

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO A LOS PROCESOS DE RECUPERACIÓN O REHABILITACIÓN ECOLÓGICA



Conexión herrada Juan Amarillo o Tibabuyes. Thomas McNish

4.1. PLANEAMIENTO DE UN PROGRAMA DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO

Un proyecto de restauración ecológica (Figura 4.1) adecuadamente planeado intenta cumplir claramente las metas establecidas que reflejan los atributos importantes del ecosistema de referencia (SER, 2004). Es así como, el programa de evaluación y seguimiento se convierte en una valiosa herramienta para determinar el éxito de este tipo de proyectos, pues provee a quien plantea o ejecuta una aproximación sistemática al proceso al facilitar la información necesaria, documentos cronológicos y otros aspectos para la continuidad de la restauración; provee además, enseñanzas que son utilizadas en esfuerzos futuros semejantes (Landin, 1995), al incrementar nuestra comprensión sobre la función y los umbrales de respuesta de los ecosistemas y proveer conocimientos sobre cuáles prácticas son efectivas.



Figura 4.1. Recuperación y regulación de la vegetación litoral de *Typha latifolia* (enea), una especie que de no ser manejada puede llegar a ser agresiva e impedir otros tipos de vegetación, en el humedal Santa María del Lago. Thomas McNish.

Un programa de evaluación y seguimiento desde un contexto ecológico se hace típicamente para determinar el cambio o tendencia en uno o más recursos; como tal, determina la dinámica del recurso, no solamente su estado, y requiere repetidos muestreos de la(s) variable(s) de interés que permiten medir el cambio o la tendencia (Block *et al.*, 2001), condición ampliamente aplicable a nuestro interés de restauración ecológica. Sin embargo, se ha reconocido en un contexto internacional (Clewelly y Rieger, 1997) que el proceso de evaluar y seguir las actividades de restauración no ha sido acentuado en el pasado y con una tendencia a repetir tratamientos sin cuestionarse su eficacia o aplicabilidad en diferentes zonas biogeoclimáticas. La realidad del Distrito Capital no ha sido ajena a esta afirmación, razón para hacer un mayor énfasis en la planeación, ejecución e interpretación del programa.

Thom y Wellman (1996) consideran que en la etapa de planeación de la restauración, al momento de ser desarrolladas las metas y los estándares de cumplimiento del proyecto, se presenta la oportunidad de concebir el programa de evaluación y seguimiento. Esto implica una serie de pasos y de lazos de retroalimentación diseñados para contestar algunas preguntas básicas, tales como: ¿Por qué, qué, cuando, dónde, y cómo hacer una evaluación y seguimiento? Estos pasos incluyen (modificado de Block *et al.* 2001 en Prado-Castillo *et al.*, 2005): - Fijar las metas del proceso de evaluación y seguimiento; - Identificar los recursos para realizar la evaluación y seguimiento; - Establecer un punto de partida; - Desarrollar un diseño de muestreo; - Recolección de datos; - Análisis de los datos; y - Evaluación de los resultados (Figura 4.2).

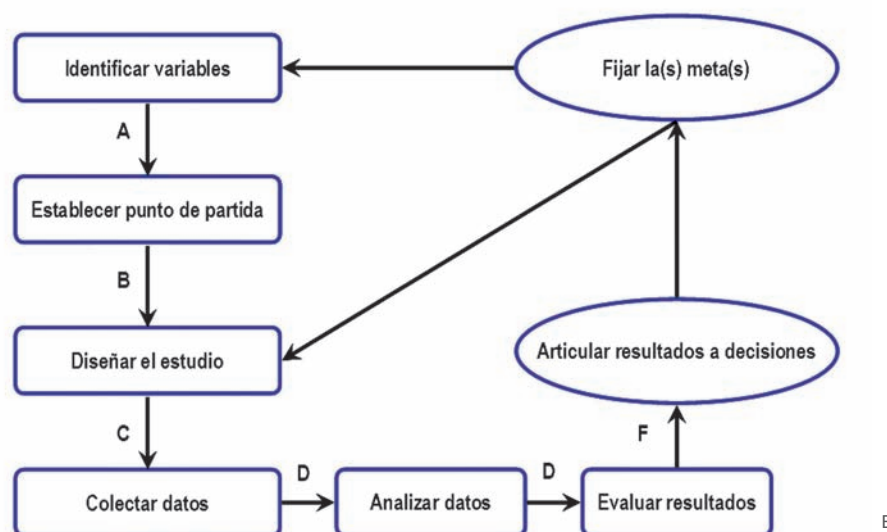


Figura 4.2. Diagrama de flujo de pasos que implica un programa de evaluación y seguimiento. Las letras de A a F muestran los puntos de retroalimentación mediante la evaluación de métodos y resultados parciales (manejo adaptable) (Modificado de Block *et al.*, 2001 en Prado-Castillo *et al.*, 2005).

Lo que se busca con un programa de este tipo es generalmente desarrollar una estimación científicamente defendible del estatus y tendencias de los recursos (Ej. vida silvestre), y determinar si las prácticas de manejo son sostenibles para dichos recursos, o si pueden haber cambios (Gibbs *et al.*, 1999), con la existencia de diversas estrategias para orientar el programa de evaluación y seguimiento.

En este contexto, las estrategias para orientar el programa de evaluación y seguimiento desde la perspectiva de la Sociedad de Ecología de la Restauración (SER, 2004) son: la **comparación directa**, el **análisis de atributos** y el **análisis de trayectoria**. En la **comparación directa**, los parámetros seleccionados se determinan o se miden en los sitios de referencia y de restauración. El acercamiento más satisfactorio se puede hacer al seleccionar una serie coherente de rasgos que describan colectivamente un ecosistema completamente, aún brevemente. En el **análisis de atributos** (lista en www.ser.org), los datos cuantitativos y semi-cuantitativos de inventarios de evaluación y seguimiento y otros programas son útiles en la definición del grado que se ha alcanzado en cada meta. Y finalmente, el **análisis de trayectoria** es una estrategia prometedora aún en desarrollo para interpretar grandes sistemas de datos comparativos, donde los datos recogidos periódicamente en el sitio de restauración se trazan para establecer tendencias que conduzcan hacia confirmar que la restauración sigue la trayectoria indicada a la condición de referencia prevista.

Es válido recordar que un programa de evaluación y seguimiento a la restauración no solo establece metas y objetivos desde un contexto ecológico, sino también de orden político, económico, social y cultural; su contenido es fundamental tanto para los tomadores de decisiones como para aquellos generadores de políticas. Es el balance entre el mantenimiento de un afianzamiento social por encima del marco de tiempo ecológicamente relevante con el número y cantidad de servicios del ecosistema que se desean retornar y que Cairns Jr. (2000) condiciona para que sea exitosa la meta de restauración.

A continuación se plantean una serie de pasos propuestos para desarrollar un programa de evaluación y seguimiento de proyectos de restauración ecológica que buscan sintetizar todos aquellos aspectos anteriormente expuestos, sin con ello pretender limitar el desarrollo de propuestas más avanzadas o concretas en este campo, así:

- DEFINIR METAS Y OBJETIVOS DEL PROGRAMA

Las metas son los estados y las condiciones ideales que un esfuerzo de restauración ecológica procura alcanzar (Clewel, A. *et al.*, 2005). Complementariamente, los objetivos son aquellas medidas concretas tomadas para lograr estas metas (SER, 2004). Este paso tiene validez en la medida que tanto metas como objetivos sean definidos previa la puesta en práctica del proyecto de restauración y está frecuentemente descrito como el componente más importante de un proyecto, debido a que regulan las expectativas, orientan los planes detallados por acciones, y determinan la clase y extensión de la evaluación y seguimiento post-proyecto (Ehrenfeld, 2000).

En un contexto general, los proyectos de restauración ecológica tienen metas en común que consisten en la recuperación de la integridad del ecosistema, la salud y el potencial para su sostenibilidad a largo plazo (Clewel *et al.*, 2005); sin embargo, dichas metas expresadas de esta forma pueden llevar al fracaso del proyecto al ser imprecisas o al no existir metas específicas (Cairns Jr., 2005). Una meta entonces ayuda a describir o definir la condición futura deseada en el sitio a restaurar, para lo cual será importante tener en cuenta, la escala de la restauración (proceso del ecosistema, hábitat, y/o especies individuales), los procesos de sucesión ecológica, y los conceptos de régimen de disturbio natural y rango natural de variabilidad.

El enfoque de las metas de restauración para humedales puede incluir temas tales como la estabilización de bancos, el manejo de sedimentos, mejoramiento de la calidad y cantidad de agua, el control de flujos, el incremento de los hábitats acuáticos y terrestres, etc., que implican dentro de los objetivos un restablecimiento o modificación de características físicas, químicas o biológicas del ecosistema, las interacciones entre éstas o ambas.

Como ejemplos de metas que pueden ser consideradas imprecisas están: a) *“se restaurará la composición genética del sistema a las condiciones predisturbio”* que aunque teóricamente es realizable, sería muy complejo de evaluar; b) *“restaurar la biodiversidad natural de un sitio”* que puede ser interpretada de diversas formas por varias personas; o c) *“retornar tierras drenadas para cultivo a sus condiciones históricas de humedal”*, requieren de tal grado de esfuerzo frente a restablecer por ejemplo la hidrología y topografía originales, que puede sobrepasar cualquier estimación en recursos (humanos, económicos o logísticos) y tiempo requerido para evaluar su impacto y éxito.

Debido a que la restauración ecológica o cualquier actividad relacionada (rehabilitación o recuperación) requieren de una gran cuota de paciencia para ver los resultados en el tiempo, es más práctico generar metas a corto plazo que se logren y midan con relativa facilidad para avanzar gradualmente en el proceso de restauración. Metas más “modestas” que apuntan por ejemplo a controlar el establecimiento de una especie invasora sobre las márgenes hídricas del humedal, incrementar los hábitats para la avifauna mediante una mayor estratificación vertical y horizontal de la vegetación terrestre, mejorar la calidad del agua y de retención de nitrógeno, restablecer unas condiciones de suelo saturado de forma que se logre establecer una vegetación acuática, etc., pueden ser medidas y verificadas con mayor facilidad.

En términos del planeamiento del programa de evaluación y seguimiento, y de acuerdo con Clewel *et al.* (2000), los objetivos son las actividades específicas que se emprenderán para la satisfacción de las metas del proyecto, y deberán ser explícitos, posibles de ser medidos y tener un tiempo definido. Para que dichos objetivos sean realistas y puedan ser medidos, deben incluir los siguientes componentes: a) el que será evaluado; b) el área geográfica donde será evaluado; c) la medida específica del indicador que será medido; d) la respuesta esperada del indicador para manejo (incrementar, decrecer o permanecer estable); e) la magnitud del cambio esperado; y f) el tiempo definido durante el cual se espera se manifieste la respuesta al manejo.

