



TÉCNICAS PARA LA RECUPERACIÓN DE HUMEDALES DEGRADADOS: DEMOSTRACIÓN EN EL HUMEDAL URBANO RIO ELQUI, LA SERENA, REGION DE COQUIMBO, CHILE





TÉCNICAS PARA LA RECUPERACIÓN DE HUMEDALES DEGRADADOS: DEMOSTRACIÓN EN EL HUMEDAL URBANO RIO ELQUI, LA SERENA, REGION DE COQUIMBO.

CHILE, 2025





**TÉCNICAS PARA LA RECUPERACIÓN DE HUMEDALES DEGRADADOS:
DEMOSTRACIÓN EN EL HUMEDAL URBANO RIO ELQUI, LA SERENA,
REGION DE COQUIMBO**

Autores

Dra. Juana Angélica Felipe Fernández - Ecoterra ONG
Dra. Patricia Cecilia Guerra Bustos - Ecoterra ONG
Mg. Gerardo Andrés Gutiérrez Orellana - Ecoterra ONG
Dr. Renzo Vargas Rodríguez - Ecoterra ONG

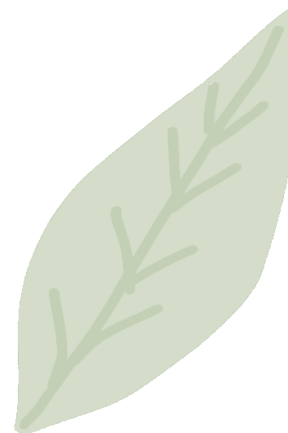
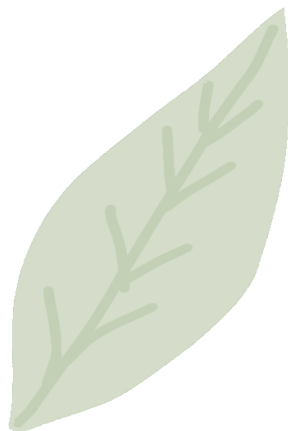
Edición

Mg. Carolina Andrea Vega Shcweizer - Proyecto GEF Humedales Costeros
Mg. Natalia Jacqueline López Morgado - Ecoterra ONG
Lic. Víctor Rodrigo Pastén Marambio - Ecoterra ONG

Diseño y Diagramación

Vivian Tamara Macaya Caquilpán - Ecoterra ONG

CHILE, 2025



Índice

1.- ANTECEDENTES GENERALES	1
2.- RESTAURACIÓN ECOLÓGICA COMO HERRAMIENTA PARA LA RECUPERACIÓN DEL HUMEDAL RÍO ELQUI	3
3.- ESTRATEGIAS PARA LA RESTAURACIÓN DEL HUMEDAL RÍO ELQUI	6
4.- MÓDULO 1: RESTAURACIÓN DE SUELO EN HUMEDALES	8
5.- MÓDULO 2: FLORA Y VEGETACIÓN DEL HUMEDAL RÍO ELQUI	10
6.- MÓDULO 3: ARTRÓPODOS DEL HUMEDAL RÍO ELQUI	17
7.- MÓDULO 4: TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN PARA LA FAUNA SILVESTRE	20
8.- MODULO 5: MONITOREO DE FLORA Y FAUNA CÓMO INDICADORES DE LAS ACCIONES DE RESTAURACIÓN	22
9.- CONCLUSIONES FINALES	27
10.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
11. ANEXOS	33

1

ANTECEDENTES GENERALES



Los humedales son ecosistemas de transición acuático-terrestre caracterizados por cuerpos de agua superficial o subsuperficial, suelos hídricos y vegetación macrófita (Mulamootil 1996). Los hay de múltiples tipos, desde permanentes de origen fluvial, lacustre o marino, pasando por charcas estacionales, hasta criptohumedales, donde las aguas de procedencia subterránea nunca o rara vez llegan a emerger (Figuroa et al. 2009; Finlayson & van der Valk 2012). En todos los humedales, el agua desempeña un rol primordial, pues determina tanto su estructura como su funcionamiento (Mitsch & Gosselink 2015).

Los humedales son uno de los hábitats con mayor diversidad y productividad biológica del planeta (Junk et al. 2012; Calderon 2024). Pese a cubrir sólo el 1,5% de la superficie terrestre, los humedales cumplen un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico, la purificación de las aguas, la mitigación del cambio climático y el control de eventos naturales extremos (Bacon 2016; Corrales - Chaves 2025). Asimismo, gozan de gran predilección para el desarrollo de actividades turísticas, deportivas, culturales y espirituales (Rosa-Velázquez & Ruiz-Luna 2020; Ramsar 2015).

Los humedales han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las sociedades humanas, que los han preferido desde tiempos ancestrales por sus condiciones favorables y abundancia de recursos esenciales (Alfaro et al. 2017).



Evidencias claras de ello se hallan en las proximidades del humedal costero del Elqui, a saber: el sitio habitacional y funerario El Olivar, correspondiente a las culturas molle, ánimas y diaguita, y la propia ciudad de La Serena, uno de los asentamientos españoles más antiguos en el extremo austral de América (Zuleta-Ramos & Contreras-López 2019; González 2023).

Pese a su importancia ecológica, social y económica, los humedales son uno de los hábitats más amenazados del planeta (Medina 2024). Durante siglos, fueron considerados como tierras marginales que debían drenarse o «recuperarse», ya sea para generar condiciones sanitarias óptimas o, fundamentalmente, para ampliar las áreas agrícolas y urbanas. Se estima que la extensión mundial de humedales ha disminuido en un 75 % en el último siglo, evidenciando un declive mayor a otros ecosistemas (Ramsar 2021). Entre las principales causas de esta transformación, figuran el drenaje de las aguas, la fragmentación del hábitat, la contaminación y la urbanización (Ramsar 2015). La degradación ambiental de los humedales redundará en una pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos, lo que, a su vez, afecta de forma notable la calidad de vida de las personas (IEEP y Ramsar 2013).

En las regiones áridas y semiáridas de Chile donde los recursos hídricos escasean, éstos ecosistemas representan una importancia aún más crítica al constituir un refugio imprescindible para las especies de flora y fauna (Vidal-Abarca et al. 2000; Figueroa et al. 2009; Mitsch & Gosselingk 2015). Un estudio realizado por Tabilo et al. (2016), consistente en una evaluación de 80 humedales costeros de Chile y Perú, puso en evidencia los escasos esfuerzos que se han desplegado hasta ahora para conservar tan valioso patrimonio natural. En ese sentido, la recuperación de áreas degradadas, especialmente en humedales costeros urbanos, es un objetivo clave para la conservación de estos ecosistemas vitales.

El humedal costero del Elqui dista sólo 3 km del centro histórico de La Serena. Por la singularidad de su paisaje y biodiversidad, se yergue como una de las principales áreas naturales de la Región de Coquimbo. Pertenece a la red de humedales de la costa árida del Pacífico sudamericano, vasto corredor ecológico que se extiende desde el norte de Perú hasta Chile central (Tabilo et al. 2016). Como los demás sitios que componen este sistema, el humedal costero del Elqui es un importante «servicentro» o punto de escala para diversas especies de aves migratorias que se desplazan por la costa occidental de América (Amenzaga et al. 2002). No obstante, este sitio ha perdido un 50 % de su vegetación en la última década y se halla fuertemente afectado por el vertimiento de basura y escombros (ECOTERRA, datos no publicados).

En este contexto, la restauración ecológica se presenta como una herramienta clave para mitigar la vulnerabilidad de los ecosistemas degradados, ya sea por la presión antrópica o por causas naturales. Para desarrollar estrategias de conservación y restauración sostenibles a largo plazo resulta crucial el involucramiento de la comunidad local debido a que favorece la apropiación y el compromiso con los proyectos, porque permite la creación de intervenciones adaptadas a las necesidades y realidades del territorio, lo que mejora significativamente la efectividad de las acciones emprendidas (Aronson et al. 2017).

En este contexto, se detallarán y explicarán en profundidad las distintas acciones de rehabilitación y restauración aplicadas en el área demostrativa del humedal río Elqui, en la Región de Coquimbo, Chile. Esta iniciativa ha sido clave para comprender los desafíos y éxitos asociados a la restauración de humedales urbanos en zonas semiáridas, y proporciona valiosas lecciones sobre cómo combinar esfuerzos científicos, técnicos y comunitarios para alcanzar objetivos de conservación sostenibles.

2

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA COMO HERRAMIENTA PARA LA RECUPERACIÓN DEL HUMEDAL RÍO ELQUI

Antes de iniciar un proyecto de restauración ecológica, es esencial realizar un análisis detallado de las condiciones ambientales y sociales de cada ecosistema a restaurar. Este diagnóstico nos permitirá definir una estrategia adecuada, estableciendo objetivos y métodos específicos en función de los objetos de conservación cómo de las condiciones particulares del humedal a intervenir. La restauración ecológica tiene como propósito recuperar los ecosistemas degradados para que éstos puedan desempeñar sus funciones ecológicas fundamentales mejorando su resiliencia frente a futuras perturbaciones sean éstas de origen natural o antrópico.

La Sociedad de Restauración Ecológica (SER por sus siglas en inglés) ha definido la restauración ecológica como “el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido” (SER 2004). Además, propone un proceso estructurado que incluye varias fases, las cuales son fundamentales para garantizar el éxito de cualquier proyecto de restauración ecológica.

A continuación, te presentamos un paso a paso de estas etapas:

1

Evaluación inicial: consiste en diagnosticar el estado actual del ecosistema objetivo, identificando las causas de su degradación, como la urbanización, la contaminación o las especies invasoras (como por ejemplo el caso de la hierba del rocío *Mesenbriatenum cristalinum* presente en el área demostrativa del humedal río Elqui) y las especies presentes como sus interacciones.

2

Definición de objetivos: establecer objetivos claros y específicos para la restauración basados en las condiciones y las funciones ecológicas de referencia, considerando sus funciones ecológicas esenciales y su capacidad de recuperación.

3

Diseño y planificación: implica diseñar estrategias y seleccionar técnicas adecuadas para alcanzar los objetivos establecidos. Esto incluye definir inquietudes y metas, implementar pilotos o núcleos de restauración con parcelas demostrativas, elegir especies nativas para su reintroducción y el manejo de amenazas o factores que degradan el ecosistema como por ejemplo em control de especies invasoras.



4

Implementación: consiste en ejecutar las acciones planificadas, tales como la reforestación con especies nativas, la mejora de la calidad del agua y la estabilización de suelos, según las necesidades del ecosistema.

5

Monitoreo y evaluación: esta fase corresponde a una de las más críticas del proceso, debido a que permite supervisar el progreso del proyecto y evaluar los resultados en relación con los objetivos iniciales. Esta fase permite realizar ajustes necesarios para asegurar el éxito a largo plazo del proyecto favoreciendo la realización de correcciones oportunas.

6

Mantenimiento y gestión de largo plazo: continuar con el monitoreo y gestión del ecosistema en restauración para asegurar su sostenibilidad y resiliencia frente a futuras perturbaciones.



Estas fases aseguran un enfoque integral y adaptativo, propiciando una recuperación efectiva de los ecosistemas degradados. Como se muestra en la figura 1 el monitoreo, en particular es esencial para la gestión adaptativa, debido a que proporciona la información necesaria para ajustar las estrategias y garantizar que el proyecto de restauración logre sus objetivos a largo plazo (Ramírez et al. 2015). Para esto es fundamental establecer indicadores de éxito claros cuyo seguimiento, nos permitirá verificar si los objetivos planteados y las acciones implementadas son o no exitosos o determinar qué se debería rectificar o modificar mientras se desarrollan las acciones.

