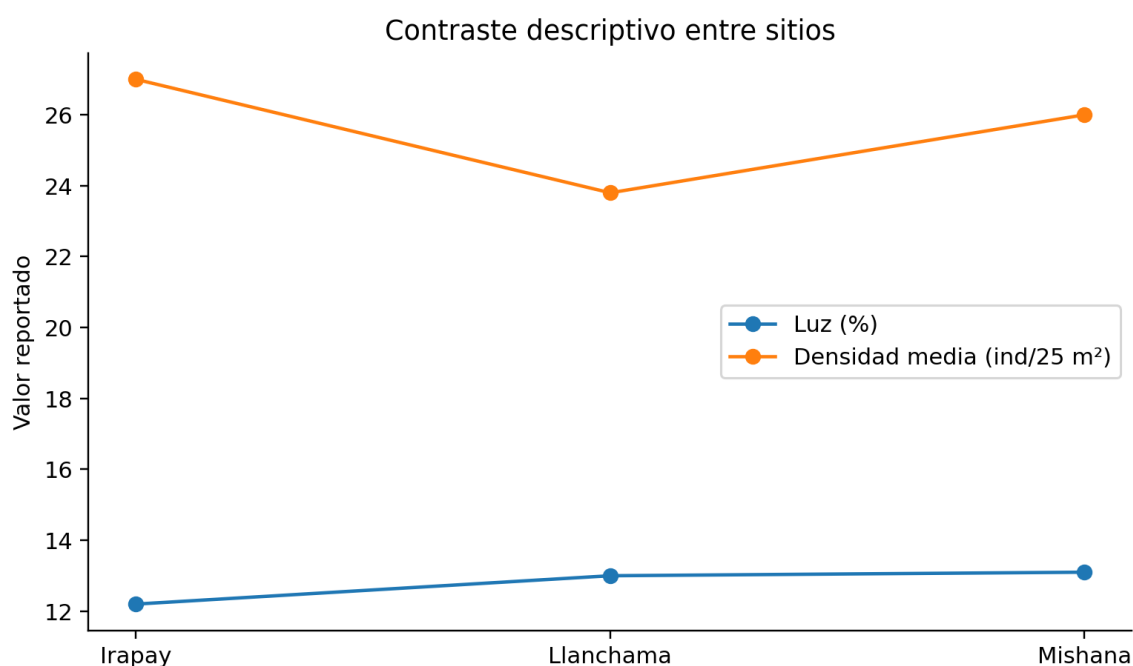


Figura 10. Contraste descriptivo de luz y densidad entre los tres sitios

Elaboración propia a partir de Cubas Guerra (2022).

En síntesis, monitoreo ecológico de *aechmea nidularioides* y sus fitotelmas debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

6.3. GESTIÓN DE AMENAZAS Y PRIORIDADES ESPACIALES

La vigilancia debe priorizar sectores donde la proximidad a vías, centros poblados o zonas de extracción eleve la probabilidad de degradación de varillales. Desde una perspectiva

ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por North et al. (2023) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto del monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Rogy y Srivastava (2023) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

Los parches de arena blanca fuera de límites de protección formal pueden ser relevantes para conectividad y representación de hábitats, por lo que conviene incorporarlos a evaluaciones regionales. La literatura representada por Séguigne et al. (2024, 2025) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología,

microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Pinto-Junior et al. (2026) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

La extracción de arena requiere prevención y fiscalización porque elimina de manera directa sustrato, banco de semillas, vegetación y microhábitats asociados. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. SERNANP (2022) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Romero et al. (2020) no implica que opere con igual intensidad en el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución

fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

En zonas con apertura previa, la restauración debe comenzar por evaluar suelo, drenaje y fuentes de propágulos antes de seleccionar intervenciones de revegetación. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Antiqueira et al. (2022) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. North et al. (2023) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

La respuesta ante cambio climático necesita medidas que mantengan cobertura y conectividad, reduciendo presiones locales que podrían amplificar los efectos de sequías o temperaturas extremas. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Rogy y Srivastava (2023) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el monitoreo y la

gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Séguigne et al. (2024, 2025) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