En un proyecto de restauración ecológica se pueden establecer diferentes tipos de objetivos: a) objetivos de manejo; b) objetivos de muestreo; y c) objetivos de “supervisión”. El primero, según Elzinga *et al.*, (1998) se puede subdividir en objetivos blancos (Ej. aumentar el tamaño de la población de la especie A en 5.000 individuos; mantener el sitio C libre de las especies invasoras X y Y) y los de cambio o de tendencia (Ej. disminuir la frecuencia de la especie invasora X en un 30% en el sitio C).

Para el caso de los objetivos de muestreo, estos se escriben generalmente como objetivos que acompañan a los de manejo o “supervisión”, especifican información tal como niveles blanco de precisión, los errores tipo I y II aceptables y la magnitud de cambio que se espera detectar. Como un ejemplo, se desea tener un 90% de seguridad en detectar un cambio del 40% en la densidad de una especie de ave y estar dispuestos a aceptar una ocasión del 10%, de decir que hubo un cambio si realmente no lo hubo.

Los objetivos de “supervisión” explican “qué hará el protocolo” y le pone a menudo límites de lo que será incluido en la “supervisión” al especificar áreas, especies, o medidas particulares del estudio; por ejemplo, el determinar la extensión de área, distribución y abundancia de las especies de peces introducidos o exóticos seleccionados en un área definida en intervalos de dos años.

DESARROLLAR UN MODELO CONCEPTUAL DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DE LA ESCALA ESPACIAL DEFINIDA POR EL PROYECTO

¿Qué entendemos por modelo?. De acuerdo con Jeffers (1991) es una expresión formal de las relaciones entre las entidades definidas en términos matemáticos o físicos, donde el término “formal” indica que la expresión final debe poder hacer predicciones que se puedan experimentar.

En un modelo conceptual para humedales es fundamental identificar los principales factores que controlan el desarrollo y el mantenimiento de su estructura, las características importantes del mismo y las funciones por las cuales se da inicio al proceso de restauración ecológica, lo que hace más fácil definir los parámetros del programa. En resumen, los modelos son una herramienta útil que permite identificar conexiones directas e indirectas entre los componentes físicos, químicos y biológicos del ecosistema, y componentes principales sobre los cuales se enfocan los esfuerzos de restauración y evaluación y seguimiento, que para su planteamiento requieren de un ejercicio muy juicioso de lectura del sistema apoyado en información primaria y secundaria, y que puede expresarse de diversas formas como narraciones, tablas, matrices, diagramas, entre otros (Figura 4.3).

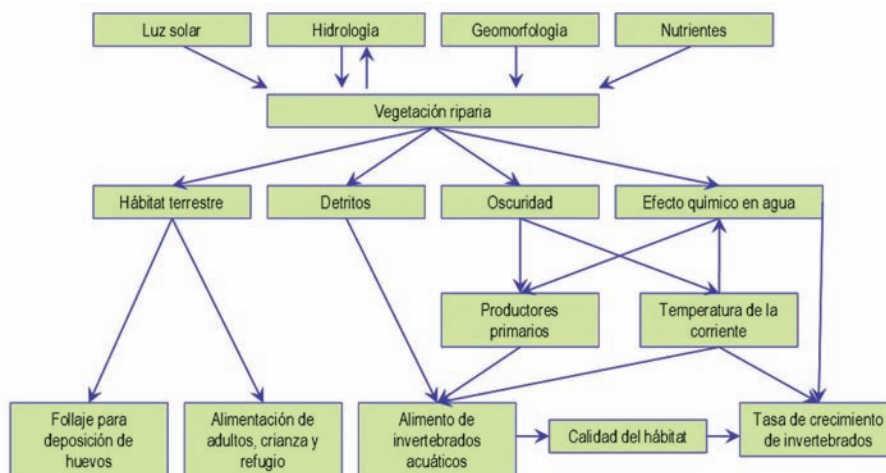


Figura 4.3. Ejemplo de modelo conceptual en un proyecto de restauración de zonas riparias (Modificado de Mitsch y Gosselink, 1993 en Thom y Wellman, 1996).

Para hacer un modelo conceptual se pueden seguir los pasos que a continuación son expuestos a partir de la integración de los principios establecidos por Gross (2003), Thom y Wellman (1996) y Jeffers (1991), así:

- Preliminarmente es importante **lograr dos tipos de información**: a) ejemplos de modelos conceptuales para ayudar a formular su modelo; y b) conducir estudios de línea base para ayudar a su formulación.

- **Definición del problema.** El modelo se desarrolla fundamentalmente para resolver problemas definidos antes de haber considerado el tipo de modelo a utilizar como base de la investigación o proyecto. Debido a que no siempre se atina en el primer intento a definir adecuadamente el problema, los límites iniciales establecidos para el mismo pueden ser modificados. De allí la relevancia del manejo adaptable desde el inicio del proceso.

- **Indicar claramente la(s) meta(s) del modelo conceptual.** Las metas fundamentales para el modelo conceptual incluirán probablemente: a) sintetizar la comprensión de la dinámica del ecosistema; b) proporcionar un marco conceptual firme para la selección de indicadores; c) identificar e ilustrar las relaciones entre los indicadores y los procesos claves del sistema y las variables; d) proporcionar medios claros de ilustrar subsistemas importantes y componentes del sistema e interacciones; e) facilitar la comunicación sobre dinámica del sistema y el programa de evaluación y seguimiento entre las personas de interés.

- **Identificar los límites de sistemas y subsistemas de interés.** Los límites del modelo se definen en función de aspectos espaciales, temporales, y disciplinarios. ¿Cuál es el espacio físico que se deben representar para incluir todos los factores importantes? y ¿cuál la escala de tiempo que debe ser considerada?

- **Identificar los componentes, los subsistemas y las interacciones dominantes del modelo.** Se busca inicialmente descomponer un sistema complejo en un sistema de piezas menos complejas, lo que se facilita si se mira desde la teoría de jerarquías que postula diferentes niveles verticales de organización (Ej. población, comunidad, ecosistema).

- **Identificar tensionantes naturales y antropogénicos.** La SER (2004) señala como tensionantes aquellos procesos dinámicos externos, en origen tales como fuegos, inundaciones, vientos destructivos, tormentas, heladas y sequías, que representan un riesgo o peligro para la biota; actividades mediadas por humanos tales como quemas, pastoreo, uso de pesticidas, cosecha de madera, acidificación de corrientes que se califican, igualmente, como tensionantes. El producto de este ejercicio es un sistema de listas y/o de matrices que tabulan los tensionantes con una narrativa que resume los resultados.

- **Describir las relaciones de tensionantes, factores ecológicos y respuestas.** Este paso busca integrar la comprensión de la dinámica y los tensionantes del sistema en “modelos de tensionantes” que comunican, claramente, acoplamientos entre los conductores, tensionantes, respuestas ecológicas y atributos del ecosistema directamente relevantes al programa de evaluación y seguimiento.

- **Articular preguntas claves o acercamientos alternativos.** Las preguntas y las hipótesis alternativas sobre la función del sistema pueden presentarse durante la construcción de los modelos, y dado que los modelos son una representación o una realidad incompleta, la necesidad del detalle o del enfoque cambiará con el tiempo. Ambas pueden estimular la discusión sobre opciones alternativas de manejo y proporcionar la justificación para la investigación futura. Si estas hipótesis alternativas tienen consecuencias importantes para dirigir las acciones de manejo, pueden identificar las variables dominantes que deben ser parte del programa.

- **Identificar y priorizar los indicadores.** Este paso no es realmente parte del proceso de desarrollar modelos conceptuales, sino que se enumera aquí puesto que es clave para el desarrollo del programa, y dará lugar probablemente a la revisión del modelo conceptual. Después de que se selecciona una lista de indicadores, se necesitará revisar el modelo conceptual y asegurarse de qué tratan adecuadamente todos los indicadores.

Un indicador es una variable o un valor derivado de un conjunto de variables que proveen información sobre un fenómeno que no se mide directamente, y cuya significación va más allá de las propiedades directamente asociadas al valor de la variable.

Para facilitar la selección de indicadores, pueden responderse las siguientes preguntas: a) ¿es relevante para el sitio y el tratamiento?; b) ¿es sensible al cambio de modo que lo pueda detectar dentro del tiempo ajustado en el programa?; c) ¿es mensurable con los métodos disponibles que se pueden utilizar?; d) ¿está sujeto a sesgos individuales u organizacionales?; y e) ¿es capaz de ser medido por los métodos profesionalmente aceptados y comprensibles?

Palmer *et al.*, (2005) aducen que los indicadores varían de acuerdo con la naturaleza de la meta de restauración, y que estos pueden ser seleccionados a partir de dos perspectivas: una intentar moverse lejos de un estado de degradación (Ej. demostrar una mejora en la calidad del agua relativa a una condición previa a la restauración), y otra es buscar acercarse a una cierta condición deseada (Ej. demostrar que la calidad del agua está más cerca a los valores definidos para un sitio de referencia). Plantean, así mismo, entre los criterios establecidos para definir estándares de éxito ecológico que los indicadores deban ser medidos fácilmente, ser sensibles a las tensiones

en el sistema, demostrar una respuesta fiable a la tensión (es decir, a las intervenciones de restauración) y que idealmente se integren.

Para seleccionar una serie de indicadores representativos de las características dominantes del sistema, es importante tener en cuenta como acercamiento conceptual la teoría de la jerarquía ecológica y de los atributos primarios de la biodiversidad, que incluye elementos funcionales, de composición y estructurales, que al estar combinados definen el sistema ecológico (Tabla 4.1). Dale y Beyeler (2001) precisan que todo sistema ecológico tiene elementos de composición y estructura que surgen a través de procesos. Las condiciones características dependerán de las funciones ecológicas dominantes que las sustentan, y que a la vez producen elementos de composición y estructura adicionales. Si la articulación entre procesos, composición y elementos estructurales se rompe la restauración puede ser difícil y compleja.

Tabla 4.1. La jerarquía ecológica (de especie a paisaje) y algunas características claves de la composición, estructura y función en cada una de ellas (derivado de Noss, 1990 y Dale y Beyeler, 2001).

Jerarquía Ecológica	Atributos primarios de la biodiversidad		
	Composición	Función	Estructura
Población / Especie	Presencia; abundancia frecuencia; importancia cobertura; biomasa; densidad.	Demografía; cambio poblacional; fisiología; tasa de crecimiento; historia de vida; fenología.	Heterogeneidad espacial; tamaño de parche; forma y distribución; fragmentación; conectividad.
Comunidad / Ecosistema	Abundancia; frecuencia; riqueza y diversidad de especies y gremios; distribución de formas de vida.	Biomasa; productividad; descomposición; parasitismo; predación; colonización; ciclado de nutrientes; sucesión; disturbio a pequeña escala.	Condiciones de sustrato y suelo; biomasa viva y muerta; claridad del dosel; presencia y distribución de agua y recurso.
Paisaje / Región	Identidad; distribución; riqueza de tipos de parches.	Persistencia de parches; tasa de ciclado de nutrientes y flujo de energía; erosión; procesos geomorfológicos e hidrológicos; disturbio.	Dispersión; rango; estructura de población; variabilidad morfológica.