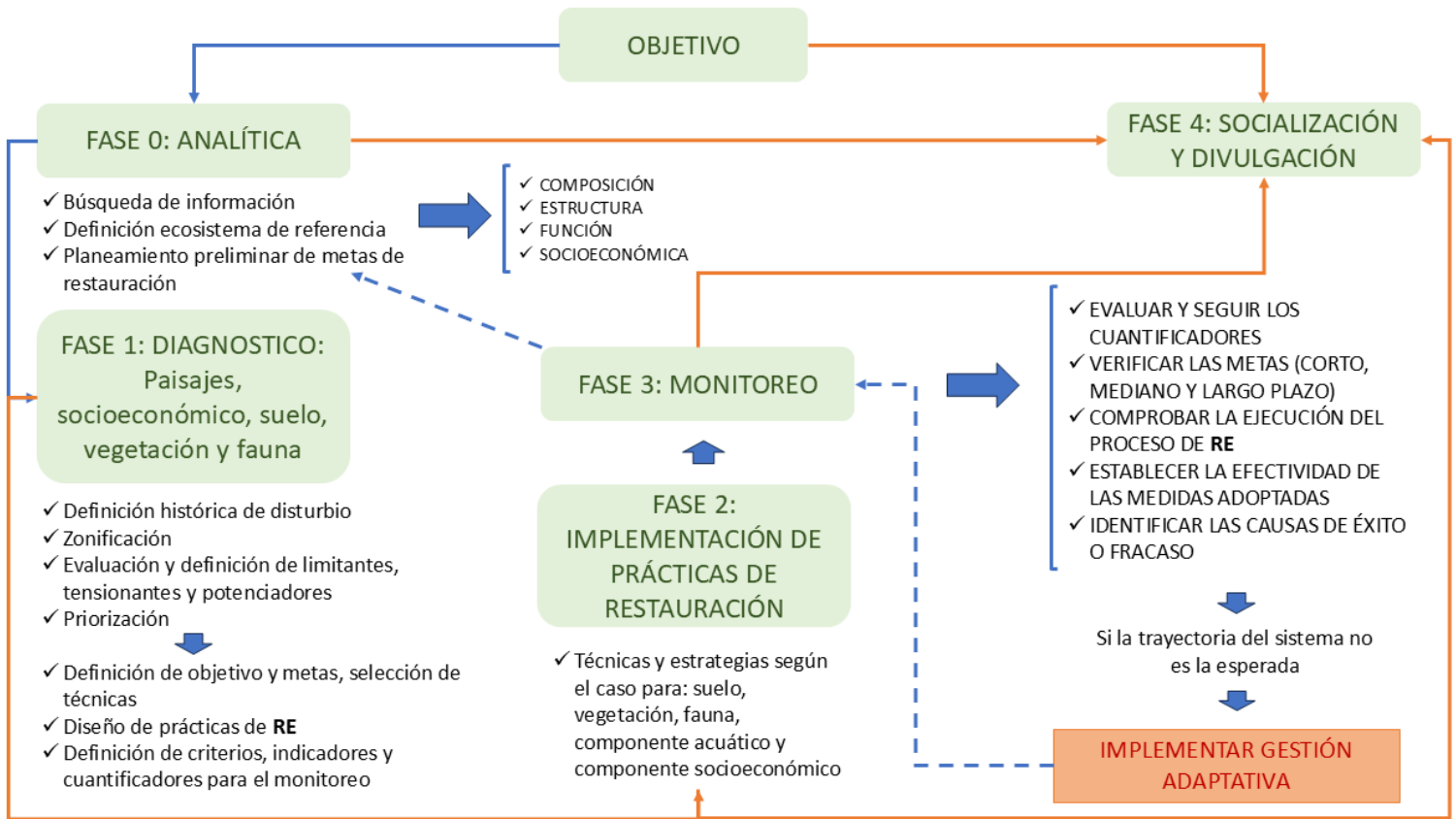


Figura 1. Fases para la formulación e implementación de un proceso de restauración ecológica. Modificado de Ramírez et al 2015b



3

ESTRATEGIAS PARA LA RESTAURACIÓN DEL HUMEDAL RÍO ELQUI

3.1.- Evaluación y diagnóstico inicial para la restauración del área de demostración del humedal río Elqui: análisis de causas, áreas afectadas y recursos disponibles.

Teniendo presente que el primer paso en la recuperación de un área degradada es la evaluación y diagnóstico de la zona afectada, previo a la intervención en el área demostrativa de restauración del humedal río Elqui se realizó una inspección visual con especialistas de diversas áreas para:

- Identificar de las causas de la degradación como por ejemplo urbanización, contaminación por residuos sólidos o aguas residuales, modificación hidrológica, entre otras.
- Mapear las áreas afectadas, para la identificación precisa de las áreas impactadas por ejemplo con residuos domésticos y/o industriales provenientes de la construcción.
- Examinar las características físicas, químicas y biológicas del humedal como por ejemplo el estado del suelo, de la cobertura vegetal, flora y fauna.
- Conocer la realidad socioeconómica de la comunidad del entorno.

Posteriormente, identificamos los recursos humanos, económicos y de tiempo disponibles para las acciones de recuperación. Esto incluyó la estimación de los costos de plantación (delimitación física del área de restauración, adquisición de plantas, mano de obra, compra de fertilizantes, etc.), costos de mantenimiento (riego, método, frecuencia de deshierbe, entre otros) y período de monitoreo y cierre (registro de datos hasta el inicio de la regeneración natural).

3.1.1.- Evaluación inicial en el área demostrativa del humedal urbano río Elqui

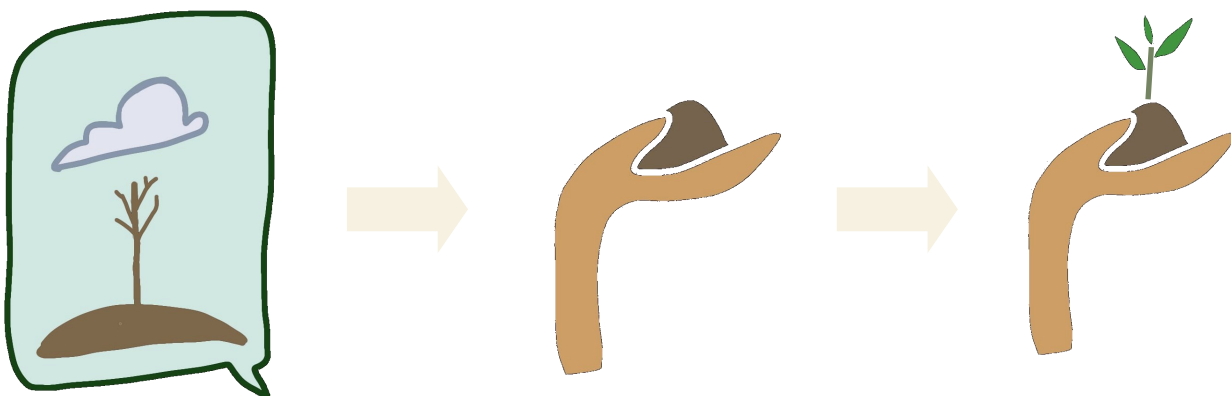
El humedal río Elqui (29°53' S, 71°16' O) se ubica en la comuna de La Serena, Región de Coquimbo. El clima imperante corresponde al semiárido de lluvia invernal e influencia costera. Los promedios anuales de temperatura y precipitación son de 14,5 °C y 80 mm, respectivamente. La vegetación característica de esta zona es el matorral desértico mediterráneo (Luebert & Pliscoff, 2006).

Históricamente, densos bosques ribereños de arrayanes y otras especies leñosas poblaban el humedal del Elqui. Su tala para habilitar tierras de cultivo, junto con su explotación como material de construcción y combustible, impactó negativamente la calidad del ecosistema local. A ello se suma el uso intensivo de las aguas del humedal en actividades agrícolas, mineras, recreativas, entre otras. Parte importante de dicho recurso se extrae desde napas subterráneas (MMA, 2022). En la actualidad, las aguas de la sección terminal del humedal se clasifican como hipertróficas, lo que se debe principalmente a una alta concentración de nitrógeno (MMA et al., n. d.), lo que podría estar asociado al vertimiento de aguas servidas (MMA-ONU Medio Ambiente 2022).

Tomando en cuenta la heterogeneidad espacial del humedal río Elqui, se delimitó un área demostrativa de 200 m², donde se realizó una evaluación rápida de suelo y vegetación. En dicha parcela, se demostraron métodos y técnicas de recuperación de áreas degradadas con el fin de fomentar procesos de enseñanza-aprendizaje, educación ambiental y concientización social respecto de la importancia y preservación del ecosistema del humedal (Imagen 1).



Imagen 1.- Inspección inicial del área demostrativa del humedal río Elqui para su restauración.



4

MÓDULO 1: RESTAURACIÓN DE SUELO EN HUMEDALES

4.1.- Estado de degradación del suelo en el área demostrativa del humedal río Elqui: desafíos y estrategias para su restauración ecológica

El suelo del área demostrativa (Img. 1) se encuentra en un avanzado estado de degradación, resultado de diversas actividades de origen antrópico que han alterado significativamente su estructura. La extracción de áridos, el drenaje y relleno para la construcción de viviendas, así como el vertimiento de escombros y residuos industriales y domésticos, han contribuido a la pérdida de sus propiedades naturales.

Como consecuencia de estas alteraciones, se observa la ausencia total de especies vegetales nativas y de cualquier otro tipo de material orgánico, evidenciando un profundo deterioro de su capacidad de regeneración. Técnicamente, estos cambios en la estructura del suelo han alterado su agregación, lo que disminuye su porosidad y afecta el equilibrio entre los componentes sólidos, líquidos y gaseosos del suelo (Bronick & Lal 2005). Además, la compactación y la falta de materia orgánica contribuyen a la reducción de la actividad biológica, clave para el mantenimiento de la estructura y la fertilidad del suelo (Barrios 2007). En este contexto, la restauración de la estructura del suelo es esencial para recuperar sus funciones ecosistémicas y restaurar la biodiversidad y los procesos biogeoquímicos comprometidos.

La restauración es un proceso de largo plazo que conceptualmente engloba una serie de procedimientos y resultados posibles de alcanzar a través de este proceso. Dichas acciones se clasifican en función del objetivo que se busca alcanzar.

A continuación, se presenta un resumen conceptual de cada uno de estos términos y sus correspondientes objetivos.

Remediación: limpieza y descontaminación de ecosistemas que han sido afectados por sustancias tóxicas o contaminantes. La remediación puede incluir técnicas como la fitorremediación, donde se utilizan plantas para absorber y neutralizar contaminantes.

Reemplazo: asignar un nuevo uso a un ecosistema degradado para el desarrollo de actividades social y ambientalmente aceptables. Por ejemplo, convertir un área degradada en un parque o una reserva natural, tal como un humedal urbano. Este tipo de intervención implica cambiar el uso original del terreno por otro que busque restaurar o mejorar el entorno de manera funcional, pero no necesariamente devolverlo a su estado natural original.



