



# Interacciones socioecológicas que perpetúan la degradación de la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia\*

Socio-ecological Interactions which Perpetuate the Degradation of the Fuquene Lake in the Colombian Eastern Andes

Interactions socioecologiques qui maintiennent la dégradation du lac naturel de fuquene, dans les andes orientales en Colombie

Lorena Franco-Vidal\*\*, César Augusto Ruiz-Agudelo\*\*\*, Juliana Delgado\*\*\*\*, Germán Andrade\*\*\*\*\*, Ana Guzmán\*\*\*\*\*

*Recibido: 2015-02-20 // Aprobado: 2015-03-10 // Disponible en línea: 2015-06-30*

Cómo citar este artículo: Franco-Vidal, L., Ruiz-Agudelo, C. A., Delgado, J., Andrade, G. y Guzmán, A. (2015). Interacciones socioecológicas que perpetúan la degradación de la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 19(37), 49-66. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd19-37.ispd>  
doi:10.11144/Javeriana.ayd19-37.ispd

## Resumen

Para redireccionar el manejo de sistemas ecológicos y sociales en degradación, hacia trayectorias resilientes de cambio frente a las transformaciones ambientales, es necesario no solo el conocimiento de sus componentes, sino también entender las interacciones entre ellos, para de esta manera anticipar, con menos incertidumbre, su dinámica como resultado de los posibles efectos del manejo. Con base en la aplicación de herramientas generales de modelamiento dinámico e ilustración de interacciones, se describen las relaciones sociales y ecológicas en un humedal altoandino en Colombia, la laguna de Fúquene, que lo han llevado a su actual

---

\* Este artículo es producto de los proyectos de investigación: *Humedales altoandinos frente al cambio climático* (apoyado por Ecopetrol y la Fundación Humedales), *Del páramo a la laguna* (apoyado por Ecopetrol) y *Conservación y gestión sostenible de humedales*, apoyado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

\*\* MSc., investigadora de la Fundación Humedales. Correo electrónico: lfranco@fundacionhumedales.org.

\*\*\* Ph.D, gerente socioeconómico de Conservación Internacional Colombia. Correo electrónico: cruz@conservation.org

\*\*\*\* Ph.D., especialista de agua dulce en The Nature Conservancy y en la Fundación Humedales. Correo electrónico: jdelgado@tnc.org

\*\*\*\*\* MES, profesor asociado de la Facultad de Administración de la Universidad de los Andes y del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Correo electrónico: giandrdep@gmail.com

\*\*\*\*\* Estudiante de doctorado en Monash University, Australia. Correo electrónico: ana.guzman@monash.edu

estado de degradación. Se identifican las variables estructurantes del sistema, el patrón de interacciones y los aspectos críticos que se deben incorporar en la gestión del humedal, ausentes en el manejo actual, y que son esenciales para evitar su colapso como sistema ecológico y social.

**Palabras clave:** sistemas socioecológicos; humedales altoandinos; *feedbacks*

### Abstract

There is the need to achieve a change in direction of the management of degrading social and ecological systems towards routes into resiliency when faced with environmental transformations. In order to do this it is necessary to know their components as well as the interactions that happen between them, so we can predict with a lower uncertainty, their dynamics as a result of the possible effects of their management. Based on the application of general tools for dynamic modeling and interaction illustration, we discovered the social and ecological relationships in a high Andean wetland in Colombia -the Fuquene Lake- which led to its current degraded state. We identified the structural variables of the system, the interaction pattern, and the critical features which have to be included in the management of the wetland, not present in the current management, and which are essential to avoid its collapse as an ecological and social system.

**Keywords:** socio-ecological systems; high Andean wetlands; *feedbacks*

### Résumé

Pour rediriger la gestion de systèmes écologiques et sociaux en dégradation, envers les trajectoires résilients du changement en face aux transformations environnementales, il est nécessaire non seulement connaître les différents composants, il faut aussi comprendre les interactions entre eux, ainsi on anticipe avec moins incertitude, la dynamique en tant que résultat des possibles effets de la gestion. Avec la base dans l'application d'outils généraux de modelage dynamique et illustration d'interactions, on décrit les rapports sociaux et écologiques d'un lac naturel haut-andin en Colombie, le lac de Fúquene, on étudie ces conditions qui ont entraîné son état actuel de dégradation. On identifie les variables structurantes du système, le patron d'interactions et les aspects critiques qu'on doit incorporer dans la gestion du lac, qui manquent dans le modèle actuel, et qui y sont nécessaires pour éviter son colapso en tant que système écologique et social.

**Mots-clés:** systèmes socioécologiques ; lac naturel haut-andin ; *feedbacks*

## Introducción

Uno de los mayores retos en el manejo de los sistemas ecológicos y sociales, *sistemas socioecológicos*, para enfrentar la degradación, es la comprensión de las interacciones entre sus componentes, las cuales pueden perpetuar estados poco resilientes al cambio ambiental. El manejo convencional aísla el componente biofísico del componente social (Ostrom, 2009; Coad *et al.*, 2013; Ericksen, 2008) e ignora las interacciones que retroalimentan los estados indeseados de los sistemas socioecológicos (Nicholson *et al.*, 2009).

Podría decirse que un sistema biofísico que tiene inmerso, dependiente y en estrecha relación, un sistema social, las variables biofísicas que lo caracterizan son socio-ecosistémicas (Binder *et al.*, 2013), ya que tienen incorporada la señal humana que resulta del uso o relación con el sistema social. Sin embargo, el conocimiento formal, especializado en los valores y tendencias de los aspectos biofísicos, sin una visión integral que incluya el conocimiento informal y práctico de las comunidades locales, es insuficiente para reorientar el manejo cuando el objetivo es detener la trayectoria de degradación y la inviabilidad social (Eakin y Luers, 2006).

Esta aproximación de la gestión puede resultar en el colapso de sistemas productivos, la pérdida de servicios ecosistémicos, la extinción de especies y la alteración de procesos ecológicos esenciales para la viabilidad del sistema (McLain *et al.*, 2013; Madrid *et al.*, 2013). Es común que la señal humana solo sea evidente cuando las variables estructurantes han cruzado el umbral de la irreversibilidad, ya que la innovación humana para adaptarse a los cambios es alta y permite la persistencia de los sistemas sociales, los cuales dependen de las funciones ecosistémicas, aun cuando se llegue a los límites del funcionamiento ecológico y social (Holling *et al.*, 2002; Araral, 2013). Desde la perspectiva biofísica, hay una alta resiliencia a los cambios ambientales y la funcionalidad se mantiene por ciertos períodos, aun en condiciones de transformación (Holling *et al.*, 2002), lo cual enmascara la trayectoria hacia la inviabilidad del sistema, en tanto que la señal humana es develada únicamente en las etapas tardías de la trayectoria de degradación, cuando ya son pocas las posibilidades de acción.