- **La revisión, modificación y refinación del modelo.** Por ser el modelo una abstracción incompleta de la realidad — como se indicaba anteriormente — la mayoría necesitan ser revisados para ser adecuados a nuevas observaciones o para resolver metas que cambian. La revisión periódica planeada es la forma más clara de asegurar que los modelos conceptuales reflejan el conocimiento actual.

ELEGIR ESTÁNDARES DE CUMPLIMIENTO

De acuerdo con Clewell *et al.*, (2005) un estándar de cumplimiento también llamado criterio de diseño o criterio de éxito, es un estado específico de recuperación del ecosistema, que indica o demuestra que un objetivo ha sido alcanzado. Los criterios se desarrollan, generalmente, a través de un proceso iterativo que implica listar medidas de cumplimiento en relación con las metas y el refinamiento de estas para llegar a un sistema de criterios más eficiente y relevante (Fisrwg, 1998), que forma la arquitectura conceptual de los sistemas bajo investigación.

Para aclarar un poco cómo se definen estándares de cumplimiento, se desarrolla un ejemplo: “Si el objetivo es establecer una cobertura de especies arbustivas terrestres como mecanismo de facilitación para el arribo de especies nativas, a manera de núcleos de recolonización, bajo una composición y abundancia específica y una de las actividades para cumplir este objetivo es plantar individuos a una densidad y mezcla de especies definida, entonces, un posible estándar de cumplimiento será el establecimiento de una cobertura de matorral que contenga una serie de especies en una densidad predefinida (o cercana dentro de un rango propuesto) en un área de plantación y en un tiempo preestablecido”.

Un ejemplo más extensamente desarrollado es el que retomamos de Thom y Wellman (1996), que hacen

a partir de un modelo de un humedal ripario (Figura 4.3) donde se establece la meta de “restaurar un sistema ripario de humedal para mejorar la calidad del hábitat de animales acuáticos”, y se utiliza el modelo para generar los criterios de cumplimiento. Muchas corrientes y ríos sufren un incremento en la temperatura del agua por la pérdida del bosque ripario, lo cual genera una tensión sobre peces y demás organismos acuáticos por cambios en la temperatura y en la química del agua (Ej. oxígeno, afloramiento de algas nocivas).

La temperatura del agua es un parámetro físico clave de respuesta que indicará el éxito del proyecto de restauración para resolver su meta. Una meta a manera de hipótesis evaluable es entonces “el proyecto de restauración dará lugar a temperaturas del agua intermedias en el período de verano entre X °C y Y °C, rango normal para sistemas naturales semejantes en la región”.

Como indican Thom y Wellman (1996), la meta de temperatura del agua se debe desarrollar en la fase del planeamiento del proyecto. Durante esta fase, la viabilidad de probar la meta debe ser considerada; es un parámetro fácilmente evaluable y, por tanto, factible técnica y económicamente. De igual manera, se liga a la meta del proyecto y tiene una base establecida en la literatura científica. Además, es bien sabido que los bosques riparios proporcionan un efecto de cortina, que reduce la temperatura del agua; de esta forma, la medida de la temperatura es una medida indirecta de la calidad y del estado del desarrollo del bosque ripario restaurado.

Así mismo, para desarrollar estándares de cumplimiento a partir del anterior modelo conceptual, un ejemplo sería si la meta del proyecto es “mejorar la calidad del hábitat de la corriente de agua con la restauración de la vegetación riparia”, puesto que esta vegetación regula la temperatura de la corriente con el sombreado y proporciona detritus a la red alimenticia, entonces serían dos acciones obvias de cumplimiento: medir la temperatura de la corriente y la concentración de detritus. La última es algo difícil de cuantificar con exactitud, pero los invertebrados de la corriente (indicadores biológicos de calidad del hábitat) son más favorables para la cuantificación. Por lo tanto, los criterios incluirían un rango específico de temperaturas óptimas de la corriente y de las abundancias de invertebrados (Thom y Wellman, 1996).

Sin embargo, medir simplemente estos dos parámetros no proporcionará un cuadro comprensivo del sistema. Sería útil una evidencia suplementaria con respecto la composición de especies, densidad de la vegetación riparia y factores que afectan el desarrollo de la vegetación; información que puede no ser incluida en las declaraciones formales de cumplimiento. Los criterios del cumplimiento para este ejemplo y propuestos por Thom y Wellman (1996) podrían ser:

1. La temperatura media de la corriente en verano estará entre ± 1 °C respecto al sistema ripario de referencia de la región.
2. La densidad promedio y el número de especies de invertebrados a mitad del verano estarán en el rango de valores (Ej. 18-29) encontrados en el sistema ripario de referencia de la región.
3. La comunidad de invertebrados tendrá las mismas tres especies superiores de acuerdo con la densidad que estos presentan en el sistema ripario de referencia de la región.

ELEGIR LOS PARÁMETROS Y MÉTODOS DEL PROGRAMA

Los criterios de cumplimiento especifican la estructura, función, y el aspecto del sistema previstos, mientras que los parámetros de evaluación y seguimiento son los aspectos de la estructura y función del sistema que pueden ser medidos (Thom y Wellman 1996). El fin de esta parte del proceso es desarrollar un sistema con bases científicas, que permita facilitar la medición de los parámetros que proporcionen una retroalimentación directa y el cumplimiento de las metas. Para Fisrweg (1998), hay dos pasos críticos para elegir parámetros eficientes para el programa. El primero es identificar los parámetros a evaluar y el segundo es seleccionarlos de forma específica para el sistema.

Con respecto a la definición de métodos, diversos autores resaltan la importancia en relación con que cualquier método que se utilice para hacer un muestreo de un parámetro particular debe tener un protocolo documentado. En general, esto significa que los métodos sean confiables, desarrollados bajo diversas condiciones, y que cuenten con una planificación previa de recopilación de la información, de datos y de su evaluación. El primer paso es la identificación de los indicadores para cada necesidad de información, y luego la selección de los métodos que utilizará para el registro de los datos.

Generalmente, se cuenta con una amplia gama de métodos que pueden utilizarse para recopilar datos y evaluar un indicador definido, algunos de los cuales serán expuestos a continuación; aún así, se recomienda realizar una adecuada consulta a personas con experiencia, en manuales y materiales de campo sobre el tema, etc., que le permitan ampliar su visión al respecto.

Cada método debe establecer frecuencia y momento de registro de la información; en la restauración ecológica es común hacer un registro de datos para el mismo indicador en el tiempo, que permitan la comparación del estado inicial y final del proceso, y medir así el éxito o fracaso en el cumplimiento de las metas. Como se puede imaginar, determinar exactamente qué tan seguido se debe recopilar datos no es una tarea fácil, y para el caso de información de orden ecológico depende del nivel de conocimiento que se tenga del sistema ecológico a seguir y a evaluar. Aspectos como la historia de vida de las especies, ciclos naturales, conocimiento de la dinámica socioeconómica y cultural aledaña al área de estudio toman fuerza aquí.

Hasta aquí, los pasos generales propuestos se orientan hacia la definición de un programa para registrar información pertinente al cumplimiento de objetivos y metas de restauración. Sin embargo, es igualmente relevante mantener el seguimiento del progreso en el logro de las actividades del proyecto, llamado evaluación del proceso o evaluación y seguimiento de establecimiento, acorde con Morrison y Marcot (1995). Se deben seguir las actividades para asegurarse que se llevan a cabo y cumplen con la totalidad de las consideraciones del diseño preestablecido; esto implica, básicamente, realizar una lista donde se registren las actividades propuestas frente a las desarrolladas.

Enseguida se desarrollará un ejemplo con todos los pasos vistos hasta el momento y que se encuentra completamente desarrollado en Prado-Castillo *et al.*, (2005). La meta será recuperar en el corto plazo (tres años) algunos atributos del hábitat de la tingua bogotana (*Rallus semiplumbeus*), especie importante para la conservación por su rango restringido y amenazada a escala global. El énfasis de manejo será: a) la eliminación de descarga de aguas contaminantes que llegan al humedal; b) la disminución de al menos un 50% de la cobertura vegetal de buchón (*Eichornia crassipes*), y el mantenimiento de dicha cobertura por debajo del porcentaje propuesto de remoción; y c) el incremento de la cobertura de especies leñosas nativas propias de las zonas de interfase y áreas no inundables en al menos un 30% al término del proyecto. Paso seguido generar un modelo conceptual básico que incorpore tensionantes y componentes básicos del sistema (Figura 4.4).

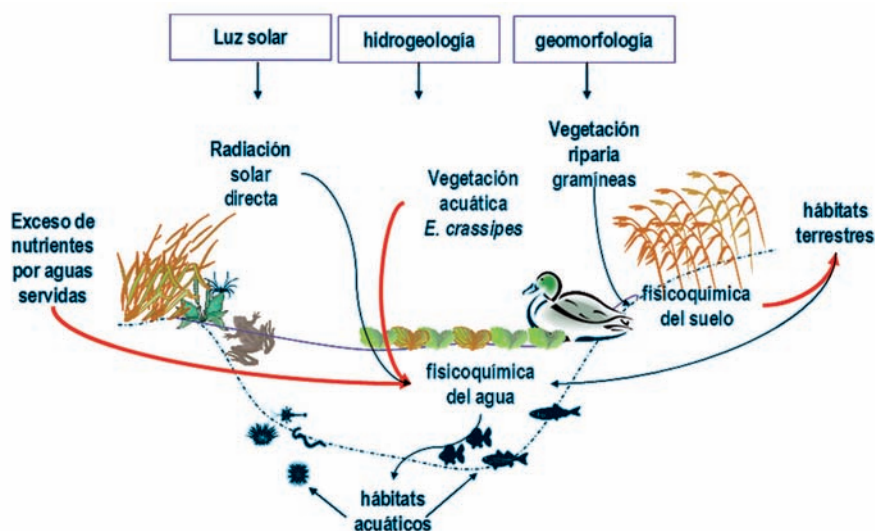


Figura 4.4. Modelo conceptual básico del sistema de humedal a intervenir que incluye la zona de interfase. Las líneas en rojo evidencian los tres caminos de intervención a realizar. Prado-Castillo et al., 2005.