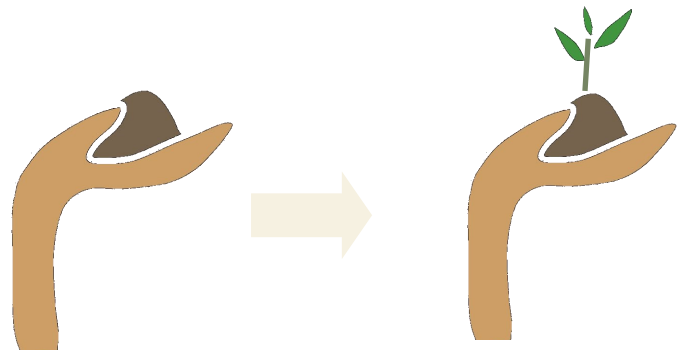
Imagen 2. Suelo del área demostrativa del humedal río Elqui.

Por otra parte, la rehabilitación busca restablecer las funciones ecológicas básicas de un área degradada, sin necesariamente devolverla a su estado original. Se centra en restaurar la capacidad productiva y los servicios ecosistémicos de un sitio adaptando el paisaje para usos sostenibles (Aronson et al. 1993).

Las técnicas de rehabilitación incluyen las siguientes etapas:

- **revegetación** con especies nativas o exóticas para estabilizar el suelo;
- **mejoramiento del suelo** mediante la adición de enmiendas orgánicas o fertilizantes;
- **control de erosión** a través de la construcción de barreras físicas o cubiertas vegetales para estabilizar suelos, mejorar la retención de agua y acumular sedimentos y nutrientes (p. ej., terrazas en laderas, muros de piedra seca, fascinas de ramas, cercas de malla o geomembrana, revegetación con pastos nativos, aplicación de cubiertas de mantillo [mulching], entre otros).

El objetivo de estas acciones es mitigar los efectos de la degradación, aunque no siempre restablecen completamente la biodiversidad original del sitio.



5

MÓDULO 2: FLORA Y VEGETACIÓN DEL HUMEDAL RÍO ELQUI

5.1.- Técnicas para la recuperación de áreas degradadas: el caso de la flora silvestre

Antes de intervenir el área degradada con las especies vegetales a reforestar, es fundamental aislar los factores de degradación ambiental, tales como la presencia de ganado y el tránsito de vehículos. Una herramienta útil para excluir el área de herbívoros de gran tamaño o de personas son los cercos perimetrales, no obstante, estos deberán permitir el paso de animales de menor tamaño, como aves, mamíferos y reptiles, para favorecer la dispersión de materia orgánica, nutrientes y semillas. En general, los cercos estándar suelen estar compuestos por cinco hebras de alambre y polines de pino impregnados, de dos metros de largo y 3 a 4 pulgadas de diámetro, distanciados aproximadamente cada dos metros. Este diseño permite la exclusión de especies más grandes sin obstaculizar el movimiento de fauna de menor tamaño, contribuyendo a la dinamización ecológica del área.

5.2.- Restauración ecológica

La restauración ecológica es un proceso integral que busca devolver un ecosistema a su estado original, antes de la degradación. Este proceso intenta recrear la estructura, función, diversidad y dinámica previas a la alteración humana o natural del ecosistema (Hobbs & Harris, 2001). La restauración ecológica no se limita a la reforestación, sino que incluye la rehabilitación de los procesos ecológicos fundamentales y la recuperación de la biodiversidad.

Las técnicas de restauración ecológica se basan en la promoción de la sucesión ecológica, que es el proceso mediante el cual las comunidades vegetales y animales se regeneran de forma gradual. Dentro de este proceso, se consideran tres tipos de especies clave:

1

- **Especies pioneras (P):** son las primeras en colonizar un área perturbada o degradada. Generalmente, estas especies son pequeñas, de rápido crecimiento y capaces de sobrevivir en condiciones adversas, como suelos pobres en nutrientes o alta exposición al sol. Ejemplos de estas especies incluyen musgos y hierbas anuales, que preparan el terreno para la llegada de otras plantas.

2

- **Especies secundarias (S):** son las especies que se establecen después de las pioneras, aprovechando las condiciones mejoradas que estas últimas han creado. Dentro de las especies secundarias, se distinguen dos grupos:
 - ♦ **Facilitadoras:** ayudan a mejorar las condiciones del suelo y del microambiente, favoreciendo el crecimiento de otras especies en etapas posteriores. Entre estas se incluyen leguminosas que fijan nitrógeno, así como arbustos que protegen el suelo de la erosión y mejoran su fertilidad.
 - ♦ **Intermedias:** son plantas más longevas que las pioneras y requieren más recursos, como nutrientes y luz. Se incluyen en este grupo arbustos leñosos, plantas herbáceas perennes y árboles de crecimiento rápido.

3

- **Especies clímax (C):** estas especies predominan en las últimas etapas de la sucesión ecológica, cuando el ecosistema alcanza un estado estable y en equilibrio, conocido como clímax. Las especies clímax son generalmente longevas, de crecimiento lento y altamente competitivas. Ejemplos de especies clímax incluyen árboles maduros de gran tamaño, como *Maytenus boaria* (maitén) y *Salix humboldtiana* (sauce criollo).



Figura 2. Etapas de sucesión ecológica a lo largo del tiempo.

Algunos Procesos para la Restauración Ecológica

- **Remoción de especies invasoras** mediante métodos mecánicos, químicos o biológicos (Zedler & Kercher 2004).
- **Monitoreo ecológico** para verificar y asegurar el avance del proceso de sucesión ecológica.
- **Reintroducción de especies nativas** para reconstruir las comunidades ecológicas originales y proporcionar hábitats para la fauna local. A diferencia de las especies exóticas, las nativas se adaptan mejor a las condiciones ambientales locales, lo que favorece el proceso de recuperación. Se recomienda seleccionar especies tolerantes a factores ambientales adversos, como la presencia de contaminantes y las variaciones de la salinidad (Mitsch & Gosselink 2015).

Para maximizar la biodiversidad y la resiliencia de la zona afectada, se debe incluir la mayor variedad posible de especies nativas. Las comunidades vegetales con alta diversidad de especies tienen una gran capacidad de recuperación frente a las perturbaciones. Además, mejoran el ciclo de nutrientes, brindan una mayor protección mecánica a los suelos, atraen a una fauna más rica y abundante y son más resistentes a las plagas y enfermedades. La reintroducción asistida también puede aplicarse a la fauna, en particular a aquellas especies que, mediante sus interacciones bióticas, contribuyen a procesos como la polinización (p. ej., insectos y colibríes), la dispersión de semillas (p. ej., aves frugívoras), la descomposición (p. ej., especies carroñeras o detritívoras) o el control de plagas (p. ej., aves y murciélagos insectívoros, rapaces). Este último aspecto es crucial para la regulación de especies de fauna invasora, tales como roedores exóticos, liebres y conejos, los cuales compiten con las especies nativas (p. ej., el coipo) y degradan la vegetación nativa mediante su actividad consumidora.
- **Bioingeniería** para estabilizar el suelo y reconstruir hábitats mediante técnicas como el uso de estacas vivas o troncos para reforzar áreas erosionadas.
- **Sucesión ecológica** pasiva a diferencia de la sucesión activa, esta metodología consiste en facilitar proceso de recuperación y restauración natural; principalmente, cuando el ecosistema objetivo no ha sufrido perturbaciones sucesivas o intensas y, además, se encuentra rodeada por una matriz natural que aporta propágulos de forma permanente y facilita los procesos de recolonización. El requerimiento fundamental en este caso es el de controlar la amenaza o actividad fuente de la alteración, como, por ejemplo, la ganadería, agricultura, incendios forestales u otros mecanismos de perturbación intensa. La protección del suelo y del agua suele ser el mecanismo más común y puede implementarse, por ejemplo, mediante la construcción de cercos de alambre o malla para impedir el ingreso de agentes de perturbación adicional, como el ganado doméstico o los lagomorfos (liebres y conejos). De esta manera, se garantiza la protección por largos períodos de tiempo y, con ello, se pueden restaurar los ambientes tras décadas de protección.

Luego del cercado de la zona en recuperación, se pueden implementar técnicas como las que se detallan a continuación.

5.2.1.- Regeneración natural

La regeneración natural es particularmente adecuada para zonas con un grado de perturbación relativamente bajo, en las cuales aún se desarrollan procesos ecológicos fundamentales, como la producción de semillas, el reclutamiento de plántulas y el rebrote (Chazdon 2008). Este enfoque permite que los procesos naturales, como la dispersión de semillas y la colonización por especies nativas, contribuyan de forma efectiva a la recuperación del ecosistema (Holl & Aide 2011). La regeneración natural puede ser más eficiente y menos costosa en áreas donde los factores ambientales no han sido severamente alterados, ya que permite que la biodiversidad se restablezca gradualmente a través de mecanismos autógenos (Barton et al. 2018).

5.2.2.- Regeneración artificial

La regeneración artificial es utilizada en suelos con un grado de perturbación significativo, donde no existen fuentes cercanas de semillas, o en áreas afectadas por la presencia de flora invasora. Este enfoque se emplea también cuando es necesario recubrir rápidamente el suelo para reducir la erosión y promover la estabilidad del ecosistema (Chazdon 2008). La intervención humana mediante la plantación de especies nativas o el uso de técnicas como la siembra directa puede ser crucial en estos contextos, ya que facilita la recuperación de la cobertura vegetal y la restauración de las funciones ecológicas del suelo (Holl & Aide 2011). Además, la regeneración artificial puede ser esencial en áreas donde los procesos de regeneración natural son insuficientes o demasiado lentos debido a la severidad de la perturbación (Crouzeilles et al. 2016).

Durante el proceso de recuperación, es importante proteger el suelo tanto alrededor de la planta —para reducir la pérdida de humedad— como en la superficie del área total —para reducir los procesos erosivos— (Img. 3). El material utilizado puede incluir residuos de pasto seco u hojas de plantas de mayor tamaño, como palmeras.



Imagen 3. Recubrimiento de suelo en recuperación de áreas degradadas.

5.2.3.- Diversificación (regeneración natural y artificial)

La diversificación mediante regeneración natural y artificial es particularmente eficaz en suelos con condiciones relativamente favorables, pero con un proceso incipiente de regeneración natural, caracterizado por una distribución irregular de especies o una densidad muy baja. Este enfoque busca acelerar la recuperación ecológica de áreas degradadas mediante la incorporación de vegetación y el fomento de procesos naturales de restauración, lo que mejora la biodiversidad y la estructura del ecosistema afectado (Chazdon 2008). La regeneración natural, a menudo combinada con intervenciones artificiales, fomenta el restablecimiento de las funciones ecológicas, como la filtración del agua y la estabilización del suelo, cruciales para la recuperación de hábitats degradados (Holl & Aide 2011).

Es fundamental entender que la regeneración no siempre ocurre de manera homogénea o en tiempos rápidos; por lo tanto, las prácticas de restauración, como el trasplante de especies y la siembra directa, pueden ser necesarias para complementar el proceso natural y acelerar la restauración ecológica (Díaz - Triana et al. 2023).