Para corregir la aproximación fragmentada del manejo, que no incorpora el carácter sistémico de los sistemas socioecológicos, se han propuesto marcos de referencia que consideran, además de los elementos estructurales, biofísicos y sociales, las interacciones entre ellos (García, 2006; Nelson *et al.*, 2007; Walker y Salt, 2006; Sendzimir *et al.*, 2011; Adam *et al.*, 2013). Esta aproximación integral (socioambiental) permite anticipar la trayectoria del sistema con base en la comprensión de los cambios graduales, abruptos, ambientales y sociales (Sidle *et al.*, 2013), dando la posibilidad de reorientar el manejo.

En esta contribución se describen las interacciones sociales y ecológicas en la laguna de Fúquene, el humedal altoandino más importante del norte de los Andes, que lo han llevado a su actual estado de degradación. Se identifican los aspectos críticos de la gestión del humedal, ausentes del manejo actual, que son esenciales para evitar su colapso como sistema ecológico y social.

## Sitio de estudio

La laguna de Fúquene (31 km<sup>2</sup>), ubicada a 2600 msnm y 100 km al norte de Bogotá (Colombia, Suramérica) (figura 1), es un humedal de altiplano.



**Figura 1.** Sitio de estudio

Fuente: elaboración propia

Es el hábitat de más de cien especies de aves nativas y sitio de paso de aves migratorias. En la laguna habitan tres especies de peces y un crustáceo, endémicos de la región, y la diversidad de macrofitas acuáticas es sobresaliente, con al menos sesenta especies reportadas (Guzmán, 2012).

Las condiciones del clima y el suelo favorecieron la ocupación humana temprana de la cuenca de Fúquene (Eckhom, 1975; Luteyn, 1992), ocupación que aumentó con la llegada de los europeos en el siglo xv. Hoy en día, y no obstante su avanzado deterioro, la laguna aún sustenta importantes servicios ecosistémicos como la regulación climática, el agua de consumo directo e indirecto para más de 2000 personas, especies de flora y fauna para los habitantes locales y fertilidad de los suelos para una de las industrias ganadero-lecheras más importantes del país.

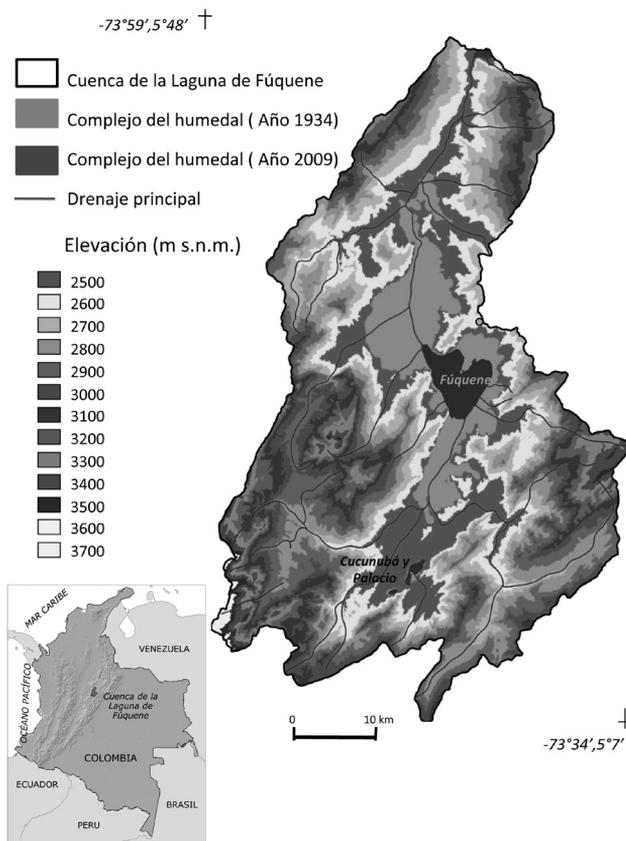
### El proceso de transformación

Fúquene enfrenta un profundo estado de degradación ecológica e inviabilidad social. La transformación se acentuó de manera irreversible y sostenida durante los siglos xix y xx. Diferentes hitos marcan la transformación del humedal, asociados a los intentos de desecarlo y destinarlo a usos contrarios a los de su naturaleza como ecosistema acuático y su carácter de lago fluctuante. En la primera

mitad del siglo XIX la empresa de extracción de sal utilizó la leña de los bosques nativos para la cocción en ollas de barro (Ancizar; Bousingault, citados por Franco, 2007). La madera de los bosques también era usada para fabricar embarcaciones, hacer cruces para las peregrinaciones religiosas o calentar las casas. La construcción de carreteras y el ferrocarril en la ruta Bogotá-Chiquinquirá desencadenó uno de los cambios más importantes en el paisaje. Las obras concluyeron aproximadamente en 1925 y fueron necesarios al menos 100 000 árboles de especies nativas (Franco, 2007).

La ganadería se acentuó hacia mediados del siglo XX con la introducción del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y ha estado asociada a la larga y sostenida historia de desecación de Fúquene. Para su consolidación se creó, en espacios antes ocupados por la laguna, un distrito de riego y drenaje (DRD) que en la actualidad supera las 22 000 ha, con más de 450 km de canales. También existen empresas mineras, de carbón y gravilla, en la zona de ladera donde drenan los afluentes de la laguna. Asimismo, el aumento de la agricultura comercial con uso de plaguicidas (principalmente cultivo de papa en ladera) y de maquinaria pesada es determinante de la transformación.

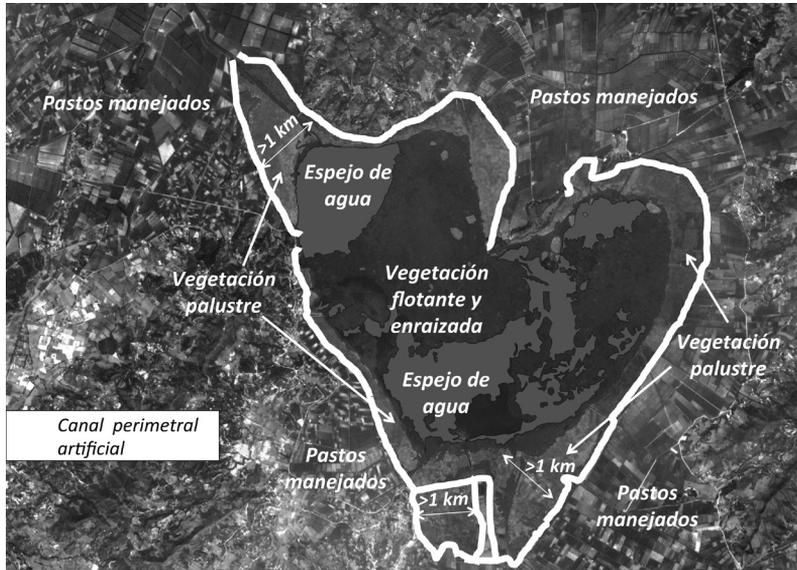
Como resultado de las múltiples intervenciones, el carácter ecológico de Fúquene está desdibujado, la laguna ha perdido cerca del 76% de su área desde 1934 al presente. Después de la creación del DRD la extensión se redujo a 370 km<sup>2</sup> (Garzón, 2005) y su nivel descendió por lo menos 2,5 m (CAR, 2003). La extensión estimada de la laguna en 2009 era de 310 km<sup>2</sup> (figura 2).