Cada acción debe asociarse a un indicador y a una periodicidad de revisión para comprobar si reduce efectivamente la presión que pretende controlar. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Pinto-Junior et al. (2026) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una

decisión concreta. Los trabajos de SERNANP (2022) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

Tabla 25. Agenda priorizada de investigación

Prioridad	Pregunta	Producto esperado
Alta	Hidrología y persistencia de fitotelmas	Curvas de duración y riesgo de desecación
Alta	Demografía de <i>A. nidularioides</i>	Tasas de supervivencia y reclutamiento
Alta	Efecto de apertura de dosel	Relación causal microclima-agua
Media	Microbioma y descomposición	Red funcional de nutrientes
Media	Genética poblacional	Conectividad y clonación
Media	Fauna asociada de largo plazo	Tendencias de ocupación

Elaboración propia.

En síntesis, gestión de amenazas y prioridades espaciales debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

6.4. INVESTIGACIÓN FUTURA: DE LA ECOLOGÍA DESCRIPTIVA A LOS MECANISMOS

Los próximos estudios deberían medir volumen de agua, duración de inundación de axilas y tasas de evaporación para relacionar microclima con disponibilidad real de hábitat acuático. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de Rogy y Srivastava (2023) subrayan que composición, función y

resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Séguigne et al. (2024, 2025) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

La caracterización de bacterias, hongos, protistas y pequeños metazoos mediante herramientas moleculares permitiría completar la red de organismos que intervienen en el reciclaje de nutrientes. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Pinto-Junior et al. (2026) no implica que opere con igual intensidad en el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación.

Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de SERNANP (2022) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

La evaluación experimental de sombra y detrito, realizada con diseños de bajo impacto, podría separar efectos de radiación, temperatura y carga orgánica sobre la funcionalidad del fitotelma. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Romero et al. (2020) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por Antiqueira et al. (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento

descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

El estudio de reproducción debe cuantificar viabilidad de semillas, tasa de clonación, establecimiento de hijuelos y estructura genética para entender conectividad poblacional. La dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. North et al. (2023) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Rogy y Srivastava (2023) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

El monitoreo de fauna asociada puede incorporar ADN ambiental, fotografía y métodos tradicionales para estimar ocupación sin aumentar perturbación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de Séguigne et al. (2024, 2025) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El

criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Pinto-Junior et al. (2026) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

La integración de estas líneas permitiría construir modelos causales y escenarios de respuesta bajo cambios de precipitación, cobertura o presión humana. En el contexto del monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. SERNANP (2022) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La literatura representada por Romero et al. (2020) muestra que los sistemas tropicales responden

a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

Tabla 26. Propuesta de acciones de conservación

Acción	Actor principal	Indicador de avance
Vigilancia focalizada en sectores de riesgo	SERNANP y aliados	Patrullajes y reducción de nuevas afectaciones
Educación ambiental	SERNANP, escuelas, comunidades	Participación y conocimiento
Monitoreo de varillales y fitotelmas	SERNANP, UNAP, IIAP	Series de datos comparables
Investigación de reproducción y clima	Universidades/centros	Protocolos y publicaciones
Evaluación de parches externos	Autoridades regionales	Mapa de conectividad y riesgo

Elaboración propia, coherente con las propuestas de Cubas Guerra (2022) y el enfoque adaptativo del libro.

En síntesis, investigación futura: de la ecología descriptiva a los mecanismos debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

6.5. GOBERNANZA, EDUCACIÓN Y CIENCIA APLICADA

La sostenibilidad de un programa de conservación depende de que los datos sean útiles para quienes toman decisiones y comprensibles para quienes viven alrededor del área protegida. Considerada a escala de paisaje, esta relación enlaza procesos locales con decisiones de manejo. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, la permanencia de un microhábitat puede depender de cobertura y conectividad