Trasplante de plantas. Su realización es recomendable cuando hay plántulas disponibles, fácil acceso al terreno y suelos poco degradados (Img. 4a). En el Anexo V se detalla una guía práctica para la propagación de especies vegetales, que incluye técnicas específicas para maximizar el éxito del trasplante. Después de un transporte prolongado, las plantas deben regarse y protegerse del viento. Para ejemplares grandes, las ahoyaduras deben tener un largo, ancho y profundidad mínimos de 40 cm. Para plantas de semillero pequeñas, dichas dimensiones pueden ser 30 cm. La tierra del área excavada debe mezclarse con estiércol curtido u otro abono orgánico (p. ej., compost) en una proporción de hasta 50 %. Se debe remover el envoltorio de las plantas (bolsas) antes de plantarlas, procurando mantener intacto el cepellón (pan o grumo de tierra que rodea las raíces). El cuello de la planta, es decir, la zona que une el tallo con la raíz debe estar nivelado con la superficie del suelo, evitando amontonar tierra por encima del tallo (dicho en otros términos, «hacer un volcán»). Se debe disponer la tierra restante en forma de una corona de 20 cm (un palmo) alrededor de la plántula, lo que proporciona una buena retención del agua de riego. Al finalizar la actividad, deben recogerse bolsas de plástico y otros residuos. Las plántulas sobrantes tienen que devolverse al vivero, donde se mantienen para sustituir aquellas que mueran durante el período de monitoreo. Se considera exitoso un prendimiento de 80 % o, dicho de otro modo, una mortalidad aproximada de 20 %.



Siembra directa. La siembra directa es adecuada cuando se dispone de semillas, el acceso al terreno es limitado y el suelo no presenta una degradación severa, además de contar con una buena humedad en el sustrato. Este método resulta más económico que el trasplante de plántulas, pero generalmente su tasa de éxito es baja, con un prendimiento que oscila entre el 10% y el 15%. Sin embargo, si las semillas se cubren con una capa fina de tierra, la germinación puede aumentar hasta un 60%, lo que mejora significativamente las probabilidades de éxito en determinadas condiciones.



Lluvia de semillas. Se aplica, por ejemplo, en áreas de difícil acceso o con alta pendiente, en este proceso se suelen utilizar **bombas de semillas** (pequeñas bolas hechas de arcilla, compost y semillas), las cuales pueden lanzarse manualmente o a través de drones u otras tecnologías



Para el caso específico del área de demostración para la restauración ecológica del humedal río Elqui, se utilizó un enfoque de regeneración artificial, dado el alto grado de degradación suelo observado para restaurar las condiciones necesarias para la recuperación de este ecosistema.

Para propiciar el establecimiento y desarrollo de las especies a reforestar, se realizó la preparación del suelo, abarcando desde la eliminación manual de especies invasoras como *Mesembryanthemum crystallinum*, así como la incorporación de materia orgánica, como compost y fibra de coco, y perlita, un material que mejora la aireación del suelo. Esta mezcla mejoró la estructura edáfica, incrementando la porosidad y la capacidad de retención de agua, factores clave para promover el crecimiento vegetal en suelos deteriorados (Hernández-Rodríguez et al. 2010).

Con estas mejoras en las condiciones del suelo, se proporcionó un sustrato adecuado para la plantación de especies nativas características de los humedales. Se seleccionaron especies precursoras, como *Bacharis linearis* (romerillo), *Maytenus boaria* (maitén), *Psoralea glandulosa* (culén) y *Luma chequen* (chequén), que son idóneas para iniciar la restauración del ecosistema. Además, se eligió *Salix humboldtiana* (sauce criollo) como especie objetivo, debido a su adaptabilidad a ambientes húmedos y su capacidad para estabilizar el ecosistema a largo plazo.

La plantación se llevó a cabo siguiendo un enfoque similar al método Miyawaki (Img. 4), que promueve una alta densidad de plantación y una rápida recuperación del ecosistema mediante la formación de "islas de fertilidad". Este método fomenta la competencia entre las especies vegetales, acelerando la regeneración natural, favoreciendo la recuperación de la biodiversidad y mejorando la estructura del suelo (Miyawaki 2004).



Imagen 4. Preparación del suelo y plantación de especies vegetales.

6

MÓDULO 3: ARTRÓPODOS DEL HUMEDAL RÍO ELQUI

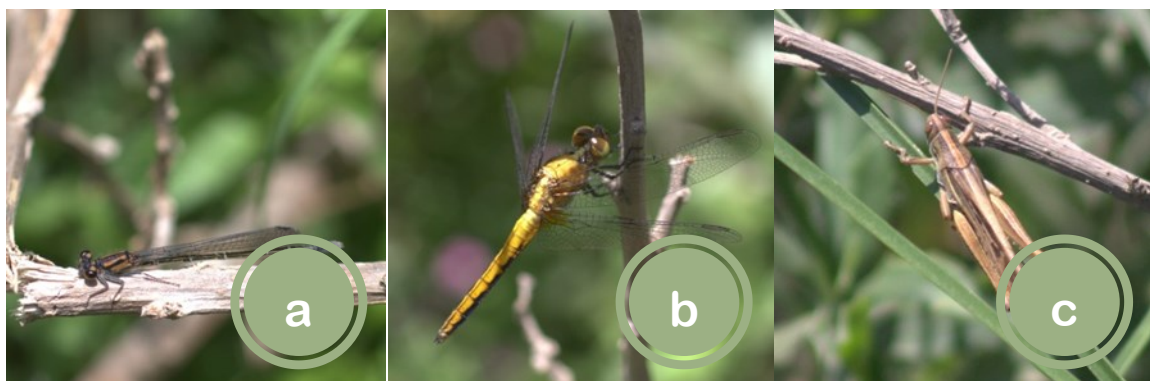
6.1.- Artrópodos para la restauración del área demostrativa

Los artrópodos constituyen el grupo de animales más diverso del planeta, pues representan entre el 75 y 80 % de todas las especies vivientes. Son esenciales para el equilibrio de todos los ecosistemas, ya que cumplen funciones clave en las redes de interacción ecológica y ofrecen servicios ecosistémicos fundamentales, como la polinización y el control de plagas. Dependiendo de su papel ecológico y sus comportamientos de reproducción, alimentación o búsqueda de refugio, es posible diseñar diversas estructuras para atraerlos y promover su presencia en áreas determinadas.

Entre los artrópodos, se encuentran los arácnidos, los miriápodos (ciempiés y milpiés), los crustáceos (cangrejos, camarones, chanchitos de tierra, entre otros) y los insectos. Estos animales viven en todos los hábitats de la tierra y muestran un sinnúmero de adaptaciones para adecuarse a estos. Existen algunos factores que podrían determinar el asentamiento de artrópodos en un sitio, como por ejemplo la calidad, abundancia y disponibilidad de recursos, el origen de las especies de plantas (nativas o exóticas) o el grado de exposición a sus predadores. Tomar en cuenta estos aspectos nos ayudará a implementar las acciones correctas para restaurar diferentes tipos de ecosistemas.

En general, la restauración de hábitats de humedal para los artrópodos se ha implementado de manera escasa, pese a su gran potencial y contribución a la restauración de los ecosistemas. En la red trófica de un humedal, los artrópodos integran la dieta de murciélagos, aves, reptiles y anfibios, así como de artrópodos insectívoros y omnívoros. En términos funcionales, se pueden subdividir en polinizadores, herbívoros, predadores y descomponedores. Cada uno de estos grupos cumple un papel importante en la provisión de servicios ecosistémicos (p. ej., polinizadores y predadores) o en la recuperación de nutrientes para el suelo (p. ej., herbívoros y descomponedores).

En las siguientes imágenes podrás conocer algunos de los artrópodos presente en el humedal río Elqui (Img. 5).



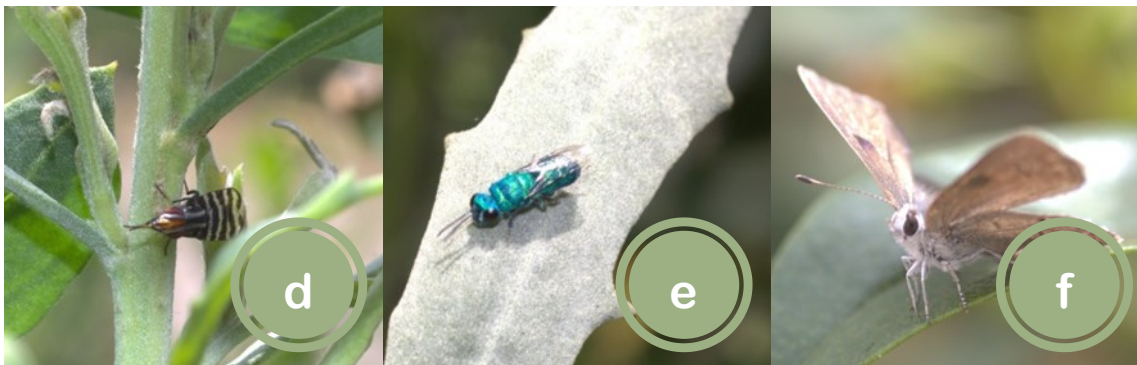


Imagen 5. Artrópodos presentes en el humedal río Elqui de izquierda a derecha (a) Caballito del diablo (*Coenagrionidae* indet.), (b) Libélula (*Erythrodiplox corallina*), (c) Langosta (*Schistocerca cancellata*), (d) Mosca de alas pintadas (*Ulidiidae* indet.), (e) Abeja esmeralda (*Corynura* cf. *chloris*) y (f) Mariposa saltarina (*Hesperiidae* indet.).

Atracción de abejas solitarias o semisociales. Las abejas nativas (Img. 5e), al igual que la exótica abeja melífera (*Apis mellifera*), son polinizadores muy eficaces en ambientes naturales y artificiales (p. ej., cultivos). La presencia de cuerpos de agua, tan característicos de los humedales, favorece la presencia de polinizadores, los que podrían favorecer a los ejemplares de flora plantados en un plan de restauración. Existen varias estructuras que pueden atraer a las abejas nativas, cuya construcción se fundamenta en el comportamiento de nidificación de estos insectos. Por ejemplo, es común que varias especies de abejas nativas de la familia Megachilidae utilicen agujeros en ramas caídas de árboles y arbustos. Este peculiar comportamiento permite explorar el uso de estructuras artificiales, como por ejemplo las casas u hoteles de abejas, para atraerlas. Para colonizar los agujeros, algunas de estas especies de abejas pueden llevar consigo hojas o ningún otro elemento. Después de encontrar un sitio óptimo, oviponen y dejan dentro del orificio una mezcla de polen y néctar, la que servirá de alimento para sus larvas. Los vástagos de las abejas permanecen dentro de los agujeros hasta completar su metamorfosis y llegar al estado de adulto, momento en el cual abandonan los nidos para iniciar nuevamente el ciclo.

Atracción de arácnidos. Los arácnidos son depredadores de excelencia en todos los ecosistemas. La regulación de las poblaciones de otros invertebrados e incluso vertebrados depende de la presencia de estos organismos. La creación de lugares donde estos puedan refugiarse producirá ambientes más equilibrados, donde artrópodos dañinos para las plantas (herbívoros) o para otros animales (parásitos) no se extenderá. Por lo tanto, proveer de refugios a los arácnidos es de gran importancia para la restauración ecológica de los ecosistemas. La fabricación de estructuras de cartón corrugado o madera apilada para promover la colonización de arácnidos (Img. 6b-c) ha probado ser muy efectiva. Las ranuras formadas entre los pliegues del cartón corrugado y la madera apilada son idóneas para la colonización de arácnidos.



Imagen 6. La imagen de la letra (a) representa las estructuras usadas como refugio de abejas solitarias o semisociales - casas u hoteles de abejas, (b) refugios de cartón prensado para arácnidos y otros artrópodos (Salman et al. 2020) y (c) pilas de madera para abejas u otros artrópodos.