**Figura 2.** Extensión de Fúquene en 2009 y 1934 y gradiente altitudinal de la cuenca. El área del sistema lagunar en 1934 era de 18000 ha (180 km<sup>2</sup>) y en 2009 de aproximadamente 3100 ha.

Fuente: elaboración propia

Otros impactos de las intervenciones humanas son las invasiones biológicas, la contaminación hídrica, la alteración del patrón y tamaño de hábitats característicos, la pérdida de heterogeneidad ecosistémica (al menos una especie de pez extinta), la disminución del nivel hídrico y de la heterogeneidad batimétrica, la pérdida de capacidad de almacenamiento de agua y de regulación hidrológica y la alteración de las características del suelo (figura 3).



**Figura 3.** Imagen satelital de la laguna de Fúquene en el 2009. Se señala el canal perimetral, límite artificial que rodea la laguna, construido para evitar que el agua inunde las zonas de pastoreo que rodean completamente el humedal y lo aíslan de procesos ecológicos en el ámbito de la cuenca de captación.

Fuente: Imagen RapidEye 2009, 5 bandas, píxel 5 m

Todos estos impactos, en sinergia con características geomorfológicas, climáticas e hidrológicas de la región y la dinámica propia de los humedales altoandinos, con tendencia natural a la colmatación, continúan acentuando la degradación de Fúquene. Las respuestas de manejo aisladas del contexto amplio del sistema, para superar situaciones críticas como inundaciones y sequía, incrementan aún más la transformación y afectan servicios ecosistémicos como la regulación climática e hidrológica, la pesca, el turismo y la provisión de agua limpia. Así, en el mediano y largo plazo, se arriesga la posibilidad de recuperación y permanencia de funciones ecológicas y beneficios para el conjunto amplio de la sociedad.

## Métodos y fuente de los datos

### Carácter ecológico y social de Fúquene

En un humedal la naturaleza biofísica básica está determinada por el agua. El carácter ecológico y social está dado por las diferentes configuraciones de las unidades ecológicas del sistema y su relación con las comunidades humanas. Si la trayectoria de cambio del humedal, en la interacción entre el componente social y biofísico, es resiliente, se preserva su naturaleza como ecosistema acuático y las características específicas de acuerdo con el tipo particular. De esta manera, hay mayores oportunidades de mantener la viabilidad social que depende de los servicios ecosistémicos ofertados por el humedal.

En Fúquene, el carácter ecológico y social se investigó con base en observaciones y evaluaciones en campo (febrero del 2010 - abril del 2011) y con información secundaria sobre la ecología, la dinámica

de los humedales altoandinos y su contexto social. Este paso, aunque parece obvio, es esencial en el contexto colombiano, en el cual las decisiones de manejo de los sistemas naturales no consideran de manera amplia y suficiente sus elementos estructurantes, su dinámica y las escalas espaciales en donde ocurren procesos necesarios para mantener los atributos de su carácter socioecológico. Así, se imponen límites inadecuados a los sistemas socioecológicos y se desconocen, desde la planificación, los ámbitos donde suceden procesos esenciales para su resiliencia.

### Interacciones de los componentes ecológico y social

El conocimiento previo de la región y de la dinámica del humedal fue utilizado para el desarrollo y aplicación de tres pasos metodológicos generales, que llevaron a la construcción de un modelo causal de relaciones socioecológicas, con base en la reinterpretación de la información secundaria existente, las entrevistas realizadas y la consulta a expertos (Folke, 2006; Ruiz *et al.*, 2015). Este proceso de construcción buscó la integración inicial del conocimiento local y científico. Los pasos metodológicos generales fueron:

- Compilar, usar y reinterpretar las evidencias de los efectos desestabilizantes de las interacciones que actúan sobre Fúquene, a partir del conocimiento acumulado en diez años de trabajo en la región (ver [www.fundacionhumedales.org](http://www.fundacionhumedales.org)). También a partir de entrevistas y talleres con los actores sociales, del análisis de series hidrológicas, climáticas y de cambios en coberturas, así como de la reconstrucción de la historia de transformación socioambiental en la región.
- Desarrollo de un análisis cualitativo de estos sistemas, usando la narrativa construida con la integración de la información anterior y proponiendo varias versiones de las posibles relaciones entre los componentes sociales y ambientales.
- Los diagramas para exponer las interacciones se elaboraron con el *software* de modelamiento dinámico Vensim (Ventanna Systems, Inc., 2015). Estos diagramas están sustentados con narrativas en la sección de resultados. Se aplicó el marco conceptual de Dougill *et al.* (2010) para examinar la manera como se refleja la dinámica social y ecológica en la trayectoria de cambio de Fúquene.

## Resultados

### Carácter ecológico y social: atributos estructurantes

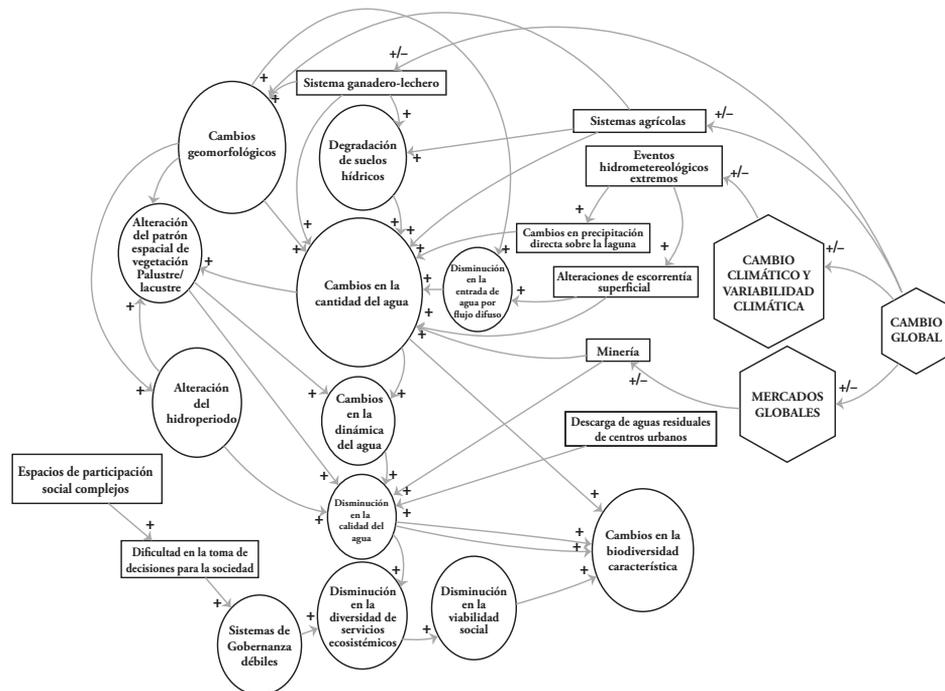
Fúquene es un humedal de altiplano con baja heterogeneidad batimétrica, siendo un rasgo distintivo la forma del vaso con gradación en la profundidad desde los bordes hacia el centro. Este patrón favorece la presencia de herbáceas emergentes en los bordes y de espejo de agua libre de vegetación. Aspectos sociales de su carácter socioecológico se encuentran en la diversidad de actores y modos de vida ligados a los servicios ecosistémicos sustentados por las funciones de la laguna.