En el caso de los parámetros de evaluación y seguimiento, los aspectos de la estructura, composición y función del sistema que pueden ser medidos son: a) la eliminación de la carga de macronutrientes que llegan a las aguas que alimentan el humedal. Se pueden medir varios aspectos: directamente el nivel de contaminación del agua por características fisicoquímicas (demanda bioquímica de oxígeno, pH, condiciones de anoxia, turbulencia del agua, etc.) o biológicas (Ej. presencia de bacterias del tipo coliforme de origen fecal); b) la disminución en al menos un 50% de la cobertura vegetal de la especie *Eichornia crassipes* y el mantenimiento de dicha cobertura por debajo del porcentaje propuesto de remoción. Entre los parámetros están la abundancia de la especie sobre el espejo de agua, o el área del espejo recuperado; y c) el incremento de la cobertura de especies leñosas nativas propias de las zonas de interfase y áreas no inundables en al menos un 30% al término del proyecto. Se especifica claramente la cobertura, pero se pueden incluir también parámetros como el nivel de establecimiento de individuos plantados, estado fitosanitario, su efecto sobre la sucesión ecológica, entre otros.

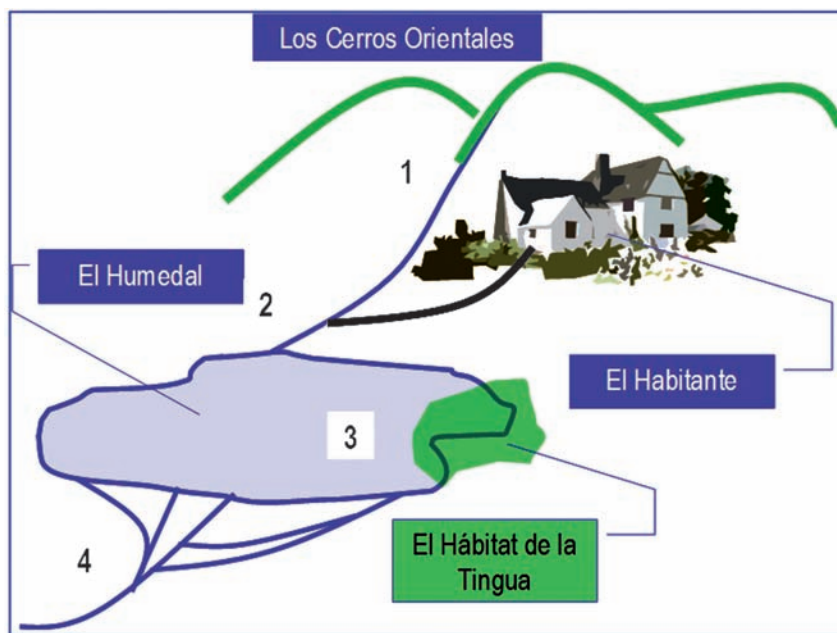
Los métodos de muestreo, manejo y procesamiento para el primer énfasis de manejo, pueden tener en cuenta la distancia del punto de descarga a las zonas de estudio, flujo de aguas, el tiempo de ejecución de infraestructura de desvío de aguas servidas, su eficiencia, etc.

¿Qué buscamos con la medición de la eliminación de las aguas servidas?: a) hacer un seguimiento al recurso, lo cual permite realizar un diagnóstico sobre el estado del mismo y evaluar tendencias temporales y/o espaciales de la calidad del recurso a partir de series históricas; y b) hacer un modelamiento del cuerpo de agua, es decir, conocer las características del mismo, la predicción de la variación de estas características y la verificación de ciertos acontecimientos. El objetivo de modelamiento va estrechamente ligado con el objetivo de seguimiento del recurso, acorde con lo expresado por Ideam (en línea).

En el desarrollo del programa es fundamental establecer el o los sitios exactos de muestreo lo suficientemente adecuados para permitir mantener la historia de registro. La selección de este deberá estar de acuerdo con el objetivo que se persigue a través del programa (Figura 4.5).

En la Figura 4.5, el punto 1 es útil para identificar las condiciones de línea base en el cuerpo de agua; los puntos 2, 3 y 4 son válidos para evaluar la efectividad de la gestión en el manejo de la calidad del agua (eliminación de descargas contaminantes); el punto 3 nos brinda las características actuales en el hábitat evaluado y su cambio deberá redundar en el mejoramiento de las condiciones del mismo.

Figura 4.5. Posible ubicación de sitios de muestreo para la evaluación de la calidad de agua. Hay que recordar la importancia de la línea base y el mantenimiento en el registro de información en este punto espacial durante el transcurso del proyecto. Se muestran cuatro puntos posibles de muestreo: 1) el curso alto del río que alimenta el humedal; 2) el punto donde se realiza la descarga doméstica; 3) el humedal; y 4) el flujo a vertiente principal (Modificado de Prado-Castillo *et al.*, 2005).



En el caso del estudio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba que se usa para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas en general residuales. Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Para consultar especificaciones técnicas de muestreo puede consultarse a Ideam (en línea).

Es necesario recordar que en casos como este, se cuenta con valores de referencia para definir el estado de la calidad del agua a partir de los decretos que reglamentan, entre otros, los criterios de calidad para destinación del recurso y las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos, en lo que tiene que ver con las actividades de muestreo, análisis de muestras y programas de evaluación y seguimiento de fuentes hídricas.

ESTIMAR LOS COSTOS DEL PROGRAMA

El paso siguiente es la estimación de costos del programa. Lo primero es aclarar que un programa de evaluación y seguimiento puede ser tan complejo como los recursos (económicos, institucionales, de personal, etc.) que existan para su desarrollo y la influencia de una serie de factores como la complejidad, duración, obligaciones contractuales de cumplimiento y los imprevistos. Se presentan a continuación algunos de los aspectos a tener en cuenta en un análisis de costos para un programa de este tipo.

El primer costo que se asume es el planeamiento del programa que incluye aspectos como los profesionales, asesores, suministros e instalaciones. El segundo será el aseguramiento de la calidad, consistente en incorporar la revisión independiente y permanente del programa para asegurarse que el mismo se resuelve a través de los objetivos y metas trazados, y los datos a recoger; luego el manejo de los datos, que incluye el personal, equipos e instalaciones. Los costos de muestreo en campo asumen personal, viáticos, equipos y materiales y complementariamente los análisis de laboratorio. Por otro lado, para el análisis e interpretación de datos se requiere personal, software especializado, etc. Finalmente, está la preparación de reportes con la contratación profesional y suministros necesarios para su desarrollo (fotocopias, envíos, talleres y viajes entre otros).

CATEGORIZAR LOS TIPOS DE DATOS A REGISTRAR

Kondolf (1995) establece que la colección de datos (cualitativos y cuantitativos) es crucial, que debe ser realizada de forma cuidadosa y apropiada, de forma tal que permita proporcionar un fundamento firme para la subsiguiente colección de datos y evaluación y seguimiento. Existen varios tipos de datos a recopilar como parte del programa que son útiles para una adecuada ejecución, y que de acuerdo con Thom y Wellman (1996) pueden estar acordes con las diversas fases de un proyecto. Así, durante la planeación del mismo se registrarán los datos de la línea base; luego de su establecimiento, se evaluarán y seguirán las actividades propias del proyecto, inmediatamente después, se hace la recolección de información de forma estructurada, y al finalizar el proceso, todo aquello que pueda conducir a otros estudios necesarios para complementar la información.

Los responsables de la restauración también deben contar con el levantamiento de información, que aún al no estar directamente asociada con el programa puede ser útil y que a su vez puede ser obtenida a través de diferentes fuentes como: personal de entidades del gobierno, organizaciones no gubernamentales, universidades, y la misma comunidad local.

DETERMINAR EL NIVEL DE ESFUERZO Y DURACIÓN DEL PROGRAMA

¿Cuánta evaluación y seguimiento se requieren?. La respuesta a esta pregunta depende de las metas y estándares de cumplimiento del proyecto, tanto como del tipo de sistema ecológico a restaurar. Un programa de esta naturaleza no necesita ser complejo y costoso para ser efectivo (Fiswrg, 1998), exige más bien creatividad por parte del proponente. Sin embargo, el tamaño o escala de la restauración pueden afectar la complejidad del mismo al incrementar la heterogeneidad y exigir así un muestreo cada vez más completo para lograr su efectividad.

Estos dos aspectos –esfuerzo y duración– en un proyecto de restauración ecológica en el marco de una investigación científica se incorporan en el diseño experimental y de muestreo, que a la vez están supeditados a la(s) meta(s) de restauración, las características particulares del proyecto, el sistema ecológico a restaurar y los recursos disponibles. Las preguntas claves a responder serán: ¿en dónde se colocarán las unidades de muestreo (transectos, trampas y registros visuales entre otros)?; ¿cuántas réplicas se necesitan?; ¿cuáles son los sitios de control o de testigo? y ¿qué tan a menudo deben de ser evaluados?.

El diseño experimental es la estructura lógica del ejercicio de evaluación y seguimiento dentro de una propuesta piloto de investigación en restauración; los objetivos deben especificar aspectos como: naturaleza de las unidades experimentales, número y clases de tratamientos (incluye los controles), propiedades y respuestas que se medirán, asignación de tratamientos a las unidades experimentales, número de unidades experimentales necesarias, y distribución espacial (Pielou, 1977; Zar, 1984; Hurlbert, 1984; Magurran, 1988; Caughley y Sinclair, 1994; Heath, 1995; Krebs, 1999). Aún así, el tipo de diseño y análisis también pueden sesgar los resultados (Galindo-Leal, 1992).

Respecto a la duración del programa, es una decisión polémica que de acuerdo con Thom y Wellman (1996) puede extenderse lo suficiente como para proporcionar una seguridad razonable de que el sistema ha satisfecho los criterios de cumplimiento o si resolverá o no los criterios. Un sistema restaurado debe autosostenerse después de cierto período de tiempo, pero las fluctuaciones, en algunos parámetros del sistema, se pueden presentar, incluso en los sistemas maduros más estables. Esta es una razón para que el programa se extienda hasta cierto punto, posterior al período de cambio más rápido y dentro del período de estabilización del sistema.

El desarrollo de diseños experimentales es una de las formas de dar validez definitiva al proceso de restauración ecológica, por cuanto está dirigido a responder a las causas de los eventos y a proporcionar el mayor sentido de entendimiento sobre los fenómenos a que puede hacer referencia el proceso de restauración. En el caso de estudiar la biodiversidad, Allison (1999) recuerda que, debido a que la biodiversidad está rodeada de un gran número de factores, y que un diseño solo puede controlar a algunos, ningún diseño simple puede discriminar otros potenciales componentes de ella. Se reflexiona sobre los verdaderos alcances y el manejo de la incertidumbre

de este tipo de estudios en restauración. Al margen de cualquier proceso de investigación, es relevante recordar que todo proceso donde se genera algún tipo de interpretación de fenómenos biológicos requiere tener en cuenta tres aspectos fundamentales (Heath, 1977; Parker, 1981):

- El carácter variable de sus manifestaciones. Uno de los rasgos más extendidos de los fenómenos biológicos consiste en que sus manifestaciones no se repiten exactamente, de modo que al estudiar las mediciones que se obtienen no son completamente iguales.
- Información incompleta. Normalmente es imposible observar todas las posibles manifestaciones del fenómeno estudiado.
- Causas múltiples. Además de las causas que se estudian, los fenómenos biológicos están afectados por otros muchos factores que es necesario considerar a la hora de interpretar los resultados obtenidos. Esta es la principal razón de la variabilidad que existe en el mundo natural.