Para conocer en detalle el proceso de construcción de los refugios para artrópodos, se presenta una guía práctica en el Anexo III y IV.

6.2.- Regeneración natural en el área demostrativa del humedal río Elqui

Con el objetivo de facilitar la colonización de los diversos artrópodos descritos para el humedal río Elqui y de esta manera promover la recuperación de este ecosistema en el área de demostración para la restauración ecológica, se implementaron todas las acciones de atracción y promoción de visitas descritas en esta sección (Img. 7).



Imagen 7. La imagen de la letra (a) refugio de abejas solitarias o semisociales - casas u hoteles de abejas, (b) pilas de madera para abejas u otros artrópodos implementadas en el área demostrativa para la restauración del humedal río Elqui.

7

MÓDULO 4: TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN PARA LA FAUNA SILVESTRE

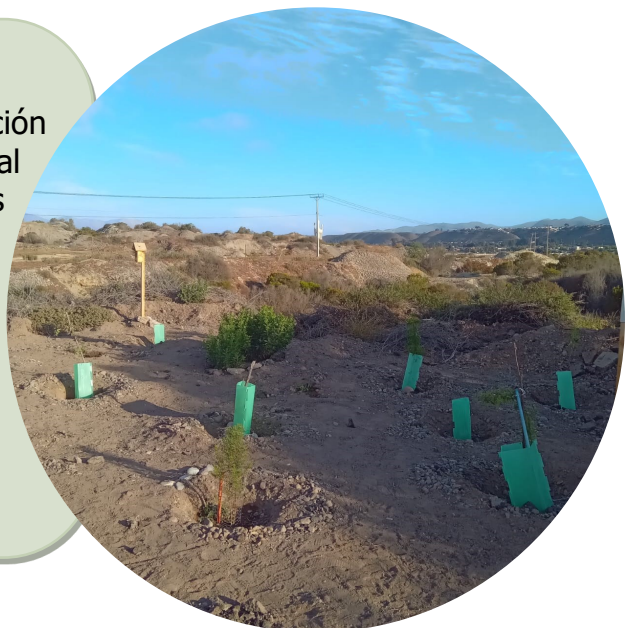
7.1.- Técnicas de restauración de la fauna silvestre para el área demostrativa

El área demostrativa para la restauración ecológica del humedal río Elqui presenta actualmente una baja densidad de fauna silvestre, lo cual podría estar relacionado con el alto grado de degradación de este ecosistema. Las perturbaciones y alteraciones ocurridas a lo largo del tiempo han ocasionado una pérdida significativa de la estructura ecológica funcional, dificultando el establecimiento y la presencia de especies de fauna silvestre. En este contexto, las estrategias de restauración implementadas buscan favorecer la recolonización y el establecimiento de especies de fauna silvestre que históricamente han habitado en este ecosistema.

Para promover la recuperación de este ecosistema, se han instalado diversas estructuras que proporcionan refugio y facilitan la colonización de fauna silvestre, en particular reptiles, aves rapaces y murciélagos. Estas acciones tienen como objetivo dinamizar los procesos ecológicos y restaurar las interacciones naturales dentro del humedal.

A continuación, se detallan algunas de las acciones clave para promover la restauración de la fauna silvestre realizadas en el contexto del curso de restauración de humedales:

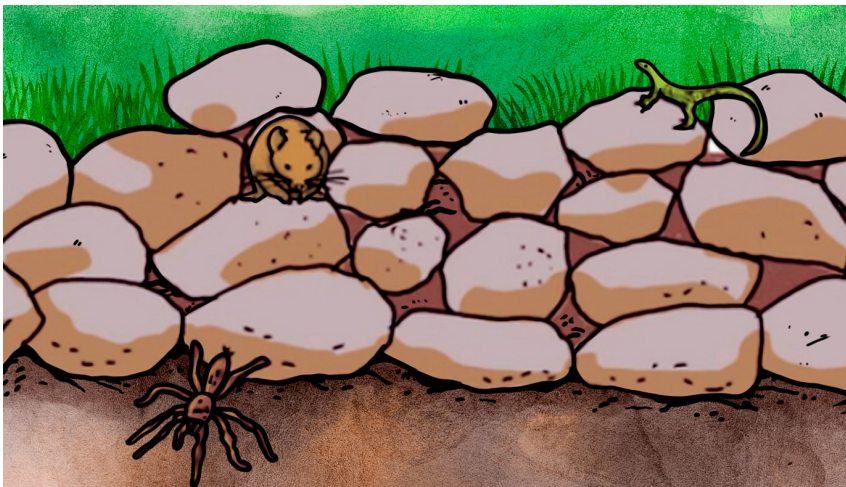
Atracción de fauna nativa: restituir la vegetación es un proceso clave para la restauración estructural del paisaje, mientras que promover o facilitar los procesos de recolonización por fauna es clave para su restauración funcional. En este contexto, los predadores juegan un papel muy importante en la regulación de las poblaciones y, dado que se encuentran en la cima de las cadenas tróficas o en el nodo central de las redes de interacciones, su presencia en el sistema es gravitante.





Atracción de reptiles: los reptiles, en particular las serpientes y los saurios (p. ej., iguanas, lagartijas y gecos) son predadores importantes de roedores, insectos y otros invertebrados. Su presencia ayuda a controlar las poblaciones de plagas que podrían dañar la vegetación restaurada o desequilibrar el ecosistema. A su vez, puede reducir la necesidad de utilizar pesticidas o métodos de control artificial, favoreciendo un equilibrio natural. Una técnica para atraer a estos animales es la construcción de pircas de bolones de piedra, las que actúan como guaridas y sitios de alimentación.

Atracción de predadores nativos: las aves y los murciélagos son importantes agentes de dispersión de semillas y control de especies invasoras o transmisoras de enfermedades. Para atraerlos hacia las zonas objetivo, se deben instalar refugios u otros tipos de infraestructura. En áreas de recuperación urbanas, como el humedal del Elqui, la atracción de aves rapaces mediante **cajas nido y perchas de cacería** les brindará a dichas especies la oportunidad de reproducirse y alimentarse, respectivamente, y, con ello, regular las poblaciones de animales exóticos, tales como ratas, ratones domésticos, conejos, liebres y palomas. Los murciélagos, por su parte, pueden atraerse con **guaridas artificiales**.



Para obtener más detalles sobre la construcción de refugios para la fauna silvestre, te invitamos a consultar la guía práctica de construcción de cajas nido y guaridas, disponible en los Anexos I y II.



8

MÓDULO 5: MONITOREO DE FLORA Y FAUNA CÓMO INDICADORES DE LAS ACCIONES DE RESTAURACIÓN

8.1.- Monitoreo y evaluación continua

El monitoreo consiste en aplicar metodologías estandarizadas para comparar en función de los objetivos los resultados alcanzados con los esperados (Ruiz-Jaen y Aide, 2005). Los resultados deben evaluarse, además, según la caracterización inicial de la zona afectada. Durante todo el proceso de intervención, y de manera periódica, es importante realizar **registros fotográficos** del área para crear una serie temporal de imágenes y recopilar datos de interés.

El monitoreo continuo y sistemático permite evaluar los resultados de las estrategias de recuperación adoptadas y, si es necesario, ajustarlas. Por otra parte, entrega información oportuna sobre la evolución sanitaria del humedal y permite detectar fuentes de contaminación y apoyar la gestión y conservación de estos ecosistemas.

El monitoreo de progreso a largo plazo es fundamental para garantizar el éxito de la recuperación del área. En general, las intervenciones de áreas degradadas deben ser monitoreadas por un período de entre 2 y 15 años. Durante ese tiempo, es fundamental combatir las hormigas, realizar deshierbes periódicos en un radio de al menos 60 cm alrededor de las plantas de semillero (coronación) y segar con frecuencia para evitar la competencia de otras plantas. También se aconseja adoptar medidas de prevención de incendios, regar en caso de sequía y realizar abonado de cobertura.

Los indicadores de recuperación incluyen cambios en la composición de especies vegetales y animales, así como en la calidad del suelo y del agua. La elección de las variables de monitoreo depende del objeto de interés, a saber:

Parámetros de flora

1. riqueza, abundancia y composición de especies;
2. cobertura y estratificación vegetal;
3. invasión de especies de flora exóticas (p. ej., *Myoporum laetum* [mióporo], *Tamarix* sp. [taray], *Typha angustifolia* [totora]);
4. porcentaje de supervivencia de especies plantadas, que se puede estimar según los siguientes grupos: (a) sembradas directamente, (b) sembradas directamente mediante propágulos y (c) trasplantadas desde viveros;
5. tasa de crecimiento de las especies plantadas (cm);
6. índices de infestación por plagas o enfermedades.



Parámetros de fauna

1. riqueza, abundancia y composición de especies;
2. invasión de especies de fauna exóticas (p. ej., ratas, ratón doméstico, paloma, tortuga de orejas rojas, rana africana o el pez conocido como chanchito).



Parámetros de calidad del agua

1. **parámetros fisicoquímicos:** temperatura, turbidez, pH, conductividad eléctrica (relacionada con la salinidad), color, oxígeno disuelto (OD), demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), concentración de nutrientes (nitratos, nitritos, fosfatos);
2. **parámetros biológicos:** riqueza, abundancia y composición de macroinvertebrados bentónicos, plancton y vegetación acuática.



Parámetros de suelo

1. textura;
2. tasa de infiltración;
3. nivel de compactación;
4. parámetros químicos (pH, materia orgánica, salinidad, concentración de macronutrientes [nitrógeno, fósforo, potasio]);
5. parámetros biológicos (actividad y biomasa microbiana, presencia de lombrices y otros invertebrados).



Parámetros hidrológicos

1. nivel de las aguas subterráneas;
2. flujo de agua (volumen de agua que ingresa y sale del humedal en un período determinado);
3. regímenes de inundación (frecuencia, duración y extensión de las inundaciones).



8.2.- Monitoreo y evaluación en el área demostrativa del humedal río Elqui

8.2.1.- Monitoreo de aves

Para evaluar la riqueza, abundancia y diversidad de aves, se realizará un muestreo activo en estaciones. Los ejemplares detectados, visual o acústicamente, se registrarán e identificarán en puntos de conteo de 50 m de radio fijo, considerando un intervalo de observación de 15 min por estación (Ralph et al. 1993). Para este fin, se recomienda utilizar binoculares de 8-10x de aumento con un diámetro de objetivo 42 mm, además de una cámara digital con un zoom óptico de 75-300 mm. La identificación de las especies se realizará comparando sus características morfológicas con descripciones provenientes de literatura especializada (Jaramillo 2005). Las voces registradas se compararán con las de la base de datos Xeno-Canto (www.xeno-canto.org).

Para determinar la riqueza, la abundancia (absoluta o relativa) y la diversidad de especies (p. ej., mediante el índice inverso de Simpson [Cinv] o el de Shannon-Wiener [H']), se aconseja por su fácil empleo el programa PAST V.3. En este contexto, es relevante mencionar que el índice inverso de Simpson se ha descrito como un buen indicador de diversidad (Feinsinger, 2004).

8.2.2.- Monitoreo de murciélagos

En el caso de los murciélagos, se empleará la técnica de detección activa mediante detectores acústicos de ultrasonido, tales como el EcoMeter Touch Pro-2, de WildLife Acoustics, conectado a un SmartPhone y la versión 2.8.25 de la aplicación EchoMeter. El periodo de registro será de 15 minutos, en cuyo inicio y término también se anotarán los valores de velocidad instantánea, máxima y media del viento (m/s), temperatura ambiental (°C) y humedad relativa del aire (%) (Tabla 3).