La definición explícita del carácter ecológico y social permitió, para una mejor comprensión de la dinámica de cambio del humedal, complementar los atributos de la identidad de Fúquene propuestos por Andrade *et al.* (2012). Los atributos biofísicos identificados son calidad y cantidad de agua, dinámica y volumen del agua, hidropериodo, geomorfología y biodiversidad característica. Entre los atributos sociales se encuentran la diversidad de servicios ecosistémicos y actores sociales sujetos a un sistema de gobernanza principalmente tradicional y jerárquico. La pesquería, la fabricación de artesanías a partir de la vegetación acuática, la provisión de agua para ganadería y agricultura y la regulación hidrológica, entre otros, son los servicios ecosistémicos de soporte de las comunidades humanas.

Descripción de interacciones que influyen en los atributos de la naturaleza y el carácter ecológico y social de Fúquene

La figura 4 representa las interacciones entre los componentes del sistema socioecológico que se

describen a continuación.

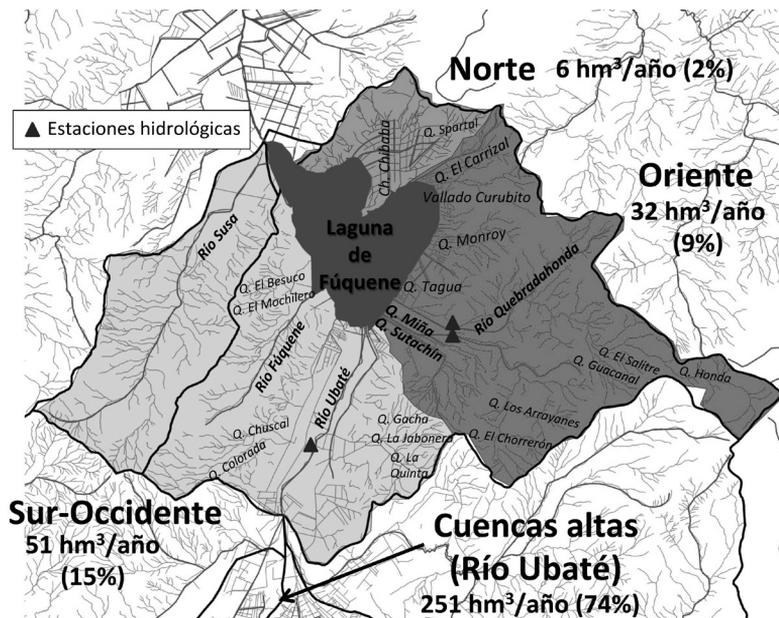


**Figura 4.** Interacciones entre los componentes ecológico y social de Fúquene que perpetúan la degradación del humedal. Los atributos estructurantes y la dirección de sus cambios se encuentran en las esferas; los factores de transformación, de origen local o regional, de estos atributos están en los rectángulos, mientras que los de origen global se encuentran en los hexágonos. La relación entre atributos está representada por flechas que los conectan y los relacionan con los factores de transformación. La polaridad de las flechas indica efecto estabilizante (-) o desestabilizante (+) de los atributos estructurantes. Estos efectos están sustentados en la descripción con información secundaria y primaria producto de esta investigación.  
Fuente: elaboración propia

La cantidad y la calidad del agua, dos de los atributos estructurantes más importantes de los ecosistemas acuáticos, están severamente afectadas en Fúquene, y esto obedece a determinantes de los ámbitos local-regional, nacional y global relacionados con el incremento de agua para uso agropecuario, urbano e industrial. En la laguna el mayor aporte hídrico es por escorrentía superficial a través de dieciséis cauces aferentes; solo uno de ellos, el río Ubaté, da cuenta del 74% de los aportes (figura 5), mientras que otras contribuciones menores son por flujo difuso y precipitación directa.

El régimen de precipitación es bimodal, con dos periodos húmedos y dos secos al año. En el estudio de las series 1945-2004 no se observaron tendencias significativas, ni crecientes ni decrecientes, aunque se presentan fluctuaciones en ciertos intervalos. La estacionalidad en el régimen de precipitación, la alta regulación hidrológica artificial de la cuenca (embalse, compuertas y canales del distrito de riego) y el elevado consumo de agua, hacen que la *respuesta hidrológica* de la cuenca a la precipitación esté alterada, y por lo tanto son más frecuentes las condiciones de déficit hídrico en el 75% de la cuenca.

Según Useche (2003), la afluencia de agua a la laguna disminuyó en un 47% entre los años 1960 y 1999. La fracción de la precipitación que se transforma en escorrentía por cauces aferentes es muy



**Figura 5.** Aporte hídrico relativo de los tres sectores que drenan la laguna de Fúquene

Fuente: elaboración propia a partir de la capa cartográfica de escorrentía anual (mm año-1) del Pomca de la cuenca Ubaté-Suárez (CAR, 2006)

baja, llegando a ser del 15% cerca de la desembocadura del río Ubaté en la laguna. El 90% del área de la cuenca presenta valores anuales de escorrentía entre 200 y 400 mm y, de acuerdo con la CAR (2006), estos valores bajos se deben a las bajas precipitaciones (63% del área con 800-1000 mm/año) y a la gran demanda humana. El agua se embalsa en la parte alta para suplir demandas para acueductos y evitar, aguas abajo, inundaciones de los sistemas ganaderos.

La acumulación de sedimentos en las desembocaduras de los cauces aferentes limita, e incluso impide, el aporte efectivo de agua a Fúquene. La mayoría de los cauces, especialmente Ubaté y Fúquene, han sufrido rectificaciones y profundizaciones para adecuar las zonas de pastoreo y las agrícolas. También se ha alterado la interfaz tierra-agua, construyendo barreras en los bordes para evitar inundaciones. Estas transformaciones geomorfológicas limitan la retención de sedimentos antes que el agua llegue a la laguna y favorecen su acumulación en las desembocaduras, interrumpiendo los flujos hídricos naturales que deberían llegar al humedal.