Aunado a las limitaciones de diseño y recursos se suma nuestro desconocimiento de los procesos ecológicos en los humedales del trópico, en general y particularmente, en nuestros ecosistemas colombianos. Para Wyant *et al.*, (1995) y Parrish *et al.*, (2003) una meta fundamental de la restauración ecológica es rehabilitar ecosistemas a un nivel definido de integridad ecológica, y en ocasiones no se cuenta con el conocimiento suficiente respecto a las condiciones de referencia. El manejo adaptable puede proporcionar una manera de incorporar la información recopilada a las acciones de manejo en acciones futuras, pero aún así autores como Walters y Holling (1990) y Haney y Power (1996) consideran que puede llegar a ser un proceso muy largo.

Cipollini *et al.*, (2005) consideran que la restauración ecológica confía a menudo en la opinión de expertos para tomar decisiones de manejo de cara a la incertidumbre, y que la cuantificación de dicha opinión puede ser difícil, especialmente, al consultar a más de un “experto” sin que estos estén de acuerdo; proponen, entonces, una metodología de análisis de decisión que puede proporcionar un marco para descomponer, de forma sistemática, un problema complejo y suministrar una mayor objetividad para las decisiones que se asumen en la restauración.

La ecología de la restauración es una ciencia muy joven en el mundo, y en Colombia aún está en la etapa de reconocimiento de su relevancia para el manejo y la toma de decisiones de áreas afectadas por diversos disturbios, y todavía no se cuenta con un colectivo consolidado que aborde el tema en el ámbito nacional para avanzar rápidamente. Aún así, en el Distrito Capital existen diversas iniciativas donde se conjugan la autoridad ambiental Secretaría Distrital de Ambiente, las universidades y las comunidades organizadas, que se espera en el mediano plazo, respondan a las expectativas y necesidades del manejo de las áreas naturales y “semi-naturales” de la capital, en este caso, los humedales.

4.2. ASPECTOS RELEVANTES EN LIMNOLOGÍA Y VEGETACIÓN ACUÁTICA Y SEMIACUÁTICA

Sin duda la evaluación y seguimiento es la fase más importante de todo proyecto, como única herramienta eficaz para conocer los resultados, cambios y/o comportamientos de determinada actividad. Lo anterior cobra aún más relevancia cuando se trata de procesos, intervenciones y/o la ejecución de actividades en ecosistemas naturales y en los que no existen estudios detallados sobre la estructura y dinámica de las poblaciones que allí habitan, como es el caso de los humedales de Bogotá.

A lo anterior se suma el hecho de que la restauración ecológica, como ciencia, también es relativamente nueva, por lo que su planteamiento teórico es prácticamente el único soporte del que se parte para la generación de tratamientos de intervención o de recuperación ecológica. En el caso de los ecosistemas de humedal no se tienen datos o estudios detallados sobre el comportamiento de estos ecosistemas en el orden nacional.

El seguimiento a las acciones, la evaluación y la recuperación ecológica del ecosistema tiene cuatro fines principales:

- Evaluar los resultados e impactos de la restauración, rehabilitación o recuperación (¿qué se restaura y a quién afecta?).

- Detectar cambios en las dinámicas de alteración y regeneración.
- Hacer ajustes oportunos a las estrategias, tratamientos y diseños.
- Documentar el proceso para su divulgación y replicación.

Como los procesos de restauración deben ser elásticos y creativos, es importante llevar una bitácora en la cual se consignen los siguientes datos:

- Metas iniciales.
- Registros para los indicadores.
- Ajustes a tratamientos y diseños.
- Ajustes a metas.
- Observaciones de alteración y regeneración.

La planificación de un programa o proyecto de restauración debe incluir los recursos para la evaluación y el seguimiento, en términos de:

- Personal y capacitación.
- Materiales y equipos.
- Logística.
- Sistematización, análisis estadísticos y archivo.
- Tiempo.

La evaluación y seguimiento a procesos de restauración ecológica debe priorizar en los siguientes aspectos:

- Los aspectos hidrológicos (caudales aferentes, amplitud de crecientes, batimetría, variaciones hidráulicas naturales), dado que son el motor del ecosistema.
- La avifauna (diversidad, distribución, migración, movilidad, anidación, cortejo, forrajeo), dado que son la prioridad de la conservación dictada por la norma.
- Control de tensionantes típicos, en especial, aquellos que representan mayor amenaza: alteraciones hidráulicas, contaminación hídrica, sedimentación.
- La sucesión vegetal con acentuada atención al crecimiento de las macrófitas acuáticas y el cambio de las franjas de vegetación, pues son el rasgo más visible de los procesos de colmatación y terrificación.

4.2.1. MUESTREO LIMNOLÓGICO EN LOS HUMEDALES

Un sistema de evaluación y seguimiento limnológico en los humedales consiste en proporcionar el conjunto de datos necesarios para cumplir con dos objetivos: 1) actualizar la línea de base del estado biofísico de los humedales, y 2) suministrar los datos necesarios que sirven de referencia para el seguimiento antes, durante y después del proceso de restauración, para evaluar los efectos del proceso.

En primera instancia se debe plantear una red de muestreo con cubrimiento suficiente de la variación espacio temporal de las condiciones limnológicas de cada humedal.

- Entrada(s) del (los) afluente(s).
- Aguas de las zonas con inundación permanente cubiertas de vegetación emergente enraizada.
- Aguas en sectores con espejo de agua, profundidades mayores a 50 cm; se toman en perfil vertical.
- Agua del (los) efluente(s).
- Agua de los canales perimetrales interceptores.

La localización de los puntos de muestreo debe ser registrada en un sistema de coordenadas para su georreferenciación.

El esquema mínimo recomendado de frecuencias de los muestreos es:

- Limnología físico-química de plancton y perifiton: bimensual
- Macrófitas acuáticas y semiacuáticas: semestral.

Los muestreos de contingencia se deben prever para documentar eventos puntuales como sucesos extraordinarios o vertimientos accidentales. Igualmente, se puede necesitar una intensificación en las frecuencias

en los períodos transicionales; eventos biológicos tales como floraciones planctónicas ocurren en lapsos muy cortos (semanas) y para su registro o seguimiento se puede necesitar muestreos particulares con intervalos diarios.

4.2.2. LIMNOLOGÍA FISICOQUÍMICA Y SANITARIA

Variables para mediciones *in situ*

- Caudal afluente, efluente y nivel del humedal: en cada humedal debe instalarse una serie de miras limnimétricas para llevar el registro de las variaciones hidrológicas de acuerdo con los protocolos estandarizados del Ideam; en una situación ideal se debería contar con un pluviómetro para el registro de la precipitación; el planteamiento metodológico de miras múltiples de Konly *et al.*, (2004) puede aplicarse.

- Gases disueltos: oxígeno, dióxido de carbono.
- Variables sintéticas: temperatura del agua, pH, conductividad, alcalinidad, potencial de oxido reducción.
- DQO, DBO, sólidos suspendidos volátiles.
- Sólidos totales, suspendidos, disueltos.

Variables para medición en laboratorio

Las muestras de agua deben ser colectadas y preservadas siguiendo los protocolos indicados en la edición más reciente disponible del manual de APHA u otro debidamente estandarizado. Las mediciones deben realizarse en laboratorios debidamente intercalibrados.

- Cationes y aniones mayores, disueltos en el agua: Ca, Mg, cloruro, carbonato-bicarbonato.
- Macronutrientes: nitrógeno (nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno total Kjeldhal); fósforo (P reactivo soluble, P total). En el desarrollo de proyectos específicos de investigación se puede requerir la diferenciación del componente soluble y particulado de estos elementos, para lo cual se deben implementar los protocolos de separación por prefiltración de las muestras.
- Coliformes totales y fecales: indicadores directos de la contaminación de aguas servidas (excretas humanas o de animales domésticos).
- Grasas y aceites, fenoles: estos componentes son importantes para la detección y control de vertimientos provenientes de estaciones de expendio de combustibles, talleres mecánicos, lavaderos de vehículos y actividades conexas.
- El agua presente en los suelos saturados y sedimentos se debe tomar para su análisis.

4.2.3. LIMNOLOGÍA BIOLÓGICA

Se recomienda seguir los planteamientos metodológicos de Roldán (1992), Likens y Wetzel (2000):

Plancton: en los sitios que presenten una columna de agua con espejo permanente se toman muestras para la caracterización y cuantificación del plancton (fitoplancton y zooplancton). Estas formas de vida acuática presentan variaciones extremadamente amplias tanto en la composición como en la abundancia debido a sus muy cortos ciclos de vida. De manera que para el seguimiento detallado de su comportamiento se requiere de frecuencias de muestreo al menos semanales, lo cual solo se justificaría en situaciones bien establecidas en estudios de investigación, cuando estos detecten floraciones de especies con riesgo ambiental tales como microalgas tóxicas, etc.

Perifiton: en sitios con desarrollo de vegetación enraizada y flotante se toma el material adherido a las raíces para examinar la composición y abundancia de organismos perifíticos, si se cuenta con la información necesaria sobre las funciones de sensibilidad y tolerancia de las diferentes especies, se podrían usar como elementos de bioindicación de las variaciones de calidad del agua a lo largo del proceso de restauración; complementariamente se deben utilizar sustratos artificiales de vidrio o cerámica para coleccionar de manera controlada los colonizadores.

Macrofauna asociada a la vegetación acuática: caracterización cualitativa y semicuantitativa tratando de abarcar el gradiente más amplio posible de situaciones, lo que incluiría humedales de referencia fuera de la jurisdicción del Distrito para poder establecer las funciones de tolerancia necesarias para construir y utilizar un sistema de bioindicación de calidad de las aguas.

Macrófitas acuáticas: a partir de un conjunto de transectos perpendiculares a la orilla, se fijan puntos de muestreo en parcelas de 1 o 4 m² para vegetación flotante y emergente, respectivamente, donde se registra la presencia, altura y cobertura (porcentaje y área m²) de las especies vegetales de acuerdo a los diferentes biotipos.

Sedimentos: se colectan núcleos de sedimentos para mediciones básicas: textura, estructura, contenido de materia orgánica, muestras palinológicas; otras características como metales pesados pueden medirse en casos especiales.

Una metodología frecuentemente nombrada en los procedimientos de evaluación y seguimiento es la utilización de bioindicadores para establecer determinadas características del agua, y en el caso de un proceso de restauración, rehabilitación o recuperación ecológica de un humedal para documentar los cambios graduales hacia un mejoramiento.