Si se opta por un monitoreo pasivo de murciélagos, es posible utilizar detectores acústicos de ultrasonido autónomos y programables como el modelo AudioMoth V.5. Estos dispositivos funcionan con un set de pilas AA alcalinas, lo que les confiere una autonomía de grabación de al menos un mes si se emplean memorias microSD 1 TB de capacidad, o de 15 días si son de 32 GB. La duración de las grabaciones dependerá de la capacidad de almacenamiento de las memorias y del tipo de programación asignado al dispositivo.

Para identificar las especies, se analizarán las grabaciones obtenidas con los programas SonoBat (V.4.1.0p) y BatSound (V.4.2.1), que permiten distinguir grabaciones con ruido de aquellas que contienen los parámetros acústicos necesarios para la identificación, como la duración e intervalo de las llamadas (expresados en milisegundos [ms]), las frecuencias mínima, máxima, media, característica y de inflexión (kHz), el ancho de banda (kHz) y atributos relacionados con la forma de las llamadas (p. ej., frecuencias modulada [FM], cuasiconstante [QCF, por su sigla en inglés] o constante [CF]). Finalmente, se compararán los parámetros y patrones obtenidos con los registrados en librerías acústicas, claves de identificación acústica y fichas de identificación de las especies de murciélagos de Chile (p. ej., Rodríguez-San Pedro et al. 2016; Galaz et al. 2020). De ser posible, se cuantificará el número de pases registrados como indicador de abundancia relativa, el número de llamadas de alimentación (feeding buzz) y el número de individuos por pase.

8.2.3.- Participación de la comunidad y educación

La participación de las comunidades en proyectos de restauración de humedales es un proceso crucial, especialmente en áreas urbanas, donde las acciones humanas tienen un impacto directo en los ecosistemas. Involucrar a los residentes en actividades como la limpieza, plantación y monitoreo puede asegurar la sostenibilidad de los proyectos y generar conciencia ambiental (Middleton, 2002).

8.2.4.- Adaptación y manejo adaptativo

La restauración de humedales es un proceso dinámico que exige la aplicación de un enfoque de manejo adaptativo, en el cual las estrategias pueden ajustarse en función de los resultados del monitoreo y los cambios de las condiciones ambientales. Esto permite reaccionar ante desafíos imprevistos y asegurar la resiliencia del ecosistema restaurado (Gunderson 2000).

9

CONCLUSIONES FINALES



Construcción de corredores biológicos

Los corredores biológicos urbanos son esenciales para la restauración ecológica, especialmente en ciudades como La Serena, donde el paisaje semiárido dificulta el desarrollo de vegetación. La planificación y restauración de corredores biológicos urbanos es importante por varias razones, tales como:

Conectividad Ecológica. Los corredores biológicos permiten que diferentes hábitats se conecten entre sí, facilitando la dispersión o desplazamiento de especies de flora y fauna. En el humedal del Elqui, la vegetación constituye un corredor biológico en sí mismo, pero la discontinuidad del río y la fuerte degradación de la vegetación ribereña restringen el flujo natural de las especies. Además, los corredores biológicos pueden conectar el humedal con otras áreas verdes urbanas, permitiendo que las especies se desplacen y encuentren nuevos hábitats. Esto es crucial para su supervivencia y reproducción.

Reducción de la Fragmentación del Hábitat. La urbanización tiende a fragmentar los hábitats naturales y, en consecuencia, a aislar poblaciones de especies y reducir su diversidad genética. Los corredores biológicos ayudan a mitigar estos efectos proporcionando rutas seguras para el movimiento de las especies, lo que es un proceso vital para mantener la salud y resiliencia del humedal del Elqui

Mejora de los Servicios Ecosistémicos. Los humedales urbanos, como el del río Elqui, proporcionan numerosos servicios ecosistémicos, como la regulación del ciclo del agua, la mejora de la calidad del aire y la mitigación de inundaciones. Los corredores biológicos fortalecen estos servicios al mantener la integridad ecológica del humedal y sus alrededores.

Adaptación al Cambio Climático: Los corredores biológicos también juegan un papel crucial en la adaptación al cambio climático, pues permiten que las especies se desplacen hacia áreas más adecuadas («refugios ecológicos») en respuesta a ciertas variaciones ambientales. Esto ayuda a mantener la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas.

El humedal del Elqui es un emblemático y vital para La Serena. A pesar de su notable biodiversidad y de los servicios ecosistémicos que brinda, enfrenta amenazas significativas por la urbanización y el cambio climático. La implementación de corredores biológicos en esta área puede facilitar la migración de aves y otras especies, ya que muchas especies dependen de los humedales en cuanto puntos de descanso y alimentación. Los corredores biológicos pueden conectar el humedal del Elqui con otras áreas naturales, proporcionando rutas de desplazamiento seguras.

Para sensibilizar a la comunidad sobre la relevancia de la conservación y la restauración ecológicas, es importante promover la educación y concientización ambiental en los corredores biológicos, considerando especialmente el gran potencial de estos como aulas al aire libre. La creación y el mantenimiento de estos corredores también fomentan la participación comunitaria, pues involucran a la comunidad local y promueven así un sentido de pertenencia y responsabilidad hacia el entorno natural.

10

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adán Alfaro, Leonor, Urbina Araya, Simón, & Alvarado Pérez, Margarita. (2017). ASENTAMIEN-
TOS HUMANOS EN TORNO A LOS HUMEDALES DE LA CIUDAD DE VALDIVIA EN TIEM-
POS PREHISPÁNICOS E HISTÓRICOS COLONIALES. *Chungará (Arica)*, 49(3), 359-377.
Epub 12 de junio de 2017
- Amezaga, J. M., Santamaría, L., & Green, A. J. (2002). Biotic wetland connectivity—supporting
a new approach for wetland policy. *Acta oecologica*, 23(3), 213-222.
- Aronson, J., Clewell, A. F., & Blignaut, J. (2017). *Ecological restoration: A global view*. Springer.
- Aronson, J., Floret, C., Le Floc'h, E., Ovalle, C., & Pontanier, R. (1993). Restoration and rehabi-
litation of degraded ecosystems in arid and semi-arid regions: A view from the South.
Restoration Ecology, 1(1), 8-17.
- Bacon, P. R. (2016). La función de los humedales en el ciclo hidrológico.
- Bailey, H. H., & Kuniyuki, A. H. (2005). *Principles of Plant Propagation*. Prentice Hall.
- Barrios, E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*,
64(2), 269-285.
- Barton, D. N., Dorsett, J., & Leus, K. (2018). Community-based approaches in ecosystem res-
toration: Enhancing participation and social sustainability. *Environmental Management*,
61(4), 658-669.
- Barton, D. N., et al. (2013). Ecological restoration of tropical forests: A global overview. *Envi-
ronmental Science & Policy*, 34, 20-29.
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124(1-
2), 3-22.
- Calderón, R. D. J. B. (2024). MANEJO DEL FUEGO EN HUMEDALES DE LA RESERVA DE BIÓS-
FERA LA ENCRUCIJADA. *Revista de Ciencias Agroalimentarias y Biotecnología*, 1(2), 19-
24.
- Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on de-
graded lands. *Science*, 320(5882), 1458-1460.
- Corrales Chaves, L. (2025). ¿Estamos perdiendo los humedales más rápido de lo que podemos
restaurarlos? *Revista de Ciencias Ambientales*, 59(1).
- Crouzeilles, R., et al. (2016). A global meta-analysis on the ecological restoration of tropical
forests. *PLOS ONE*, 11(11), e0162229.

- Díaz-Triana, J. E., Vargas-Ríos, O., & Rodríguez-Eraso, N. (2023). La nucleación: Una alternativa para la restauración ecológica de bosques neotropicales. *Ecología Austral*, 33(3), 867-886.
- ECOTERRA, 2017. Informe proyecto FPA 4-G-038-2016.
- Feinsinger, P. (2004). El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad.
- Figueroa, R., Suarez, M. L., Andreu, A., Ruiz, V. H., & Vidal-Abarca, M. R. (2009). Caracterización ecológica de humedales de la zona semiárida en Chile Central. *Gayana (Concepción)*, 73(1), 76-94.
- Finlayson, C. M., & van der Valk, A. (Eds.). (2012). *Classification and Inventory of the World's Wetlands (Vol. 16)*. Springer Science & Business Media.
- Galaz J, Yáñez J, Fernández I (2020) Los murciélagos de Chile: Guía para su reconocimiento. CEA Ediciones, Valdivia, Chile.
- González Carvajal, P. (2023). Humanos, camélidos y artefactos en un universo transformacional: ritualidad funeraria en el sitio El Olivar. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*, 28(1), 141-167.
- Gunderson, L. H. (2000). Ecological resilience —in theory and application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1), 425–439. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.425>
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., & Davies, F. T. (2011). *Plant Propagation: Principles and Practices*. Pearson Education.
- Hernández-Rodríguez, O. A., Ojeda-Barrios, D. L., López-Díaz, J. C., & Arras-Vota, A. M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo: Effect of organic fertilizer on physical, chemical and biological soil properties. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(1), 1-6.
- Hobbs, R. J., and Harris, J. A. (2001). Restoration ecology: rRepairing the Earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, 9(2), 239-246.
- Holl K, T Aide. 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management* 261(10): 1558-1563.
- Jaramillo, A. (2005). *Aves de Chile: incluye la península Antártica, las Islas Malvinas y Georgia del Sur*. Lynx Edicions.
- Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Schöngart, J., & Wittmann, F. (2012). A classification of major natural habitats of Amazonian white-water river floodplains (várzeas). *Wetlands Ecology and Management*, 20, 461-475.
- Luebert, F., & Pliscoff, P. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Editorial universitaria.
- Medina, A. A. M. (2024). Acciones de sensibilización socioambiental en el Humedal del ANP Molino de San Roque, Xalapa, Veracruz.
- Middleton, B. (2002). *Flood pulsing in wetlands: rRestoring the natural hydrological balance*. John Wiley & Sons.
- Mitsch, W. J., and Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands (5th ed.)*. Wiley.