que se determinan mucho más allá del individuo observado. Los resultados de Séguigne et al. (2024, 2025) ayudan a comprender esa dependencia entre escalas. Si se pierde la matriz que modera el microclima o facilita la dispersión, los efectos pueden propagarse hacia comunidades pequeñas antes de hacerse evidentes en métricas generales de cobertura. Por ello, el diseño de conservación debe combinar parcelas, microhábitats y cartografía del paisaje, con protocolos compatibles que permitan interpretar las señales en conjunto.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Desde el punto de vista de resiliencia, la cuestión central es qué componentes permiten absorber una perturbación y cuáles facilitan la recuperación posterior. Pinto-Junior et al. (2026) aporta evidencia de que las respuestas dependen tanto de la intensidad del evento como de la organización previa de la comunidad. Aplicado a el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esto sugiere evaluar refugios, heterogeneidad y continuidad como atributos de seguridad ecológica. La resiliencia no equivale a ausencia de cambio: un sistema resiliente puede reorganizarse temporalmente y recuperar funciones esenciales. Esta definición resulta más útil para el manejo que la expectativa de conservar condiciones totalmente constantes frente a variación natural y cambio climático.

La educación ambiental puede usar el fitotelma como una imagen concreta de interdependencia: una pequeña reserva de agua muestra cómo bosque, planta y fauna se necesitan mutuamente. En términos de investigación, esta observación abre preguntas que pueden expresarse como relaciones medibles. La evidencia sintetizada por SERNANP (2022) permite identificar variables candidatas, pero la comprobación en el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats exige protocolos locales. El avance más productivo sería pasar de categorías generales a series cuantitativas: duración, frecuencia, volumen, densidad, probabilidad de ocupación o tasa de cambio. Esas medidas facilitan comparar años, sitios e intervenciones, y también permiten detectar inconsistencias tempranas en la interpretación. La acumulación de datos estandarizados constituye una condición para que el conocimiento descriptivo evolucione hacia modelos predictivos y decisiones de manejo basadas en umbrales.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La

dimensión biológica no debe separarse de la dimensión física. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, organismos y microclima se modifican recíprocamente mediante captura de recursos, descomposición, sombreado y movimiento de materia. Romero et al. (2020) muestra que esta reciprocidad es una característica común de los micro ecosistemas asociados a bromelias y de otros hábitats tropicales. Por eso, los inventarios adquieren mayor valor cuando se acompañan de medidas ambientales y cuando las variables se registran con la misma resolución espacial. La interpretación conjunta evita conclusiones simplistas y permite reconocer que una especie puede responder indirectamente a un factor a través de cambios producidos en otro componente del sistema.

La colaboración entre SERNANP, universidades, institutos de investigación y comunidades puede reducir costos de monitoreo y aumentar continuidad institucional. Esta idea es relevante para separar función de composición. Dos sitios pueden contener números similares de organismos y, sin embargo, diferir en los grupos funcionales que procesan detrito, depredan o facilitan la disponibilidad de nutrientes. Antiqueira et al. (2022) pone de relieve que los cambios de interacción pueden preceder a pérdidas evidentes de riqueza. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, evaluar función ofrece una señal complementaria a la taxonomía y puede resultar especialmente útil cuando la identificación a nivel de especie es costosa. Una estrategia gradual puede combinar categorías funcionales en el monitoreo rutinario con estudios taxonómicos profundos en campañas periódicas.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Finalmente, la relevancia aplicada aparece cuando el conocimiento puede convertirse en una decisión concreta. Los trabajos de North et al. (2023) muestran que la ecología de bromelias y bosques tropicales produce indicadores sensibles a cambios de agua, cobertura o estructura trófica. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, esos indicadores pueden orientar vigilancia, priorización de sitios y diseño de investigaciones. El criterio principal debe ser la trazabilidad: cada recomendación ha de vincularse con un hallazgo, una hipótesis y una forma de verificar su resultado. De este modo, la ciencia no se limita a describir amenazas, sino que construye un ciclo de observación, acción, evaluación y ajuste.