4.3. INVERTEBRADOS ACUÁTICOS Y BIOINDICADORES

La bioindicación se puede definir como el uso de especies o conjuntos de especies (Figura 4.6) indicadoras para la vigilancia de la calidad ambiental. Esto implica asumir que la presencia de un organismo indicador es el resultado de las condiciones del medio y, por tanto, el reflejo de las mismas. Su presencia en un lugar y un momento determinado asegura que las condiciones mínimas de supervivencia han sido alcanzadas, mientras que la ausencia no necesariamente quiere decir que dichas condiciones mínimas no se cumplan.

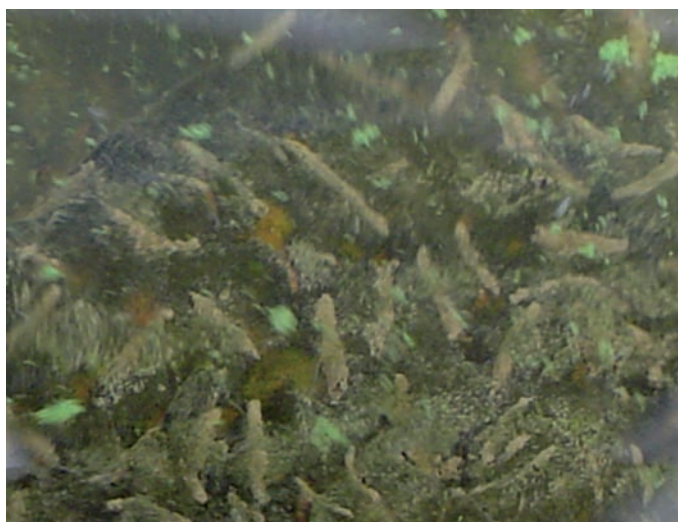


Figura 4.6. Comunidad de macroinvertebrados acuáticos, sobre un sustrato rocoso en la zona litoral del tercio alto del humedal Juan Amarillo. David Rivera.

Los patrones de distribución biogeográfica de los diferentes organismos, así como de los procesos de especiación impiden hacer una extrapolación válida de los sistemas de bioindicadores entre diferentes regiones del mundo, lo cual implica que este sistema debe desarrollarse in situ, basado en el conocimiento exhaustivo de la taxonomía y de la información físico-química de los cuerpos de agua, la cual en nuestro país está desarrollada para corrientes pero no para humedales.

La bioindicación debería preferirse en situaciones donde el factor o conjunto de factores ambientales que se quieren conocer y evaluar, no son directamente medibles u observables y/o las técnicas analíticas son menos fiables que el conocimiento específico de la taxonomía, de la distribución de la abundancia y de la tolerancia de un organismo potencialmente indicador.

Para aplicar los conceptos y procedimientos relativos a la bioindicación es necesario, no solo, conocer la composición de las comunidades del sitio o el ecosistema estudiado, sino también los límites y preferencias de los taxones con respecto a un factor o un conjunto de factores ambientales.

La distribución de la presencia y abundancia de un taxón podría relacionarse con un estado de la calidad de agua si se cumplen dos condiciones: 1) el sistema de bioindicación tiene como base todo el rango de variabilidad del factor usado para determinar la calidad del agua; 2) se conocen de manera específica los límites de tolerancia de los organismos frente a la variabilidad del factor ambiental. Por otro lado, los organismos definidos como bioindicadores mejoran su condición en cuanto mayor concordancia exista entre la distribución de abundancias del indicador y la variabilidad del factor, en un conjunto de escenarios con diferentes condiciones espacio-temporales.

La bioindicación (Figura 4.7) de la calidad de las aguas es una práctica muy extendida, que suele considerarse ventajosa por la capacidad de los organismos de responder con un mayor grado de sensibilidad, a la variabilidad del medio, que incluye no solo las condiciones físico-químicas, sino el resultado de eventos puntuales de disturbio físico, de los diferentes estados de la dinámica poblacional, de interacciones a nivel de las comunidades y de las cadenas tróficas. Para la implementación de un sistema de bioindicación estos factores deben tenerse en cuenta como modificadores de la relación básica de calidad físico-química-organismos.



Figura 4.7. Flóculos de algas cianofíceas en época de su máxima proliferación. David Rivera.

La caracterización del agua está dada por la determinación cuantitativa de dos variables: físico-química y microbiológica. La calidad, por su parte, es el resultado de la evaluación de estos valores frente a criterios según el uso del agua para distintas finalidades. Las exigencias para cada criterio de uso pueden ser muy diferentes e incluso contrastantes entre sí, siendo el más restrictivo el uso de consumo directo humano, y probablemente el más permisivo las necesidades para el crecimiento y mantenimiento de la diversidad de micrófitos acuáticos y semiacuáticos, en un humedal que se usa para depurar biológicamente las aguas residuales a escala local.

Para el caso de los humedales se pueden considerar importantes las siguientes variables de caracterización físico-química y microbiológica que se pueden agrupar en tres categorías según los procesos físicos y biológicos que las determinan:

- Variables relacionadas con la mineralización natural de las aguas, influidas por el régimen climático y la naturaleza geológica de las cuencas (cationes y aniones mayores, conductividad, sólidos disueltos y alcalinidad), que en general, guardan proporcionalidades relativamente constantes, a menos que los vertimientos contaminantes aporten elementos alteradores (ácidos o bases fuertes, efluentes salobres, etc.).
- Variables relacionadas con la actividad metabólica de los organismos (gases disueltos como el oxígeno disuelto, el CO_2 , el SH_2 y macronutrientes: formas orgánicas e inorgánicas de nitrógeno y fósforo).

- Variables relacionadas con contaminantes, cuya fuente es siempre el resultado de actividades humanas que generan residuos vertidos a los cuerpos de agua, aguas servidas: DQO, COT, DBO, coliformes fecales, patógenos, tensoactivos.

- Vertimientos de origen industrial: cuya composición de contaminantes es muy variada y está determinada por el proceso industrial y la forma de disposición de los desechos; incluye metales pesados, sustancias orgánicas de síntesis, etc.

- Vertimientos de origen agrícola: con alta probabilidad de presencia de agroquímicos y pesticidas con diferentes grados de persistencia y toxicidad.

Las concentraciones, tasas de acumulación o dilución de los componentes físico-químicos del agua tienen una dinámica afectada directamente por el flujo, la turbulencia, el grado de penetración de la luz, la temperatura y el pH. Así mismo, la presencia y abundancia de los organismos estarán condicionadas por estos mismos factores, actuando en un espacio físico y en intervalos de tiempo determinados, que cada especie puede o no ocupar de acuerdo a adaptaciones y limitaciones de su biotipo e historia de vida.

Los organismos acuáticos se ven afectados de manera diferencial y con mayor o menor intensidad por cada una de las variables y por la interacción entre ellas. Así, por ejemplo, los recursos (insumos directos para el sostenimiento) para las macrófitas, el fitoplancton y las algas del perifiton, estarían representados primariamente en las variables de los grupos 1 y 2. Sin embargo, para organismos heterótrofos los recursos más importantes estarían representados en la oferta de alimento (organismos autótrofos, detritus orgánico, otros consumidores). Igualmente, los niveles de contaminantes presentes en un momento y sitio dado actuarán diferencialmente sobre cada tipo ecológico, pudiendo ser alguno muy tolerante (como es el caso de las macrófitas presentes en los humedales actuales), a la vez que otros pueden ser muy susceptibles.

ORGANISMOS BIOINDICADORES

Plancton: este conjunto de organismos es muy heterogéneo en composición taxonómica y en adaptaciones ecológicas, por lo que puede ofrecer posibilidades como bioindicador. Sin embargo, su aplicación en los humedales presenta limitaciones, cuando no hay una suficiente extensión de espejo de agua necesario para su desarrollo. Por otra parte, su modo de vida suspendida en el agua promueve cambios fuertes en composición y abundancia, por efecto del arrastre eólico y corrientes, provocando incluso la aparición de individuos de otras formas de vida como el bentos y perifiton.

Sus ciclos de vida muy cortos (menos de una semana), les permiten adaptarse fisiológica y genéticamente de manera rápida, generando líneas tolerantes y sensibles, cambiando los rangos de tolerancia a un factor ambiental de importancia en la calidad del agua. Si los anteriores factores suceden en tiempos no perceptibles por el investigador, se pueden producir falsas indicaciones.

Comunidades de macroinvertebrados: son animales entre 0.2 y 50 mm asociadas con el fondo (bentos) y con otros sustratos como la vegetación acuática (perifiton), han sido muy utilizados con fines de bioindicación, especialmente, en ambientes de aguas corrientes (Roldán 1999; Gutiérrez *et al.*, 2002; Riss *et al.*, 2002), donde los factores ambientales de selección son muy diferentes a los que prevalecen en los espacios estancados de los humedales. Por lo tanto, la implementación de un sistema de bioindicación basado en los macroinvertebrados de los humedales implica un replanteamiento de fondo.

Macrófitas: en general, presentan variadas estrategias de ajuste a las condiciones ambientales, que las hacen ver como muy tolerantes a las condiciones de mala calidad del agua: alta carga orgánica, pobre oxigenación, de manera que en su mayor parte no serían indicadoras muy sensibles. En forma específica ciertas formas de vida, como las errantes de raíces cortas pueden asociarse con altos niveles de nutrientes en las columnas de agua y las sumergidas enraizadas con aguas más transparentes; aunque estas condiciones ambientales son verificables sin la necesidad absoluta de bioindicación. En un plano general la reaparición de algunas de estas formas de vida puede asociarse con una mejora en el estado del humedal.

Dentro de la información disponible para los humedales se cuenta con el intento de aplicación de un sistema

de bioindicación de polución orgánica, con datos de macroinvertebrados en siete humedales del área urbana de Bogotá (Ecology y Environment. Inc. e Hidromecánicas Ltda., 1998). En términos generales, los valores promedios del índice de tolerancia para varios macroinvertebrados mostraron una disposición de tolerancias intermedias a elevadas, lo que significa una alta polución orgánica en todos los humedales incluidos en el estudio, lo cual concuerda con la situación global percibida para el conjunto de los 13 humedales.

Desafortunadamente no se incluyen datos de humedales de gran interés como La Conejera, Juan Amarillo, Jaboque, La Vaca y Santa María del Lago, que completarían el rango de polución orgánica necesario, para refinar el sistema de bioindicación, y convertirlo en una herramienta de mayor utilidad. Por otra parte, poseer información de las tolerancias a un nivel taxonómico más detallado que el de familia, generaría una mejor resolución.

En relación con los parámetros limnológicos es preciso que los ejecutores de proyectos en los humedales bogotanos estandaricen la metodologías y parámetros de medición, para lo cual la hoy Secretaría Distrital de Ambiente en convenio con el departamento de biología de la Universidad Nacional elaboró recientemente el protocolo de monitoreo de humedales, con el propósito de ofrecer los lineamientos técnicos que permitan unificar la toma de datos, el procesamiento de la información y su análisis, a fin de hacerlo comparativo y útil en la toma de decisiones de índole ambiental para estos ecosistemas urbanos.