- Miyawaki, A. (2004). Restoration of living environment based on vegetation ecology: theory and practice. *Ecological Research*, 19, 83-90.
- MMA, ONU Medio Ambiente, y GEF Humedales Costeros del Centro Sur de Chile.
- (n. d.). Síntesis información de línea base para el Humedal de la Desembocadura del Río Elqui, comuna de La Serena, Región de Coquimbo.
- MMA. (2022). Diagnóstico sobre el comportamiento morfodinámico e hidrodinámico del hHumedal cCostero del rRío Elqui y su barra terminal de arena, Rregión de Coquimbo. Informe Final.
- MMA-ONU Medio Ambiente 2022. "Diagnóstico ambiental actual y fuentes emisoras del Humedal Costero del Río Elqui, Región de Coquimbo". Elaborado Tabilo E., Castillo D., Chávez-Villavicencio C., Casale J-F., Vargas S. (2022). Ministerio del Medio Ambiente, Coquimbo, Chile. 140 pp.
- Mulamoottil, G. (1996). *Wetlands: Environmental Gradients, Boundaries and Buffers*. Lewis Publ, 320.
- Ralph CJ, Geupel GR, Pyle P, Martin TE, DeSante DF (1993) *Handbook of field methods for monitoring landbirds*. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA, USA, 141 pp.
- Ramírez, W., Aguilar-Garavito, M., and& Cabrera, M. (2015). Definición de objetivos, metas, indicadores y cuantificadores para el monitoreo a procesos de restauración ecológica. En M. Aguilar-Garavito, & W. Ramírez, W. (Eds.), *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres* (pp. 33-41). Instituto Alexander von Humboldt.
- Ramsar Convention Secretariat (2013). *The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971)*, 6th ed. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
- RAMSAR: Convención sobre los Humedales. (2015). Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas: una recopilación de análisis recientes. Nota informativa N°7 Ramsar 20pp.
- RAMSAR: Convención sobre los Humedales. (2021). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Edición especial de 2021*. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención sobre los Humedales.
- Rodríguez-San Pedro, A., Allendes, J. L., & Ossa, G. (2016). Lista actualizada de los murciélagos de Chile con comentarios sobre taxonomía, ecología, y distribución. *Biodiversity and Natural History*, 2(1), 16-39.
- ROSA-VELAZQUEZ, M. I. D. L., & Ruiz-Luna, A. (2020). Valoración social de los servicios ecosistémicos de humedales costeros: Estado actual y perspectivas. *Acta Biológica Colombiana*, 25(3), 403-413.
- Ruiz-Jaen, M. C., and& Aide, T. M. (2005). Restoration success: hHow is it being measured? *Restoration Ecology*, 13(3), 569–577.
- Salman, I., Ferrante M., Moller, D., and& Lubin, Y. (2020). Trunk refugia: A simple, inexpensive method for sampling tree trunk arthropods. *Journal of Insect Science* 20(2)., 1 - 6.
- SER, 2004. *The SER Primer on Ecological Restoration*. Science & Policy Working Group, Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona, E.U.A.

Tabilo E. J. Burmeister, C. Chávez-Villavicencio & C. Zöckler. 2016. Humedales y aves migratorias en la costa árida del Pacífico sudamericano. Etapa 1. Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales y Manfred Hermsen Stiftung. Coquimbo – Chile.

Thorpe, T. A. (2007). Plant Tissue Culture: Techniques and Applications. Springer.

Vidal-Abarca, M.R., Suárez, M.L. & Gómez, R. 2000. Los humedales: Ecosistemas para conservar. En: Biodiversidad. Contribución a su conocimiento y conservación en la Región de Murcia, pp. 149-162. (Eds. Calvo, J.F.; M.A. Esteve; F. López Bermúdez). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. España.

Zedler, J. B., and Kercher, S. (2004). Causes and consequences of invasive plants in wetlands: Opportunities, opportunists, and outcomes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(5), 431–452.

Zuleta-Ramos C & Contreras-López M (2019). Humedales Costero de Coquimbo: Biodiversidad, Vulnerabilidades & Conservación. Ediciones Universidad de La Serena & Ministerio del Medio Ambiente. La Serena, Chile.



Anexo I. Construcción de guaridas artificiales para murciélagos

Hasta la fecha, se han descrito 16 especies de murciélagos en Chile. De estas, catorce son insectívoras, una es nectarívora y una hematófaga. Algunas especies son solitarias, pero la mayoría vive en colonias de tamaño variable. Algunas, como el murciélago de cola libre (*Tadarida brasiliensis*), pueden formar colonias de hasta cientos de individuos. Para refugiarse y reproducirse, utilizan una variedad de cavidades, ya sea en árboles, rocas, cuevas o infraestructura humana. Los murciélagos coloniales son considerados eficientes controladores de plagas, dado que un solo individuo puede consumir hasta 600 insectos del tamaño de un mosquito por noche. Sin embargo, la destrucción progresiva de sus hábitats naturales está provocando la pérdida y declinación de sus poblaciones (Kunz et al., 2011).

La construcción de guaridas artificiales puede ofrecerles a los murciélagos lugares para refugiarse o reproducirse. Estructuras hechas de madera sin tratar son una alternativa eficaz para generar refugios, en especial para los murciélagos de la familia Molossidae, cuyos hábitos de nidificación son carácter colonial y comensal (entretechos, espacios entre lozas, muros y cuevas).

Materiales: tablas de madera no tratada (la de pino es una buena opción), taladros con brocas de diferentes tamaños, tornillos en cruz y sierra eléctrica o serrucho.



CASA DE MURCIÉLAGOS

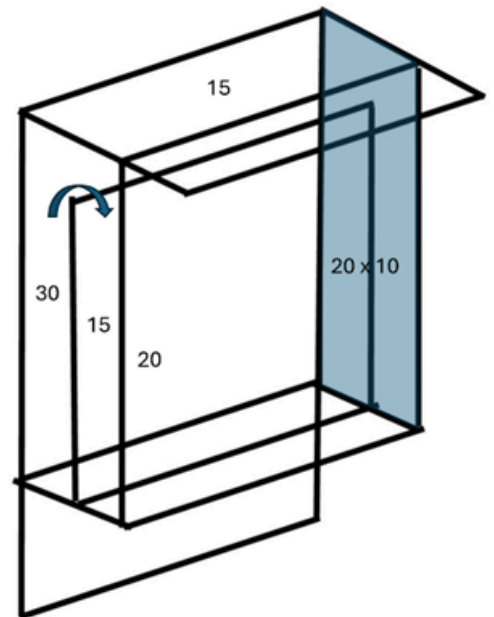
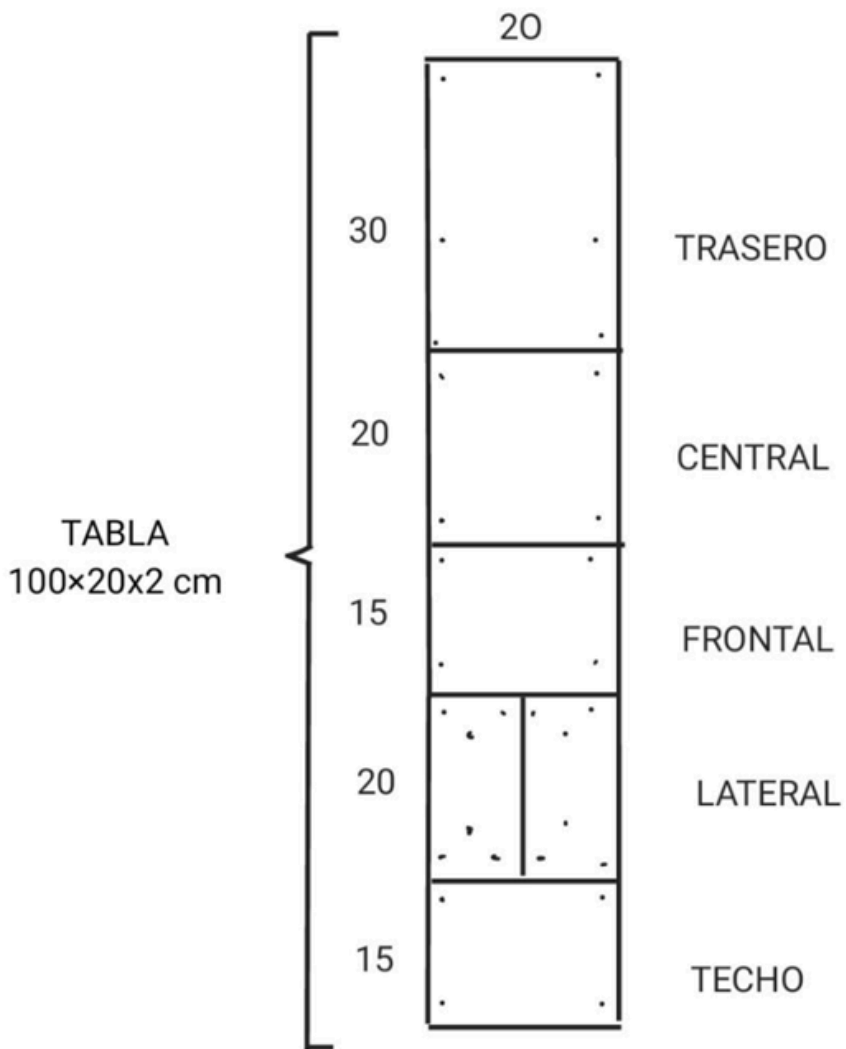


Figura 1. Diseño y dimensiones para la construcción de guaridas artificiales para murciélagos.

Anexo II. Construcción de cajas nido para aves rapaces

Para la construcción de dos cajas nidos para aves rapaces. El lugar de su instalación será el borde de un área de construcción urbana, por lo que será altamente probable encontrar ratas y ratones domésticos en el entorno. La presencia de aves rapaces en el área intervenida promoverá el control de las poblaciones locales de dichos roedores exóticos.

CASA NIDO PARA RAPACES

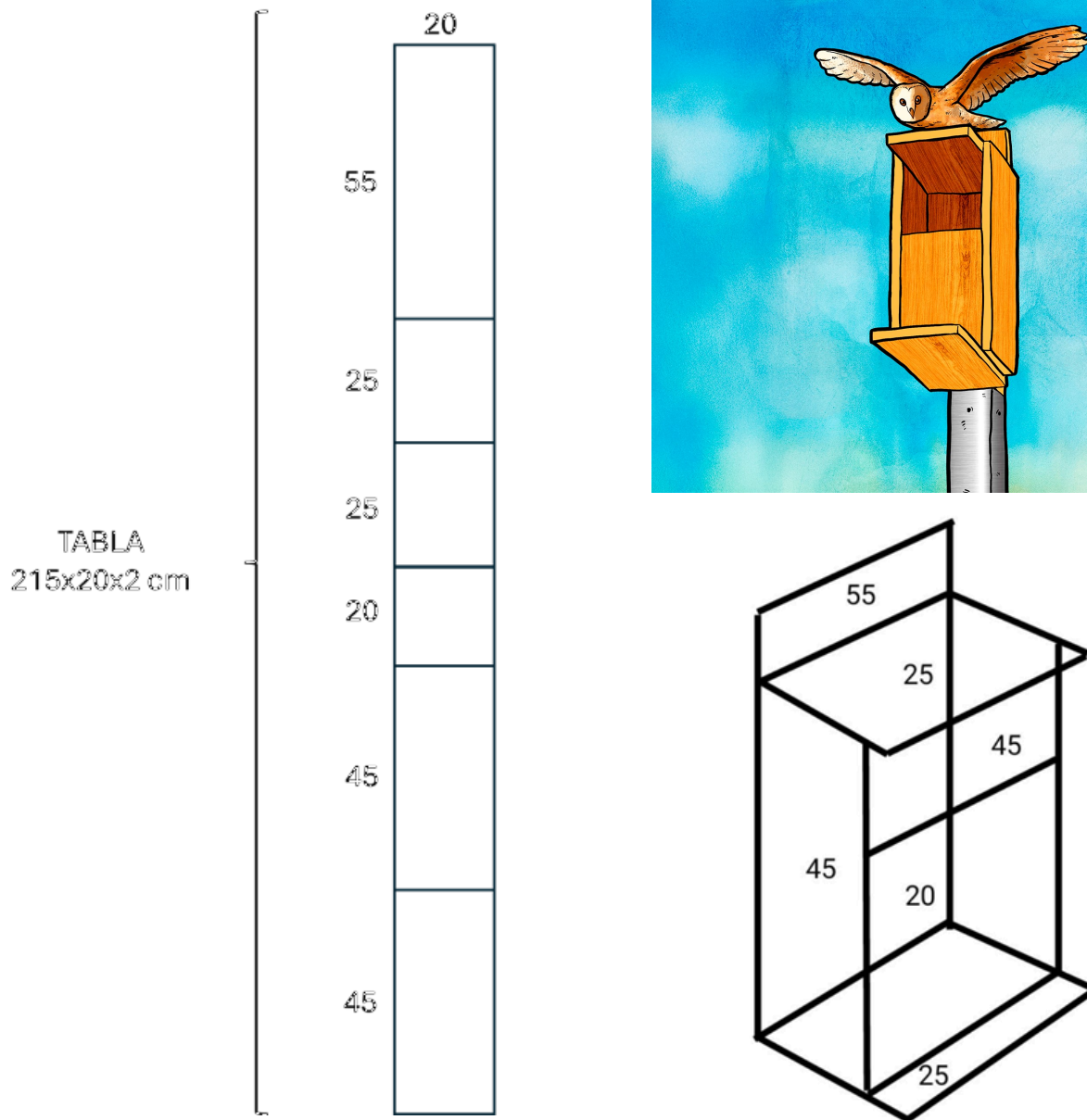


Figura 2. Diseño y dimensiones para la construcción de casa nido para aves rapaces.