En algunas épocas del año los sitios de entrada de los cauces aferentes son dragados para permitir la entrada de agua. Los sedimentos removidos son depositados en el borde lagunar y aplanados mecánicamente para crear condiciones de borde “similares” a las naturales. Este manejo acentúa la desconexión tierra-agua y limita, más, la entrada de agua por flujo difuso. La adecuación mecánica (que también se hace para preparar el suelo para el pastoreo y la agricultura) daña la estructura de los suelos hídricos, impidiendo la infiltración y disminuyendo su contribución a la regulación hídrica (Garzón, 2005).

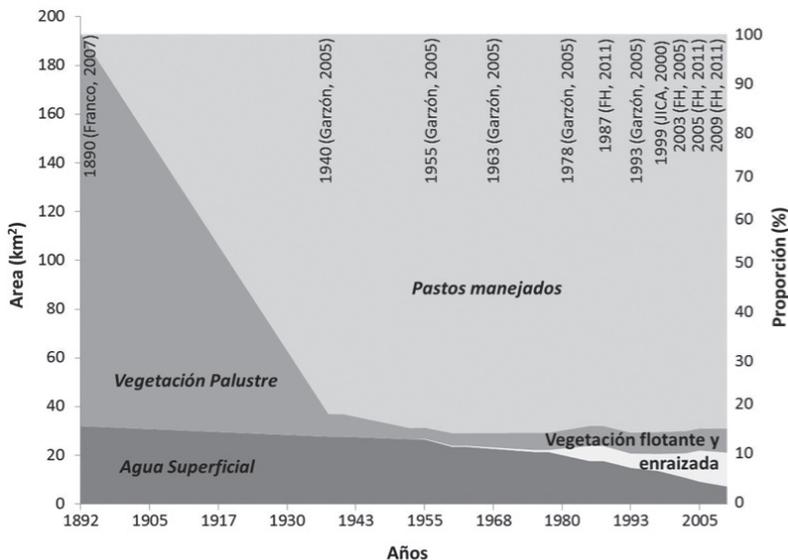
La disminución en la entrada de agua a la laguna también es provocada de manera intencional, y permanente, por los manejadores del distrito de riego para evitar inundaciones. En el 2010 se construyó un canal que desvió la llegada del río Ubaté a la laguna para evacuar de manera rápida el agua del sistema e impedir el desbordamiento e inundaciones. Estas inundaciones, que suceden frecuentemente,

se deben en parte a la pérdida de la función de regulación hidrológica por las transformaciones que ha sufrido Fúquene.

La laguna ya no puede amortizar los eventos hidrometeorológicos extremos. Los manejadores responden acentuando las intervenciones para evitar futuros desastres, y para tal fin aumentan las barreras artificiales en el borde lagunar y en los cauces aferentes, profundizando el canal perimetral y quitando la vegetación acuática. Los efectos de estas respuestas de manejo solo son útiles en el corto plazo. En el mediano y largo plazo las transformaciones del humedal se siguen acumulando, lo cual resulta en mayor degradación con aumento del riesgo de desastres.

El riego por infiltración, que sustenta en gran parte la ganadería de leche, no requiere bombeo mecánico, y por lo tanto la inversión de recursos es mínima en infraestructura. Este es uno de los principales atractivos de la región, pero al mismo tiempo se ha convertido en una de las causas de sobreexplotación del recurso hídrico. En la parte plana, en algunas zonas de pastoreo, ha sido necesario el remplazo por riego de aspersión, con bombeo de agua desde la laguna y a través de canales artificiales. Como el nivel de agua es cada vez menor, el sistema ganadero demanda, proporcionalmente, más agua y esto afecta el volumen y la profundidad de la laguna.

Los cambios en la cantidad de agua de la laguna y en el hidroperíodo contribuyen a afectar el patrón de hábitats palustre-lacustre. Estos cambios están asociados al aumento de la extensión del sistema agropecuario (figura 6).



**Figura 6.** Cambios en la proporción de los diferentes tipos de hábitat del sistema lagunar y aumento del sistema agropecuario en el período 1892-2005

Fuente: elaboración propia

La extensión inusual de las macrófitas palustres nativas actúa como barrera a la entrada de agua a la laguna (ver figura 3). La franja de *Typha angustifolia* (tifa) y *Schoenoplectus californicus* (junco) puede alcanzar hasta 1 km de ancho. Además, el grado de cohesión (estimado con base en observaciones en campo) de esta vegetación, hizo evidente que el paso del agua esté restringido y que esta condición se acentúe durante las épocas de sequía. Actualmente hay islas de tifa y junco dentro del espejo de agua, pues allí las macrófitas exóticas invasoras *Eichhornia crassipes* (buchón) y *Egeria densa* (elodea) forman sustratos para las especies palustres. Esta expansión de la franja palustre en el borde, y al interior de la laguna, resulta en menos espacios para el espejo de agua.

La disminución del nivel de agua se acentúa también por el aumento de la evapotranspiración, debido a la gran proliferación de biomasa vegetal. *T. angustifolia* y *S. californicus* tienen altas tasas de evapotranspiración y de productividad primaria neta, lo cual señala un gasto hídrico constante, que afecta directamente los cuerpos de agua donde se desarrollan (Shipley *et al.*, 1989; Stefan, 1993; Heiser, 1978; Gough *et al.*, 1994).

Los manejadores de la laguna intentan controlar la *tifa* y el *junco* con medios mecánicos para “ampliar el espejo de agua y la capacidad de almacenamiento” (entrevista con manejadores del DRD en octubre del 2010), dragando el fondo para aumentar la profundidad. Pero esto destruye el suelo y resuspende los nutrientes (acumulados en el fondo), los cuales ciclan a la columna de agua y, además de alterar su calidad, promueven la expansión de vegetación que incrementa el desplazamiento de agua en la laguna. Esto crea un mecanismo de retroalimentación positivo que mantiene bajos los niveles de agua.

La calidad de agua en los humedales está estrechamente relacionada con los procesos que mantienen la cantidad y dinámica hídrica. El agua que llega a la laguna debería pasar por procesos de depuración y retención de sedimentos sustentados por la vegetación de la zona de ladera y la de borde de los ríos, quebradas y de la misma laguna (e. g. la franja palustre). Por esto, la existencia de la interfaz tierra-agua es crítica.

El monitoreo participativo de parámetros fisicoquímicos, realizado por los pescadores y artesanos de Fúquene entre el 2006 y el 2010, confirma la mala calidad del agua. Los valores de sólidos disueltos fluctuaron entre 12 y 188 ppm, siendo 40 ppm considerado de aguas eutróficas (Roldán y Ramírez, 2008). La materia orgánica es alta, entre 9,21 y 32,03%, y la evaluación de flora microbiana mostró riesgo sanitario pues los coliformes fecales se encontraron entre 18 y 16000 NMP/100 ml, y para que el agua se considere potable debe tener 0 colonias por 100 ml de agua. El agua tampoco es apta para uso agropecuario o para uso recreativo, pues para estos fines el máximo de coliformes fecales debe ser de 200 NMP/100 ml.