4.4. FAUNA SILVESTRE

La evaluación y seguimiento consiste en el rastreo sistemático de la situación de una especie, grupo de especies o comunidad a lo largo del tiempo, para poder detectar y evaluar cambios (Ralph y Scott, 1981). El diseño de un programa de evaluación y seguimiento así como los datos a tomar dependen de los objetivos del proyecto de restauración, que en este caso es el restablecimiento o aumento de las poblaciones de fauna, especialmente, especies endémicas y amenazadas (Figura 4.8) en los humedales de Bogotá.



Figura 4.8. Gallareta moteada, *Gallinula melanops bogotensis*, subespecie endémica amenazada, se encuentra en los humedales de Tibanica, Jaboque bajo, Guaymaral y La Conejera. Thomas McNish.

El seguimiento se puede hacer en diferentes niveles, dependiendo del grupo o especie a estudiar (Ralph y Scott, 1981; Ralph *et al.*, 1996):

- **Nivel 1:** los datos más sencillos de obtener son cualitativos, básicamente del tipo inventario o presencia-ausencia del grupo o especie.
- **Nivel 2:** es la toma de datos cuantitativos, en la forma de conteos o censos o de los animales directamente o a partir de datos indirectos como medidas de actividad (número de huellas en una cama de huellas con cebo para

mamíferos, número de cantos o intensidad de los mismos para especies de ranas, aves etc., número de individuos capturados por unidad de esfuerzo, etc.).

- **Nivel 3:** un tercer nivel sería la toma de datos sobre la estructura de las poblaciones de algunas especies (distribución de edades, razón de sexos, etc.).

Por lo general, entre más detallado el tipo de dato deseado, más bajo el número de especies que se puede evaluar y seguir a este nivel (Morrison et al. 1998; Ralph y Scott, 1981). Es factible realizar inventarios en varios grupos con cierta facilidad; el único requisito es que las especies sean detectables en forma confiable por el método escogido (es decir, que al no detectar una especie en un muestreo se puede tener alta confianza de que realmente está ausente).

Para un censo, la especie tiene que ser no solamente detectable sino también contable; para poder usar métodos indirectos debe haber cierta seguridad de que un aumento en el indicador (número de cantos o huellas) corresponde a un aumento de la población y no simplemente a un incremento en la actividad de los individuos. Los estudios demográficos son los más exigentes porque requieren que uno pueda distinguir los sexos, edades, etc. de los individuos observados o atrapados (según la especie). Los datos de inventarios y censos pueden dar información sobre cómo una o varias poblaciones responden a un cambio (por ejemplo del hábitat) pero únicamente los datos demográficos anticipan un cambio en la población y permiten entender mejor las causas (Ralph y Scott, 1981). Por esto, un programa de evaluación y seguimiento para un grupo o comunidad diversa puede contemplar inventarios generales de uno o más grupos, conteos o censos de un número reducido de especies de más interés, y si fuera posible la toma de datos demográficos de una de las pocas especies de alta prioridad para el proyecto.

Finalmente, la escogencia de un grupo para evaluar y seguir debe tomar en cuenta dos parámetros más: las relaciones entre el grupo (o las especies particulares) y su hábitat y, que sean relativamente bien conocidas, de tal modo que los cambios en las poblaciones puedan relacionarse con cambios en el hábitat con cierta confianza; y que sea evaluable la misma población con el mínimo de disturbio. Un programa de evaluación y seguimiento que implique el sacrificio de individuos puede ser dañino, especialmente, para poblaciones pequeñas y amenazadas.

4.4.1. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE DIFERENTES GRUPOS DE FAUNA

Las aves representan un grupo apto para la evaluación y seguimiento porque cumplen todos los requisitos, casi todas las especies son detectables e identificables por medios visuales y/o auditivos, los cuales implican un disturbio mínimo en la mayoría de los casos; los requisitos de hábitats de la mayoría de las especies son conocidos; hay criterios claros para la escogencia de especies prioritarias. Desde hace 15 años, la Asociación Bogotana de Ornitología lleva a cabo conteos navideños de las aves de algunos humedales (en realidad, dado que no se controla por diferencias en detectabilidad de especies, pueden verse más como inventarios). Algunas especies en hábitats abiertos (Ej. ciertas tinguas, patos y garzas) son contables, de tal forma que los conteos se aproximan a verdaderos censos.

Para ciertas especies más difíciles para la observación, el uso de grabaciones de sus cantos puede provocar respuestas que permitan ubicar individuos o parejas en un mapa del humedal (Gibbs y Melón, 1993; Legare, 1996; Ralph *et al.*, 1996; Delany y Scott, 2002), el chirriador y la tingueta bogotana son aptos para esta técnica. Para unas pocas, es posible distinguir los sexos y/o edades en el campo (por lo menos, distinguir los adultos de los jóvenes) (Hilty y Brown, 1996; ABO, 2000), de tal forma que se les pueden tomar algunos datos demográficos; estas incluyen algunas especies de alta prioridad por ser amenazadas. Con la tingueta pico verde se distingue los adultos de los jóvenes, con las monjitas los sexos son fáciles de distinguir por el plumaje, y el chirriador por sus diferentes cantos (Caycedo, 2001; Fjeldsa y Krabbe, 1990; ABO, 2000). Si hay que escoger un grupo para la evaluación y seguimiento, las aves son el más indicado.

Una evaluación y seguimiento ideales consistiría en inventarios generales de la avifauna, conteos más precisos de algunas especies prioritarias con métodos específicos (como grabaciones y playback para la tingueta bogotana y el chirriador) y si fuera posible conteos cuantitativos de adultos, inmaduros y pichones o machos y hembras de algunas especies claves como la tingueta pico verde, el pato turrio o la monjita.

Especies de otros grupos de vertebrados pueden ser susceptibles a la evaluación y seguimiento por diferentes métodos. Por ejemplo, el canto nocturno de la rana sabanera podría ser un buen indicador de su presencia y posiblemente el volumen del canto, de su abundancia, si se pueden estandarizar las condiciones de observación (hora, condiciones del tiempo, etc.).

En algunos humedales como La Conejera, los curíes son fácilmente observables, aunque no necesariamente contables, pero donde han sido perseguidos se necesitaría recurrir a métodos indirectos para detectarlos o estimar su abundancia/actividad (camas de huellas, etc.). Existen trampas tipo nasa que, puesto en el barro del fondo, son efectivas para atrapar capitanes.

Para la gran mayoría de invertebrados, el trampeo y colecta es el único método factible de evaluar y seguir. Algunas trampas capturan diferentes grupos o etapas de vida, y hay que escoger los grupos más aptos: el grado de conocimiento taxonómico y de los requisitos ecológicos son factores limitantes en muchos casos. La inclusión de otros grupos en la evaluación y seguimiento dependerá de la disponibilidad de personal y equipos idóneos, y la posibilidad de obtener resultados confiables sin un esfuerzo de muestreo excesivo.

En lo referente al estudio de la artropofauna, grupo que comprende a los insectos, arácnidos, diplópodos (milpiés), quilópodos (ciempiés), crustáceos (cochinillas, cangrejos, camarones, langostas) y otros grupos menores no tan conocidos (Amat-García y Blanco-Vargas, 2003) es poco lo que hoy conocemos sobre la composición de las comunidades en los humedales bogotanos (Andrade y Amat, 2000), y mucho menos sobre su participación en los procesos ecológicos de estos ecosistemas.

Las características particulares de los insectos como, por ejemplo, el ser pequeños, de corta vida y muy susceptibles a la heterogeneidad espacial y temporal del ambiente, han permitido su uso como indicadores en el estudio de los ecosistemas, bien sea conservados o altamente deteriorados (Kennedy y Southwood 1984; Hendrix *et al.*, 1988; Rambo y Faeth 1999, Dourojeani 1990, Brown 1991 en Bustos y Ulloa-Chacón, 1996-1997). Pese a la existencia de diversos estudios asociados a proyectos de restauración (Jansen, 1997; Bisevac y Majer, 1999; Webb *et al.*, 2000), los papeles de la artropofauna son aún pobremente documentados, principalmente, desde una perspectiva de grupos funcionales tanto en los trópicos en general como en nuestro país en particular.

Se han inventado diversas técnicas de muestreo de los insectos en el campo. Éstas incluyen muestreos en hojarasca y suelo con múltiples tipos de extractores, trampas de caída, de intersección, la captura manual, observaciones y diversos cebos. Es posible que cualquier investigador encuentre una técnica de muestreo que le facilite la captura de sus grupos de interés, razón por la cual se deberán establecer varias técnicas complementarias que Kitching *et al.*, (2001) recomiendan al trabajar con diferentes grupos taxonómicos, caso nuestro en la restauración ecológica.

La selección de las técnicas de muestreo se hace posterior a definir los grupos de insectos a trabajar, que a su vez dependerá de la orientación de la investigación, es decir, de las condiciones iniciales en el área a evaluar, de la pregunta de investigación, de estudios previos que evidencien su utilidad en ese campo de estudio, en particular, del nivel de conocimiento que exista sobre dichos grupos de interés, de la duración y extensión del mismo, y de los recursos disponibles.

4.4.2. RECOMENDACIONES

Un parámetro de importancia es la frecuencia de la evaluación y seguimiento. Dada las variaciones estacionales en las lluvias, recomendamos que se realicen un mínimo de dos episodios de evaluación y seguimiento por año y posiblemente más. Para las aves, los factores a considerar son tanto las lluvias como los períodos de presencia de las especies migratorias, tanto boreales como australes. Las aves migratorias boreales llegan entre septiembre y noviembre; las especies que pasan el invierno nortño aquí están presentes entre noviembre y marzo y la migración primaveral ocurre entre abril y mayo.

Las aves migratorias australes son menos numerosas y conspicuas, pero por lo general su período de mayor abundancia en la sabana está entre julio y septiembre u octubre. Están establecidos el conteo navideño (período

de transición entre húmedo y seco, presencia de migratorios boreales) y el censo de aves de humedales en febrero (un período seco, también con presencia de migratorios boreales). Sería interesante programar conteos similares en junio o julio y septiembre u octubre para detectar migratorios australes y la llegada de las boreales, aprovechando diferentes condiciones pluviales. Para los censos detallados y la toma de datos sobre razones de sexos y edades de especies prioritarias, un muestreo en diciembre o febrero y otro en junio o julio podría ser lo ideal para poder detectar cambios en sus poblaciones.

Para otros grupos, la estacionalidad de las lluvias es especialmente importante para la evaluación y seguimiento, por ejemplo, de las ranas mediante la frecuencia o intensidad de sus cantos, ya que sus épocas reproductivas probablemente están ligadas a la pluviosidad. Aunque no hay datos específicos para los diferentes grupos de invertebrados, mamíferos, reptiles o peces, sería razonable suponer que las lluvias también los afectan. Por esto, dos episodios de evaluación y seguimiento por año, una en época seca y otro en época lluviosa, serían ideales para llevar un control adecuado sobre el estado de sus poblaciones.