Los protocolos de ciencia ciudadana deben limitarse a variables que puedan registrarse de forma segura y reproducible, dejando identificaciones complejas o muestreos invasivos a especialistas. Desde una perspectiva ecológica, esta idea adquiere mayor significado cuando se reconoce que el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. El patrón no depende de un único factor, sino de la interacción entre condiciones físicas, disponibilidad de recursos y respuestas biológicas. La evidencia comparada resumida por Rogy y Srivastava (2023) respalda la conveniencia de analizar mecanismos y no únicamente descripciones. En términos de gestión, ello significa que una variable aislada puede ser insuficiente para anticipar cambios y que conviene trabajar con conjuntos de indicadores capaces de capturar estructura, proceso y respuesta. Esta lectura es especialmente pertinente en ambientes tropicales heterogéneos, donde pequeñas variaciones espaciales pueden generar condiciones ecológicas distintas a pocos metros de distancia.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. En el contexto del monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el interés científico está en identificar qué procesos conectan la observación con una consecuencia ecológica. Séguigne et al. (2024, 2025) ofrece un marco útil para interpretar esas conexiones sin convertir analogías en equivalencias. Así, la explicación debe distinguir entre condiciones de fondo, perturbaciones temporales y presiones persistentes. Esta distinción evita atribuir a una sola causa patrones que pueden surgir de varias rutas ecológicas. También permite formular predicciones verificables: si cambia la cobertura, el régimen hídrico o la disponibilidad de detrito, deberían modificarse variables intermedias antes de observarse una respuesta poblacional de mayor magnitud. Ese enfoque convierte la descripción naturalista en una base para hipótesis y monitoreo.

Los resultados deben regresar al territorio mediante informes breves, mapas, indicadores y decisiones explícitas, evitando que el monitoreo se convierta en acumulación de datos sin uso. La literatura representada por Pinto-Junior et al. (2026) muestra que los sistemas tropicales responden a escalas múltiples y que una explicación válida debe conservar esa complejidad sin perder claridad. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, una lectura funcional ayuda a ordenar el problema: primero se identifica el recurso o condición que cambia; luego se examina qué organismo o proceso responde; finalmente se evalúan las consecuencias sobre la red de interacciones. Este encadenamiento es

útil porque separa correlación de mecanismo y orienta el diseño de nuevas mediciones. También aporta una ventaja editorial: permite integrar botánica, zoología, microbiología y conservación en una narrativa única, en lugar de tratarlas como compartimentos independientes.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. Una consecuencia de esta observación es que el sistema debe entenderse como dinámico. Los estudios de SERNANP (2022) subrayan que composición, función y resiliencia pueden cambiar aun cuando la estructura visible parezca relativamente estable. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, el seguimiento temporal resulta por ello tan importante como la comparación entre sitios. Los promedios son informativos, pero pueden ocultar extremos, pulsos o periodos de transición que condicionan la supervivencia de organismos pequeños. Para la conservación, esta perspectiva favorece medidas que mantengan capacidad de recuperación, refugios y fuentes de recolonización, en vez de enfocarse únicamente en una fotografía momentánea del ecosistema.

La conservación adaptativa de *Aechmea nidularioides* y los varillales será más sólida si combina vigilancia efectiva, investigación verificable, aprendizaje local y revisión periódica de prioridades. Este punto puede abordarse también desde la economía de recursos. En el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats, agua, luz, nutrientes y materia orgánica circulan a través de compartimentos que cambian de disponibilidad según estación, estructura vegetal y actividad biológica. Romero et al. (2020) permite situar ese intercambio dentro de un marco contemporáneo de ecología funcional. La pregunta relevante deja de ser solo cuánto recurso existe y pasa a incluir quién lo capta, cuánto tiempo permanece disponible, cómo se transforma y qué organismo se beneficia. Esta secuencia ayuda a comprender por qué modificaciones aparentemente pequeñas del microambiente pueden tener efectos acumulativos sobre crecimiento, reproducción o composición de la comunidad.

A partir de este planteamiento conviene profundizar en los mecanismos que conectan la condición descrita con sus efectos ecológicos y con las decisiones de conservación. La interpretación debe conservar, sin embargo, una cautela metodológica. Que un mecanismo haya sido demostrado por Antikeira et al. (2022) no implica que opere con igual intensidad

en el monitoreo y la gestión adaptativa de los varillales y sus microhábitats. Las diferencias entre especies, escalas, climas y diseños de muestreo obligan a tratar la literatura externa como fuente de hipótesis y contraste, no como sustituto de los datos locales. Esta precaución fortalece el argumento porque permite aprovechar avances recientes sin atribuir al estudio original mediciones que no realizó. En consecuencia, cada comparación útil debe señalar qué parte procede de la evidencia local y cuál corresponde a conocimiento general o experimental desarrollado en otros sistemas.