Anexo III. Construcción de refugios para artrópodos

Construcción de casas de abejas solitarias o semisociales

En Chile se han descrito más de 474 especies de abejas nativas, la mayoría solitarias. Por lo general, excavan sus nidos en el suelo, troncos y ramas o utilizan pequeñas cavidades rocosas. Son polinizadores altamente eficientes, incluso comparables con la abeja melífera (*A. mellifera*). La destrucción progresiva de sus hábitats naturales y la invasión de especies invasoras (como *A. mellifera* y el abejorro europeo [*Bombus terrestris*]) están causando una notable disminución de sus poblaciones. En este contexto, la construcción de estructuras de madera sin tratar puede contribuir a su conservación, en particular a las especies de la familia Megachilidae.

Materiales: tablas de madera no tratada, taladros con brocas de diferente tamaño, tornillos en cruz, cañas huecas, ramas y hojas secas.

Construcción de hoteles de abejas solitarias o semisociales

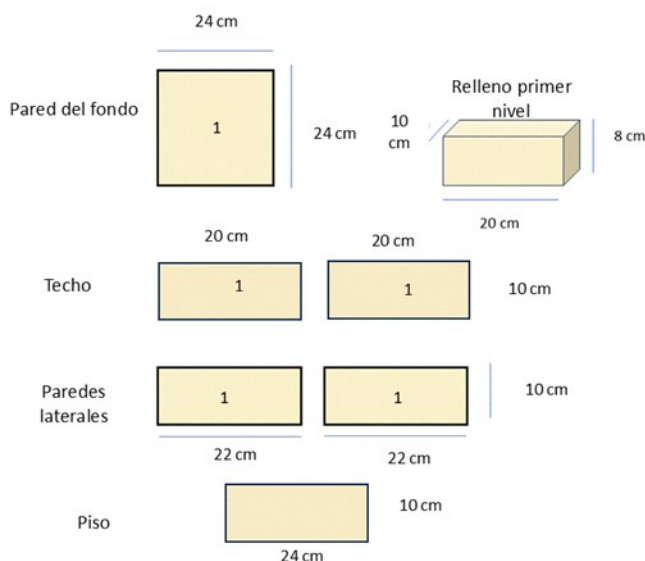


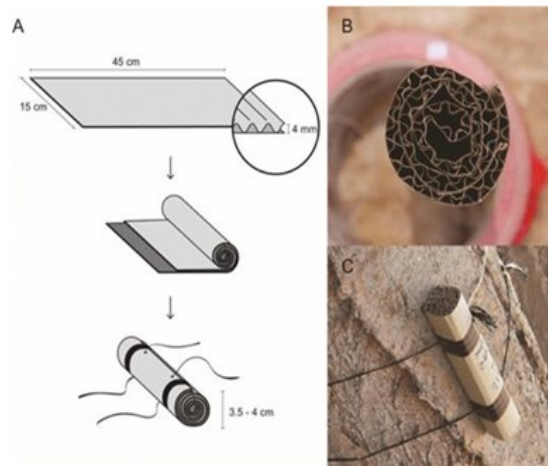
Figura 3. Diseño y dimensiones para la construcción de hoteles de abejas solitarias o semisociales.

Anexo IV. Construcción de refugios para arácnidos

Una forma sencilla y barata de construir refugios para arácnidos es la instalación de rollos de cartón corrugado o de pilas de madera. Las ranuras y orificios de estas estructuras proporcionan un microhábitat adecuado para estos organismos (Salman et al., 2020).

Materiales:

- Rollos de cartón corrugado
- Tijeras
- Amarra cables o Alambre
- Ramas y troncos
- Alambre y malla de gallinero.



palos para leña

Figura 4. Diseño para la construcción de refugios para arácnidos es la instalación de rollos de cartón corrugado o de pilas de madera.

Anexo V. Propagación de especies vegetales

Propagación Vegetal

La propagación vegetal es un conjunto de procedimientos cuya finalidad es incrementar la cantidad de plantas. Se puede realizar mediante dos mecanismos: i) la reproducción sexual o por semillas, y ii) la reproducción asexual o vegetativa. Esta última se efectúa a través de esquejes, acodos, injertos u otros tipos de propágulos, o bien con técnicas de micropropagación (p. ej., yemas vegetativas). La elección los métodos de propagación está determinada por las características de las especies y los objetivos establecidos.

Propagación sexual o por semillas

La obtención de una nueva planta comienza con la germinación, proceso por el cual el embrión contenido en la semilla da lugar a una plántula. Cada tipo de semilla requiere un tratamiento específico antes de germinar, ya que muchas presentan barreras naturales que dificultan o inhiben este proceso. Dichas barreras pueden asociarse a factores ambientales desfavorables para el crecimiento vegetativo, como una baja disponibilidad de agua, aireación insuficiente o temperaturas inapropiadas. Para superar estas limitaciones, se aplican diversos tratamientos previos a la germinación, entre los cuales figuran los siguientes:

- **Escarificación:** consiste en raspar o mellar la cubierta de la semilla (tegumento o testa) para permitir que la humedad y el aire entren en contacto con el embrión y activen el proceso de germinación (Img. 1).
- **Estratificado:** en este tratamiento las semillas aletargadas o en reposo se sumergen en agua y se mantienen a temperaturas frías durante un período específico. Este proceso simula las condiciones invernales que las semillas experimentarían en su hábitat natural, promoviendo la ruptura de la dormancia y favoreciendo la germinación al estimular la posmaduración del embrión y la activación de procesos fisiológicos clave (Img. 2).



Imagen 1. Tratamiento de escarificación de las semillas para activar el proceso de germina-



Imagen 2. Tratamiento de estratificación de semillas para estimular la germinación de las semillas.

- **Remojo térmico o tratamiento térmico de remojo:** este método consiste en remojar las semillas durante 12 a 24 h en un recipiente con agua, utilizando una cantidad de líquido equivalente a 4 o 5 veces el volumen de los propágulos. El agua puede estar a temperatura ambiente o calentarse hasta un rango de entre 77 y 100 °C. Una vez que el agua alcanza la temperatura deseada, debe retirarse de la fuente de calor. (Img. 3).



Imagen 3. Tratamiento de remojo térmico de semillas para estimular la germinación de las semillas.

- **Lixiviación con agua:** con objeto de remover los inhibidores de germinación, se remojan las semillas durante 12 a 24 h en agua corriente o con renovación frecuente (Img. 4).



Imagen 4. Tratamiento de lixiviación con agua para remover los inhibidores de la germinación de las semillas.

- **Estimulación química:** se utilizan compuestos químicos con propiedad para estimular la germinación. Entre los más usados, están el nitrato de potasio, la tiourea, el etileno, el ácido giberélico (GA3), las citoquininas, entre otros (Img. 5)



Imagen 5. Tratamiento de estratificación de semillas para estimular la germinación de las semillas.

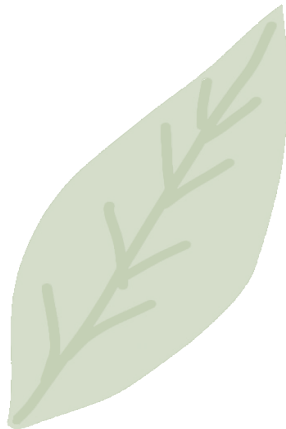
Propagación asexual o por multiplicación

La propagación asexual permite obtener plantas genéticamente idénticas al individuo de origen, es decir, clones. Este proceso se puede realizar mediante diversos métodos, como esquejes, acodos, injertos o cultivo in vitro, los cuales aseguran la conservación de las características genéticas deseadas (Hartmann et al. 2011). La propagación por esquejes, por ejemplo, implica cortar una parte de la planta madre para que enraíce y desarrolle un nuevo individuo, mientras que el injerto une dos partes de plantas diferentes para promover su crecimiento conjunto (Bailey et al. 2005). El cultivo in vitro es una técnica avanzada que permite la multiplicación de plantas en condiciones controladas, facilitando la obtención de grandes cantidades de clones en un corto período de tiempo (Thorpe 2007).

Técnica de injerto: consiste en unir partes vivas de dos plantas distintas para que crezcan juntas y formen un solo individuo autónomo. Este proceso implica insertar una porción de una planta, llamada injerto o vástago, en otra que actúa como base y se conoce como portainjerto o patrón. Usualmente, el injerto es una rama o yema de la planta que se desea propagar, mientras que el portainjerto aporta el sistema radicular. Los recursos proporcionados por el patrón permiten que el vástago crezca y produzca ramas, hojas, flores y frutos.

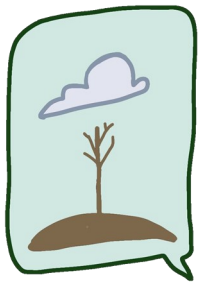
Siembra de esquejes o estacas: consiste en introducir en un sustrato un fragmento de tallo leñoso con yemas (esqueje o estaca) para que arraigue y forme una nueva planta independiente. En este caso, el proceso de corte y siembra de los propágulos se denomina estaquillado.

Acodado: consiste en inducir el desarrollo de raíces en un tallo sin separarlo de la planta madre. Cuanto más tiernas sean las ramas seleccionadas para el acodado, más fácil y rápido será su enraizamiento. Este proceso se basa en redirigir la savia hacia la parte de la rama que se está acodando, lo que favorece la formación de raíces en esa sección sin que se produzca una separación prematura del tallo.





Esperamos que este material sea ampliamente utilizado e inspirador para realizar múltiples actividades, especialmente de educación y participación de las comunidades. Agradecemos la participación de todas las personas, especiales y muy motivadas, que asistieron a todas o algunas de las actividades de reparación, rehabilitación, reforestación y restauración del sitio piloto que se realizaron para recuperar el Humedal Urbano Río Elqui.



Esperamos que todo este conocimiento pueda lograr esfuerzos de Restauración Ecológica a lo largo de la cuenca del Elqui, o en otros lugares del país.

Especial agradecimientos a la señora Sara Villaroel, quien es una vecina de un ímpetu contagiante, y de acciones 100% imitables. Ella, y otros vecinos del humedal, son quienes vigilan, participan de las actividades y riegan toda la vegetación, para que nuestra restauración ecológica del humedal tenga un futuro exitoso.