Hay que enfatizar que lo más esencial de un programa de evaluación y seguimiento es estandarizar los métodos, de tal forma que cualquier muestreo —sea inventario, censo o conteo demográfico— sea lo más comparable posible con cualquier otro muestreo del mismo tipo (Ralph y Scott, 1981; Ralph *et al.*, 1996). Esto implica usar los mismos recorridos o puntos de conteo, la misma metodología bajo las mismas condiciones del tiempo y los mismos horarios, asegurar que los observadores estén capacitados en la identificación de las especies y la toma de los datos. La idea es que cualquier cambio observado se debe a cambios reales en las poblaciones y no a diferencias en las técnicas o condiciones del muestreo, en lo posible. Para asegurar esta uniformidad es importante que haya un grupo coordinador de los muestreos que se pueda encargar de la realización de los muestreos y el entrenamiento de los que toman los datos. En este punto, la ayuda de miembros de la comunidad debidamente entrenados puede ser muy importante para asegurar la continuidad de los muestreos.

En términos generales, se recomienda que la evaluación y seguimiento siga a lo largo de un mínimo de cinco años, pero bien puede ser más dependiendo de cómo se desarrolle el proceso de restauración. Dado el grado de vulnerabilidad de las poblaciones de varias especies de aves, en particular, y el pequeño tamaño de las poblaciones potenciales y actuales en muchos humedales, sería importante continuar con al menos uno o dos inventarios y censos anuales por cada uno, indefinidamente.

4.5. VEGETACIÓN TERRESTRE



Figura 4.9. Área de plantación de especies nativas y establecimiento de parcelas experimentales en la ronda reconformada del lago del tercio alto del humedal Juan Amarillo. Se observa el tamaño adecuado de las plantas, ahoyado con aporte de materia orgánica y tutorado de cada individuo. Archivo EAAB.

La formulación e implementación de un programa de evaluación y seguimiento a un proyecto de restauración o rehabilitación de coberturas de vegetación terrestre (Figura 4.9) debe perseguir cuatro objetivos principalmente:

- Determinar las principales características fisonómicas y florísticas de los tipos de vegetación terrestre que están presentes en las rondas y las Zonas de Manejo y Preservación Ambiental –ZMPA- de los humedales distritales.
- Documentar los cambios ocurridos en el ecosistema después de la implementación de actividades de recuperación ecológica en relación con la estructura y dinámica de la vegetación terrestre.
- Analizar parámetros variables de espacio y tiempo, que permitan verificar el cumplimiento de las metas del proyecto.
- Replantear las metas en caso de ser necesario.

4.5.1. CONTINUIDAD DE LOS MUESTREOS

La continuidad en los muestreos, muchas veces, responde a la limitación de recursos económicos y humanos que a las necesidades propias de los ecosistemas, lo cual hace indispensable que en la planeación de todo tipo de proyecto se cuantifique la etapa de evaluación y seguimiento, y de esta forma se disminuya el riesgo de abandono del proyecto una vez se finalicen las obras.

Los muestreos necesarios para la documentación de los cambios experimentados por los ecosistemas, a través del tiempo, requieren ser realizados durante largos períodos de tiempo. Sin embargo, como punto de partida para la vegetación terrestre presente en los humedales de Bogotá, la efectividad de los tratamientos de recuperación implementados, como en la escogencia de las especies, sus características físicas y estado fitosanitario, entre otros, se pueden estimar períodos no menores a cinco años. Durante este tiempo sería necesario efectuar muestreos por lo menos semestrales con el objetivo de referenciar los cambios físicos del ecosistema. Los eventos de carácter fenológico requieren de registros quincenales o mensuales.

4.5.2. SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Aspectos importantes que se deben tener en cuenta:

- Establecer formatos muy claros para que sean consignados los datos que se levanten durante las jornadas de trabajo.
- Estandarización de los formatos de almacenamiento de los datos para facilitar su posterior análisis y/o inclusión de futuros valores.
- Se recomienda la inclusión de los datos dentro de un sistema de información geográfica, propio para este tema, y que interactúe con otros grupos de datos referidos al mismo espacio.

4.5.3. PUBLICACIÓN Y SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS

Debido a la falta de publicación o por lo menos de socialización de los datos obtenidos a partir de los diferentes contratos o estudios de investigación, que se han llevado a cabo en los humedales distritales, se “pierden” valiosos esfuerzos que deben ser repetidos en busca de la información necesaria para la ejecución de diferentes obras para la recuperación del ecosistema.

Por lo anterior, se debe proponer la elaboración de un sistema de datos donde pueda estar contenida toda la información físico-biótica y socioeconómica disponible sobre el tema. Dicho sistema, debe ser alimentado periódicamente con los datos que se vayan obteniendo a partir de la ejecución de proyectos y con ello generar una verdadera herramienta de análisis en torno a las características propias de estos importantes ecosistemas capitalinos.

4.6. ROL DE LA COMUNIDAD EN EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO

En todo proyecto de rehabilitación o recuperación ecológica deben diseñarse estrategias orientadas a vincular a la comunidad (Figura 4.10) tanto educativa como de las juntas de acción comunal y demás interesados. Su vinculación debe contemplarse desde la misma formulación hasta el seguimiento y evaluación de largo plazo, dado que de su participación depende la sostenibilidad de los procesos en desarrollo, su socialización y validación.



Figura 4.10. Actividades educativas y de socialización en el humedal de Tibanica. Thomas McNish.

En ese orden de ideas, la hoy Secretaría Distrital de Ambiente ofrece a los lectores interesados en el tema, la posibilidad de consultar un reciente trabajo denominado: “Propuesta metodológica para la formulación de proyectos de restauración ecológica con participación de la comunidad”, el cual se encuentra disponible en el centro de documentación de la entidad.

El rol de la comunidad debe integrarse de forma transversal a todo el proceso de restauración o rehabilitación de un humedal buscando su compromiso, no solo hacia las obras propias del proyecto sino también hacia la conservación y mantenimiento del ecosistema en general.

En el proceso de rehabilitación o recuperación de humedales, es necesario hacer seguimiento a las iniciativas de gestión ciudadana, a las acciones proyectadas institucionalmente hacia la comunidad, así como al uso sostenible que de estos espacios adelante la población beneficiada dentro de las estrategias de recuperación previstas. La importancia de establecer estos indicadores es poder evaluar los grados de apropiación social, de corresponsabilidad estado-ciudadanía, de co-gestión así como la eficacia y legitimidad alcanzada por las acciones comunitarias e institucionales, todo lo cual apunta a consolidar los factores de sostenibilidad de estos procesos.

La evaluación y seguimiento de estas variables posee un carácter cualitativo, ya que a excepción del número de visitantes (en los espacios habilitados para ello) otras ponderaciones al respecto deben partir de escalas de valoración que den cuenta del cumplimiento o no de condiciones y metas preestablecidas o de la percepción que se acopie de los usuarios, visitantes, vecinos u organizaciones relacionadas con los procesos de recuperación ecológica del humedal. El seguimiento debe adelantarse de manera conjunta tanto por las organizaciones como por las instituciones.

En este orden de ideas, debe darse un apropiado seguimiento (de manera continua y oportuna), a las siguientes variables:

- Grado de responsabilidad social asumida en la recuperación del humedal.
- Características, flujo y percepciones de los visitantes y usuario.
- Alcances de las actividades de investigación y educación ambiental.
- Impactos socioculturales del humedal en proceso de restauración, rehabilitación o recuperación.

4.7. PROTOCOLO DE SEGUIMIENTO EN LIMNOLOGÍA PARA LOS HUMEDALES DEL DISTRITO CAPITAL

En el marco de la formulación de lineamientos técnicos para el manejo de los humedales del Distrito Capital, Secretaría Distrital de Ambiente en convenio con el departamento de biología de la Universidad Nacional, elaboró recientemente un protocolo de seguimiento a variables limnológicas a fin de establecer indicadores de carácter físico-químico que permitan evaluar la calidad de estos ecosistemas a lo largo de amplios períodos de tiempo para que contribuyan en la toma de decisiones.

Las variables propuestas como indicadores en el protocolo se validaron en una primera etapa en los humedales de Guaymaral, Santa María del Lago y Tibanica, cuya selección obedeció a las diferentes condiciones microclimáticas dadas por la ubicación geográfica; también, se tuvieron en cuenta las obras ejecutadas en los mismos. Esta valoración permitió establecer comparaciones y realizar los ajustes pertinentes.

Dentro de los parámetros físico-químicos establecidos para evaluar los tensionantes que alteran la calidad del agua y, por tanto, la composición de la flora y fauna acuática están considerados los siguientes: temperatura, sólidos suspendidos, pH, oxígeno disuelto, fósforo, nitrógeno, DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y coliformes totales.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la validación de indicadores de calidad de agua en humedales se estableció que entre las especies de perifiton y macroinvertebrados que se recomienda tener en cuenta se incluyen los siguientes taxones: Hyalella, Chironominae, Ortocladinae, Dixella, Eristalis, Tipula, Enallagma y Oligochaeta.

Este documento también establece la metodología para la toma de muestras en campo y recomienda muestreos trimestrales teniendo en cuenta los períodos lluviosos y secos. Dicho documento se encuentra a disposición de los interesados en el centro de documentación de la Secretaría Distrital de Ambiente.

4.8. FORMULACIÓN DE PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE HUMEDALES

En desarrollo de los procesos de planificación integral que permitan orientar la ejecución de acciones tendientes a la conservación de los humedales distritales, la formulación de los planes de manejo ambiental (PMA) constituye una herramienta de gestión de gran importancia, pues de ella se derivan los programas y proyectos que a corto, mediano y largo plazo pueden garantizar la conservación y el uso sostenible de estos ecosistemas.

La elaboración de los planes de manejo ambiental debe garantizar la participación de todos los actores interesados en el desarrollo de todas las fases que lo componen, entre las cuales cabe mencionar: el diagnóstico, la evaluación ambiental, la zonificación y la formulación del plan de acción.

En el marco de las políticas internacionales y nacionales, específicamente, lo establecido en la resolución 157 del 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Secretaría Distrital de Ambiente se encuentra ejecutando las acciones para la formulación del plan de manejo de ambiental del humedal de Tibanica.

Actualmente, en coordinación con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá en el marco de un convenio interinstitucional, se están elaborando los Planes de Manejo Ambiental de los humedales de Torca, Guaymaral, Córdoba, Juan Amarillo, Jaboque, Capellanía, El Burro, La Vaca y Techo.

Una vez formulados los planes de manejo y definidos los correspondientes planes de acción, se debe efectuar la gestión interinstitucional que permita establecer compromisos para la ejecución de los programas y proyectos formulados, lo que implica la asignación de recursos y la activa participación de la comunidad.