En síntesis, gobernanza, educación y ciencia aplicada debe interpretarse como parte de una secuencia de procesos y no como un rasgo aislado. La lectura conjunta de la evidencia permite identificar variables que pueden medirse, hipótesis que pueden contrastarse y decisiones que pueden revisarse. Este cierre prepara la transición hacia el siguiente apartado, donde la escala de análisis se amplía o se desplaza para integrar nuevos componentes del sistema.

El capítulo 6 muestra que el conocimiento útil para conservación surge de relacionar niveles de organización. Los datos locales ofrecen una base concreta; la literatura comparada amplía mecanismos y permite formular preguntas; y el manejo convierte esas preguntas en indicadores y acciones verificables. La continuidad con el capítulo siguiente conserva ese recorrido desde la evidencia hacia la interpretación y, finalmente, hacia la gestión.

REFLEXIONES FINALES

La principal enseñanza que emerge de esta obra es que una bromelia terrestre del sotobosque puede condensar procesos que, a primera vista, parecen pertenecer a escalas ecológicas distintas. La disponibilidad de agua en una axila depende de la lluvia, pero también de la arquitectura de la planta, de la radiación regulada por el dosel, de la evaporación y de la acumulación de materia orgánica. Esa agua, a su vez, condiciona la presencia de microorganismos, invertebrados y vertebrados. El microhábitat se convierte así en un punto donde convergen clima, vegetación y comunidad.

La investigación doctoral de Rossana Cubas Guerra aportó una base empírica valiosa porque observó durante un ciclo anual varios de esos componentes en tres sectores de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. El libro conserva esa base y, al mismo tiempo, hace explícitas las limitaciones e inconsistencias estadísticas internas detectadas en el documento original. Esta transparencia es esencial: la fidelidad a la fuente no obliga a reproducir interpretaciones incompatibles con los valores reportados, sino a separar con claridad dato, análisis y conclusión.

La literatura posterior ha ampliado de manera importante la comprensión de los fitotelmas. Hoy se conocen mejor los roles de bacterias, hongos y protistas; la competencia por nutrientes entre planta y microorganismos; los efectos de lluvias extremas, sequía, calentamiento y pérdida de depredadores; y la importancia del aislamiento y el tamaño del hábitat para resistencia y recuperación. Estos avances ofrecen hipótesis para Allpahuayo Mishana, pero no sustituyen la necesidad de medir los procesos localmente.

El siguiente paso científico debería ser convertir la línea de base de 2016–2017 en una serie temporal comparable. Repetir parcelas, marcar plantas, registrar microclima de alta resolución, medir volumen y persistencia de agua, y caracterizar comunidades acuáticas permitiría evaluar cambios que una sola campaña no puede distinguir. La combinación de

métodos tradicionales con sensores, genética y ADN ambiental podría aumentar precisión sin incrementar de forma innecesaria la perturbación.

En gestión, la protección de *Aechmea nidularioides* no puede separarse de la protección del varillal alto seco. La cobertura vegetal regula el microclima; el sustrato arenoso y la materia orgánica sostienen la comunidad vegetal; y la integridad del paisaje determina continuidad entre parches. La extracción de arena, la apertura persistente y la fragmentación afectan varios de esos componentes al mismo tiempo. Por ello, la prioridad razonable es conservar procesos y reducir presiones locales que pueden amplificar los efectos del cambio climático.

La Reserva Nacional Allpahuayo Mishana ofrece una oportunidad para articular investigación, manejo y educación ambiental alrededor de un ecosistema singular. Los fitotelmas tienen además una ventaja pedagógica: hacen visible la interdependencia en una escala que puede observarse directamente. Una pequeña cantidad de agua acumulada por una planta puede sostener una red de vida y, al mismo tiempo, revelar cuán dependiente es esa red de la estructura del bosque que la rodea.