La mala condición del agua es reflejo de los vertimientos de contaminantes y nutrientes en exceso y de la alteración de las funciones ecológicas de depuración. La vegetación terrestre en la cuenca debería contribuir a disminuir la fuerza de la lluvia y la velocidad del agua de escorrentía. Así, el suelo puede absorber el agua, facilitando la infiltración y percolación, esenciales en el balance escorrentía/infiltración y en la depuración. En la cuenca de la laguna la deforestación resultó en la pérdida de la mayor parte de la vegetación nativa y hoy en día la cobertura herbácea introducida domina el 73% del área. Predomina el pasto kikuyo, que favorece el aumento de la escorrentía superficial pues disminuye la retención, la acumulación y la infiltración de agua en el suelo, tanto superficial como subterránea (Youngner y Goodin, 1961; Conabio, 2015).

Las prácticas de manejo del ciclo ganadero en el valle, con insumos de alto contenido en fósforo (P) y nitrógeno (N), degradan más la calidad hídrica. Los recorridos en campo y conversaciones informales con algunos ganaderos lo confirman. Durante los dos períodos secos del año el ganado es llevado hasta el agua para abastecerse, tanto dentro de los cauces aferentes como *dentro* de la laguna. Donde hay acumulación de sedimentos (como en las desembocaduras de ríos y quebradas) se han consolidado áreas con kikuyo que sirven de zonas de pastoreo por períodos de tres a cuatro meses (especialmente durante el estiaje), facilitando el abastecimiento de agua para la ganadería asociado a inversiones económicas importantes.

La presencia del ganado en los potreros aledaños también influye en la mala calidad del agua. Las excretas entran en contacto directo con el agua cuando esta, desde el subsuelo, sube a la superficie por capilaridad. Cuando llueve y los potreros se anegan, el agua es bombeada mecánicamente a los canales del distrito de riego, y después a los cauces aferentes. Así, llega agua con N y P a la laguna. Es una retroalimentación de la condición eutrófica, pues estos nutrientes promueven la proliferación de vegetación exótica y con ello aumenta el consumo de oxígeno, y acumulación de materia orgánica en descomposición. Cuando hay menos oxígeno en el agua, el P acumulado en los sedimentos se libera hacia la columna de agua (Carpenter y Cottingham, 2002).

Las descargas de aguas residuales de los quince municipios de la cuenca de Fúquene también afectan la calidad hídrica. Todos vierten los residuos de manera directa en algún cauce aferente al humedal. Aunque hay plantas de tratamiento, estas son insuficientes y no se hace tratamiento diferencial, pues se mezclan residuos domésticos y de la industria lechera.

Las plantas exóticas, buchón y elodea, dominan el espejo de agua de Fúquene, ocupando 1237 hectáreas (año 2009). Esta gran extensión afecta y restringe la circulación del agua dentro del humedal, que es uno de los mecanismos importantes en la depuración de contaminantes y la disminución de sedimentos. El buchón, *Eichhornia crassipes*, es señalada como la especie acuática que ha tenido mayor distribución mundial realizada por el hombre, lo cual se deriva de su capacidad clonal a partir de cualquier parte de la planta, altas tasas fotosintéticas y de evapotranspiración y crecimiento (Martínez Crovetto, 1981; Wilson *et al.*, 2005). Cuando invade el agua bloquea la entrada de luz, lo que desencadena descomposición en el interior por la muerte de plantas y animales. La presencia de este buchón incrementa la pérdida de agua en aproximadamente 750 mm/año (Xie y Yu, 2003).

*Egeria densa*, elodea, tolera un rango amplio en la concentración de nutrientes del agua, especialmente P, y aumenta sus tasas de crecimiento en aguas densas y turbias cargadas de compuestos nitrogenados (ARC, 2007-2012). Tiene la capacidad de fotosintetizar a profundidades superiores a los 15 m, por lo cual compite por espacio con otras especies también en las profundidades (Becker-Rodríguez y Thomaz, 2010). Para controlar la invasión de elodea en Fúquene, los manejadores emplean medios mecánicos como dragado, corte y recolección. Sin embargo, y debido a sus características de crecimiento, los eventos de tracción, corte y excavación con máquinas se convierten en soluciones temporales para su eliminación, pues originan miles de fragmentos viables que forman nuevas colonias (Anderson y Hoshovsky, 2000).

El *hidroperíodo* describe la variabilidad esperada en la cantidad de agua en un ecosistema acuático, en un período de tiempo dado (Matthews y Le Quesne, 2008). La conexión entre los sistemas hídricos y los planos de inundación son fundamentales para este proceso (Middleton, 2002), que a su vez contribuye a la depuración de nutrientes y sedimentos. La alteración del hidroperíodo tiene consecuencias directas sobre la calidad del agua.

En Fúquene la tendencia es hacia la pérdida del hidroperíodo en la escala interanual, como consecuencia del manejo para la regulación hidrológica. Esto puede estar relacionado con el objetivo de embalsar agua en los meses lluviosos y liberarla en los secos. Este manejo impide la fluctuación del agua más allá del límite establecido de manera artificial por el canal perimetral. Solamente de manera excepcional, en los extremos de las épocas lluviosas, el agua desborda y llega a los potreros ganaderos, causando pérdidas económicas considerables y aumentando la vulnerabilidad de la ganadería y otros sistemas sociales. En respuesta a esto los manejadores acentúan la regulación artificial (aguas arriba) y se aumenta la altura del jarillón (alrededor de la laguna). De esta manera, se retroalimenta la pérdida de la variabilidad en el hidroperíodo, con consecuencias negativas para la calidad y la cantidad de agua.

### Atributos sociales de la identidad de Fúquene

En Fúquene hay tres atributos que reflejan la relación del componente social y biofísico: 1) servicios ecosistémicos; 2) múltiples actores que dependen de estos servicios ecosistémicos; y 3) un sistema de gobernanza que debería ser amplio, flexible y ajustado a la dinámica ecológica y social de la laguna.

El mantenimiento de tales atributos debería depender de factores como los sistemas de conocimiento, sobre procesos ecológicos y sociales, integrados de manera efectiva a las decisiones de manejo; sistemas completos de acceso a los beneficios de la laguna, normas y reglas para su aprovechamiento que se sustentaran en una institucionalidad complementaria, entre el ámbito local, regional y nacional, acoplada con las dinámicas ecológicas y sociales características; y diversos mecanismos de participación de la sociedad para influir en el manejo de una forma democrática y transparente. En Fúquene, sin embargo, la manera como estos factores se expresan, retroalimenta la dinámica y el estado de degradación del

humedal. El sistema de gobernanza es jerárquico, tradicional, inflexible y poco ajustado a la dinámica ecológica y social de la laguna.