La conservación adaptativa propuesta en este libro no busca una lista definitiva de acciones. Propone un modo de trabajar: formular preguntas, medir una línea de base, intervenir cuando sea necesario, observar la respuesta y ajustar. Esa secuencia reconoce incertidumbre y la convierte en parte del proceso de decisión. En ecosistemas complejos y cambiantes, la capacidad de aprender puede ser tan importante como la capacidad de vigilar.

Finalmente, transformar una tesis en un libro científico implica algo más que cambiar títulos o ampliar páginas. Significa reorganizar el conocimiento para que los datos originales dialoguen con nuevas teorías, estudios y aplicaciones sin perder trazabilidad. En ese sentido, *Aechmea nidularioides* funciona aquí como hilo conductor de una reflexión mayor sobre cómo estudiar y conservar sistemas tropicales en los que la diversidad se sostiene por conexiones pequeñas, persistentes y, con frecuencia, invisibles a primera vista.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Díaz, A. (2009). Bioecología de *Dendrobates reticulatus* Boulenger, 1883 (Anura: Dendrobatidae) en varillal alto seco de la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana, Iquitos [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal].
- Aguilar-Cruz, Y., Milke, F., Leinberger, J., Poehlein, A., Zotz, G., & Brinkhoff, T. (2022). Diversity and putative metabolic function of prokaryotic communities in tank bromeliads along an elevation gradient in tropical Mexico. *Frontiers in Microbiology*, 13, 945488. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.945488>
- Ampudia Gatty, C., Estrella Grández, R., & Pérez Peña, P. (2020). Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en bosques sobre arena blanca de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, en la Amazonía peruana. *Ciencia Amazónica* (Iquitos), 8(1), 53–70. <https://doi.org/10.22386/ca.v8i1.280>
- Antiqueira, P. A. P., Petchey, O. L., Rezende, F., Velho, L. F. M., Rodrigues, L. C., & Romero, G. Q. (2022). Warming and top predator loss drive direct and indirect effects on multiple trophic groups within and across ecosystems. *Journal of Animal Ecology*, 91(2), 428–442. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13640>
- Antonetti, D. A., Malfatti, E., & Utz, L. R. P. (2021). Influence of environmental and morphological parameters on the microfauna community present in phytotelmata of a bromeliad in a fragment of Atlantic Forest, southern Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, 16(1), 59–70. <https://doi.org/10.3897/neotropical.16.e56186>
- Bratzel, F., Paule, J., Leebens-Mack, J., Leme, E. M. C., Forzza, R. C., Koch, M. A., Heller, S., & Zizka, G. (2023). Target-enrichment sequencing reveals for the first time a well-resolved phylogeny of the core Bromelioideae (family Bromeliaceae). *Taxon*, 72(1), 47–63. <https://doi.org/10.1002/tax.12831>
- Carrias, J.-F., Cussac, M.-E., & Corbara, B. (2001). A preliminary study of freshwater protozoa in tank bromeliads. *Journal of Tropical Ecology*, 17, 611–617.

- Chávez-Veintemilla, C., Pezo, R., & Vásquez, E. (2021). Diversidad planctónica de los cuerpos de agua en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto–Perú. *Folia Amazónica*, 29(2), 353–370. <https://doi.org/10.24841/fa.v29i2.536>
- Cossios, E. D., Diaz, E., & Pizango, F. (2022). Mamíferos registrados con cámaras trampa en la zona de uso turístico de la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana, Loreto, Perú. *Folia Amazónica*, 31(1), 31–45. <https://doi.org/10.24841/fa.v31i1.564>
- Cruz-García, I., Garrido-Jiménez, C. T., & Hornung-Leoni, C. T. (2010). Las bromelias como importantes fitotelmata. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Cubas Guerra, R. (2022). Ecología de *Aechmea nidularioides* L.B.Sm. (Bromeliaceae) en bosque de varillal alto seco y propuesta de conservación en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana [Tesis doctoral, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional UNAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/8956>
- Dos Santos, V. L., Silva, U. C., Santos, E. H., Resende, A. A., Dias, M. F., Cuadros-Orellana, S., & Marques, A. R. (2023). Exploring the mycobiota of bromeliads phytotelmata in Brazilian Campos Rupestres. *Brazilian Journal of Microbiology*, 54(3), 1885–1897. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-00977-5>
- Duellman, W. E. (1985). Reproductive modes in anuran amphibians: Phylogenetic significance of adaptive strategies. *South African Journal of Science*, 81, 174–178.
- Flores, B. M., & Holmgren, M. (2021). White-sand savannas expand at the core of the Amazon after forest wildfires. *Ecosystems*, 24, 1624–1637. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00607-x>
- García-Villacorta, R., Ahuite-Reátegui, M., & Olortegui-Zumaeta, M. (2003). Clasificación de bosques sobre arena blanca de la Zona Reservada Allpahuayo-Mishana. *Folia Amazónica*, 14(1–2), 17–26. <https://doi.org/10.24841/fa.v14i1.151>
- García-Villacorta, R., Dexter, K. G., & Pennington, R. T. (2016). Amazonian white-sand forests show strong floristic links with surrounding oligotrophic habitats and the Guiana Shield. *Biotropica*, 48(1), 47–57. <https://doi.org/10.1111/btp.12302>
- Givnish, T. J., Barfuss, M. H. J., Van Ee, B., Riina, R., Schulte, K., Horres, R., Gonsiska, P. A., Jabaily, R. S., Crayn, D. M., Smith, J. A. C., Winter, K., Brown, G. K., Evans, T. M., Holst, B. K., Luther, H., Till, W., Zizka, G., Berry, P. E., & Sytsma, K. J. (2014).

- Adaptive radiation, correlated and contingent evolution, and net species diversification in Bromeliaceae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 71, 55–78. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2013.10.010>
- Guevara, J. E., Damasco, G., Baraloto, C., Fine, P. V. A., Peñuela, M. C., Castilho, C., Vincentini, A., Cárdenas, D., Wittmann, F., Targhetta, N., Phillips, O., Stropp, J., Amaral, I., Maas, P., Monteagudo, A., Jimenez, E. M., Thomas, R., Brienens, R., Duque, Á., Magnusson, W., Ferreira, C., Honorio, E., de Almeida Matos, F., Arevalo, F. R., Engel, J., Petronelli, P., Vasquez, R., & ter Steege, H. (2016). Low phylogenetic beta diversity and geographic neo-endemism in Amazonian white-sand forests. *Biotropica*, 48(1), 34–46. <https://doi.org/10.1111/btp.12298>
- Kessous, I. M., Neves, B., Salgueiro, F., & da Costa, A. F. (2021). A 100-million-year gap in the knowledge of the evolutionary history of Bromeliaceae: A brief review of fossil records. *Feddes Repertorium*, 132(1), 20–27. <https://doi.org/10.1002/fedr.202000035>
- Malfatti, E., Ferreira, P. M. A., & Utz, L. R. P. (2020). Eukaryotic communities in bromeliad phytotelmata: How do they respond to altitudinal differences? *Diversity*, 12(9), 326. <https://doi.org/10.3390/d12090326>
- Marengo, J. A. (1998). Climatología de la zona de Iquitos, Perú. En R. Kalliola & S. Flores Paitán (Eds.), *Geoecología y desarrollo amazónico: Estudio integrado en la zona de Iquitos, Perú* (pp. 37–57). *Annales Universitatis Turkuensis*.
- North, G. B., Brinton, E. K., Kho, T. L., Fukui, K., Maharaj, F. D. R., Fung, A., Ranganath, M., & Shiina, J. H. (2023). Acid waters in tank bromeliads: Causes and potential consequences. *American Journal of Botany*, 110(1), e16104. <https://doi.org/10.1002/ajb2.16104>
- Ospina-Bautista, F., Estévez-Varón, J. V., Betancur, J., & Realpe-Rebolledo, E. (2004). Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* Baker (Bromeliaceae) en un bosque alto andino colombiano. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(1), 153–166.
- Palacios-Vega, J. J., Zárate-Gómez, R., Martín-Brañas, M., & Minaya-Vela, R. (2021). Pérdida de bosque en zonas para conservación y recuperación de la zonificación ecológica y económica de Alto Amazonas, Loreto. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 9(1), 1–16. <https://doi.org/10.22386/ca.v9i1.316>