Los objetivos principales de manejo en la cuenca de Fúquene, desde la perspectiva del sector gubernamental, priorizan el mantenimiento de la industria ganadero-lechera y las funciones ecológicas que la mantienen, como provisión de agua para riego y suelo para el pastoreo. El argumento de los manejadores es que la ganadería es “la principal actividad económica de la región” (entrevista con manejadores del DRD en octubre del 2010), y aunque reconocen la diversidad de servicios ecosistémicos, el enfoque y los objetivos del manejo del DRD, el estado actual del territorio y la ocupación humana sobre áreas que antes pertenecían a la laguna son los determinantes de las actuaciones del manejo.

De acuerdo con los manejadores, “si se permitieran procesos de regulación hidrológica en la zona de interfaz tierra-agua se crearía un problema social”, con afectación para una gran parte de la sociedad (entrevista con manejadores del DRD en octubre del 2010). Este enfoque ha llevado a que otros beneficios como la pesquería, el transporte, la recreación, la depuración del agua o la atenuación de las inundaciones, no sean incorporados de manera explícita en la gestión. Por lo tanto, hay pérdida de viabilidad de los actores sociales que dependen de estas funciones de la laguna. Es el caso de la pesquería, antes fuente de alimento para las familias locales, hoy en día colapsada por la mala calidad del agua, la disminución de su nivel, aportes de sedimentos y la invasión por plantas y peces exóticos (figura 4).

El transporte acuático de pasajeros, antes importante para el turismo y que proveía excedentes económicos a algunos actores, está severamente afectado por la invasión de elodea, buchón y la baja profundidad del espejo de agua. Muchos pescadores y operadores de embarcaciones debieron adoptar otras actividades de supervivencia, entre ellas la ganadería que acentúa las dinámicas desestabilizantes de la laguna.

La ausencia persistente de un acuerdo social sobre la identidad y los objetivos del sistema Fúquene, es uno de los principales aspectos que ha limitado, y evidentemente impedido, el mantenimiento de gran variedad de servicios ecosistémicos. Esto ha resultado en visiones sesgadas sobre la laguna y su función ecológica y social en la región. Los manejadores oficiales expresan que su deber es “evitar que la laguna interfiera en las actividades económicas y sociales de la región” (entrevista con manejadores del DRD en octubre del 2010), al referirse a las inundaciones y sequías recientes, que comprometen la viabilidad de la industria ganadero-lechera. A la ausencia de un acuerdo social, subyace la falta de un sistema de gobernanza que interactúe con el jerárquico, quizás comunitario o de redes, que facilite y promueva una mayor participación social en las decisiones de manejo (Guzmán Ruiz *et al.*, 2011).

En Colombia, investigadores de procesos participativos consideran que la amplia infraestructura normativa es dispersa y exige una serie de complejos requisitos, dificultando las prácticas efectivas de la participación y convirtiéndose en un desestímulo. Esta limitación de la participación, identificada por Velásquez y González (2003), hace parte del grupo de barreras y paradojas mencionadas por Mostert (2009), Eversole (2003) y Reed (2008). En la cuenca de Fúquene, a partir de entrevistas sobre la participación de los actores en las decisiones ambientales (octubre del 2012), se encontró que la mayoría no sabía que podía participar y consideran que los mecanismos de participación, de ser aplicados por ellos, pueden generar represalias y afectar las relaciones con las autoridades ambientales o municipales. También consideran que los trámites para participar son complejos y no hay transparencia.

Por otra parte, los espacios de participación diseñados están orientados para que su función sea básicamente de consulta. En pocos casos se avanza hacia una etapa de concertación y gestión, lo cual evidencia la gran influencia del comando y control típico de un sistema de gobernanza jerárquico tradicional. Además, los programas de participación no cuentan con los recursos económicos ni los tiempos adecuados para su planeación, diseño e implementación. De esta forma, la participación no llega muy lejos, ya que no es solamente una cuestión de convicción ideológica, política o de necesidades sentidas (Velásquez y González, 2003; Cleaver, 1999; Stenseke, 2009). En las entrevistas realizadas a los actores sociales en Fúquene (octubre del 2012), estos reconocen que la falta de recursos e información sólida y consolidada, sobre el estado de la laguna y cuál es su rol clave en el manejo, es una barrera para

que su participación en las decisiones sea útil. Reconocen que “no es clara la información y por eso la gente no participa”.

## Conclusiones

Las zonas altas de los Andes en Colombia han sido pobladas durante siglos y, en consecuencia, la dinámica y estado actual de los humedales altoandinos es el resultado de la relación sociedad-naturaleza. En ellos tal relación se manifiesta no solo como la alteración de un sistema natural, sino como un *sistema nuevo* con propiedades emergentes de autoorganización, en el cual las variables constitutivas no son ya solamente biofísicas o sociales, sino el resultado de las interacciones entre estas dos. Son verdaderos sistemas socioecológicos, en los cuales los procesos humanos son parte integral de su ecología (Berkes y Seixa, 2005).

Entender las interacciones que emergen del sistema socioecológico de Fúquene ha sido un aspecto ausente en la generación de conocimiento para su manejo. De manera convencional, la gestión del humedal se ha enfocado en las amenazas, de forma aislada, bajo la premisa de que al eliminarlas el sistema retornará a un estado de pre-perturbación. Hoy en día la transformación ecosistémica continúa e impulsa y consolida el *manejo patológico* (*sensu* Meffe *et al.*, 2012) del sistema lagunar, en un ciclo que se retroalimenta constantemente, aumentando la vulnerabilidad socioecológica. Por lo tanto, las respuestas para enfrentar eventos extremos (como los ocurridos entre 2009 y 2011), y preservar sistemas sociales, requieren cada vez mayores transformaciones del humedal.

Los manejadores oficialmente designados para Fúquene, si bien reconocen el carácter estratégico de la laguna para el sustento de los servicios ecosistémicos, no incorporan una visión de la laguna como sistema social y ecológico en el cual las interacciones entre los dos componentes determinan su estado actual y su trayectoria futura (Andrade *et al.*, 2012). Las variables biofísicas estructurantes del humedal se consideran marginales y muchas veces nocivas al manejo, y no como el soporte de funciones que sustentan actividades productivas para el conjunto amplio de la sociedad.

Se debe prestar especial atención a la gestión de los servicios ecosistémicos, que son piedra angular de estos sistemas socioecológicos, y a las configuraciones de usos, usuarios y dinámica ecológica resultantes. Estas configuraciones pueden comprometer de manera negativa su capacidad de respuesta a los cambios ambientales o, por el contrario, ser resilientes para conservar la trayectoria de cambio acorde con la naturaleza y el carácter social y ecológico de los sistemas. Solo así se pueden mejorar las oportunidades de alcanzar la sostenibilidad, incluyendo además de los pilares ecológicos, las contrapartes sociales y económicas que influyen en el bienestar humano (Sidle *et al.*, 2013).