- Pinto-Junior, H. V., Favoreto, F. C., Müller, L. A. C., Forzza, R. C., Falqueto, A. R., & Menezes, L. F. T. (2026). Functional diversification and adaptive evolution in Bromeliaceae: An integrative synthesis of anatomy, physiology, and ecology. *Flora*, 343, 153058. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2026.153058>
- Poniewozik, M., Duangjan, K., Pekkoh, J., & Wołowski, K. (2020). Algae of bromeliad phytotelmata in the Queen Sirikit Botanical Garden, Chiang Mai, Thailand. *Phytotaxa*, 432(1). <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.432.1.3>
- Rocha, J. (2023). Neotropical bromeliads as food sources for birds: A systematic review and perspectives on the management of ecological interactions. *Ibis*, 165(1), 17–33. <https://doi.org/10.1111/ibi.13138>
- Rogy, P., & Srivastava, D. S. (2023). Bromeliads compete with microorganisms for nutrients in their phytotelm. *Aquatic Botany*, 187, 103653. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2023.103653>
- Romero, G. Q., Marino, N. A. C., MacDonald, A. A. M., Céréghino, R., Trzcinski, M. K., Mercado, D. A., Leroy, C., Corbara, B., Farjalla, V. F., Barberis, I. M., et al. (2020). Extreme rainfall events alter the trophic structure in bromeliad tanks across the Neotropics. *Nature Communications*, 11, 3215. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17036-4>
- Séguigne, M., Leroy, C., Carrias, J.-F., Corbara, B., Lafont Rapnouil, T., & Céréghino, R. (2024). Interactive effects of drought and deforestation on multitrophic communities and aquatic ecosystem functions in the Neotropics—a test using tank bromeliads. *PeerJ*, 12, e17346. <https://doi.org/10.7717/peerj.17346>
- Séguigne, M., Leroy, C., Carrias, J.-F., Corbara, B., Rota, T., & Céréghino, R. (2025). Influence of isolation on the resilience of tank bromeliad ecosystems to drought in a Neotropical rainforest. *Hydrobiologia*, 852, 249–264. <https://doi.org/10.1007/s10750-024-05704-1>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2022). Plan Maestro de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana 2022–2026. SERNANP.

- Tapia, C. S., Pashanasi, B., & del Castillo, D. (2002). Estudio preliminar de la macrofauna del suelo en áreas de varillales y chamizales de la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 13(1–2), 65–86.
- Torres, S. C., & Acosta, A. (2015). Diversidad de zooplancton en fitotelmas de *Aechmea nidularioides* L.B.Sm. (Bromeliaceae) del varillal alto seco de la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana, Iquitos [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
- Vásquez Bardales, J., Callirgos Bardales, J., Zárate Gómez, R., Ramírez Hernández, J. J., Pinedo Jiménez, J., García Ruiz, A., Valderrama Freyre, H., Pacheco Gómez, T., & Tello Espinoza, R. (2021). Diversidad y composición de mariposas en varillales de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. *Boletín Científico Centro de Museos*, 25(1), 177–190. <https://doi.org/10.17151/bccm.2021.25.1.11>
- Vásquez-Arévalo, F. A., Grández-Casado, J. A., Ushiñahua-Alvarez, M., & Gagliardi-Urrutia, G. (2022). Recambio de especies de aves en la transición de bosque sobre arena blanca y arcilla en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 9(2), 51–68. <https://doi.org/10.22386/ca.v9i2.340>
- Vergne, A., Darbot, V., et al. (2021). Assemblages of anoxygenic phototrophic bacteria in tank bromeliads exhibit a host-specific signature. *Journal of Ecology*, 109(7), 2550–2565. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13657>
- Zárate Gómez, R., Mori Vargas, T., Ramírez Arévalo, F. F., Dávila Doza, H. P., Gallardo Gonzales, G. P., & Cohello Huaymacari, G. (2015). Lista actualizada y clave para la identificación de especies arbóreas de los bosques sobre arena blanca de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto, Perú. *Acta Amazonica*, 45(2), 133–156.
- Zotz, G., Leja, M., Aguilar-Cruz, Y., & Einzmann, H. J. R. (2020). How much water is in the tank? An allometric analysis with 205 bromeliad species. *Flora*, 264, 151557. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151557>