Un primer paso para reorientar el manejo patológico de Fúquene, es lograr un acuerdo social y una visión compartida sobre su identidad socioecológica, para así formular estrategias de gestión que verdaderamente incorporen esta perspectiva, y no únicamente la social o la biofísica. Este es un reto transdisciplinario, en el cual es indispensable unir las necesidades y el conocimiento informal de las comunidades humanas locales, a los atributos biofísicos garantes de funciones y la funcionalidad del humedal producto de un análisis interdisciplinario (Reed, 2008). Este aprendizaje social y cultural podría asegurar la provisión de servicios ecosistémicos estratégicos para la sociedad en su conjunto.

El acuerdo social debe ir ligado a un proceso de toma de decisiones por parte de las instituciones pertinentes. Además, debe estar basado en información científica, social y biofísica relevante, que genere credibilidad y permita entender las interacciones y la dinámica del sistema. Por lo tanto, el conocimiento de los atributos biofísicos y humanos que en conjunto lo definen, y los ámbitos espacio-temporales en los cuales interactúan (Palmer, 2010), es esencial en un sistema socioecológico como el de Fúquene. El que los manejadores del DRD entiendan la dinámica de transformación de la laguna resulta fundamental.

La inclusión explícita de las escalas espaciales y temporales en las cuencas de captación de los humedales es de especial importancia en el manejo. En una cuenca interactúan una red de ecosistemas terrestres y acuáticos con lapsos de tiempo significativos entre la intervención humana y la manifestación de sus efectos (Sidle *et al.*, 2013). Anticipar tales efectos, negativos o positivos, del manejo, supone un reto mayor y genera incertidumbre (de los efectos del manejo) sobre la dinámica, debido a interacciones como las expuestas para Fúquene. En este sentido, el monitoreo en escalas espaciales amplias, y al menos sobre aspectos como la planeación de la gestión, los atributos que son objetivo de esta y las acciones que se proyecten e implementen, debe contribuir a revelar la posible trayectoria que seguirá el sistema.

Los objetivos de gestión se deben establecer considerando el estado actual y la irreversibilidad de muchas variables estructurantes del humedal y de su entorno social, evitando acciones de manejo sobre la base de que estas hayan tenido éxito en ecosistemas similares. La evidencia ha sido contundente en demostrar que soluciones tecnológicas que dan resultados deseables de corto plazo en otros ecosistemas acuáticos, no necesariamente son benéficas en ecosistemas de naturaleza parecida.

Estas soluciones pueden incluso acentuar los síntomas de la degradación y perpetuar la trayectoria de cambio no resiliente del sistema. Por ejemplo, la remoción mecánica de vegetación invasora es una de las medidas más populares entre los manejadores del DRD de Fúquene, con el objetivo de ampliar el espejo de agua. También el dragado del fondo para aumentar la capacidad de almacenamiento de agua. La invasión de flora exótica y la expansión inusual de las especies nativas son transformaciones que es necesario incorporar en la gestión como atributo del sistema transformado. En consecuencia, se deben evitar objetivos tales como “volver al estado original”.

La participación efectiva, en las decisiones ambientales, de los actores sociales relevantes es crítica. Sin embargo, este proceso enfrenta varios prerequisites intrínsecamente ligados a factores contextuales y relaciones de poder (Stenseke, 2009), entre los que se encuentran los niveles de pobreza, el conocimiento insuficiente de los mecanismos legales de la participación, incertidumbre en las responsabilidades y roles de los actores en los procesos participativos y la escasa asignación presupuestal para una participación permanente y con la mejor información disponible.

Finalmente, es necesario reiterar que la incertidumbre es una propiedad inherente a los sistemas naturales y que se puede manifestar con mayor intensidad en los que están dominados por las intervenciones humanas. Por tal razón, aun con el conocimiento de los atributos estructurantes de estos sistemas, sus “valores” y un mínimo entendimiento de las interacciones entre ellos, es necesaria la precaución en el manejo para evitar umbrales de irreversibilidad en los cuales la provisión de servicios ecosistémicos ya no es posible. Esto es lo que ha ocurrido en Fúquene y es lo que se debe evitar en otros humedales altoandinos.

## Referencias

- Adam, Y., Pretzsch, J. y Pettenella, D. (2013). Contribution of Non-Timber Forest Products Livelihood Strategies to Rural Development in Drylands of Sudan: Potentials and Failures. *Agricultural Systems*, (117), 90-97.
- Adger, N. (2013). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281.
- Anderson, L. y Hoshovsky, M. (2000). Egeria densa. En *Invasive Plants of California's Wildlands*. Berkeley: University of California Press.
- Andrade, G., Franco, L. y Delgado, J. (2012). Socio-ecological barriers to adaptive management of Lake Fúquene, Colombia. *International Journal of Design y Nature and Ecodynamics*, 7(3), 251-260.
- Araral, E. (2013). What Makes Socio-Ecological Systems Robust? An Institutional Analysis of the 2,000 Year-Old Ifugao Society. *Human Ecology*, (41), 859-870. doi: 10.1007/s10745-013-9617-5
- Auckland Regional Pest Management Strategy (ARC) (2007). Recuperado el 20 de marzo del 2015, de <http://www.aucklandcouncil.gov.nz/EN/environmentwaste/pestsdiseases/Documents/rpms20072012.pdf>
- Becker-Rodrigues, R. y ThomBecker-az, S. (2010). Photosynthetic and Growth Responses of Egeria Densa to Photosynthetic Active Radiation. *Aquatic Botany*, 92(4), 281-284.
- Berkes, F. y Seixas, C. (2005). Building Resilience in Lagoon Social-Ecological Systems: A Local-level Perspective. *Ecosystems*, 8 (8), 967-974.
- Binder, C., Hinkel, J., Bots, P. y Pahl-Wostl, C. (2013). Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 18 (4), 14-24. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05551-180426>
- Carpenter, S. y Cottingham, K. (2002). Resilience and restoration of lakes. En Gunderson, L. y Lowell Pritchard, Jr. (Eds.), *Resilience and the behavior of large scale systems*. Washington, D.C.: Island Press.
- Cleaver, F. (1999). Paradoxes of Participation: Questioning Participatory Approaches to Development. *Journal of International Development*, 11(4), 597-612.
- Coad, L., Schleicher, J., Starkey, M., Marthews, T., Manica, A. y Abernethy, K. (2013). Social, Economic and Ecological Change over a Decade in a Village Hunting System, Central Gabon. *Conservation Biology*, 27(2), 270-280.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) (s.f). *Sistema de información sobre especies invasoras en México. Especies invasoras-plantas*. Pennisetum clandestinum Hochst. ex Chiov. Recuperado el 1° de abril del 2015, de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/pennisetum-clandestinum/fichas/ficha.htm>.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (2003). *Memorias del comité de expertos para la recuperación de la laguna de Fúquene*.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (2006). *Plan de Ordenamiento de Cuencas Ambientales, Pomca Ubaté-Suárez. Diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica de los ríos Ubaté y Suárez*.
- Dougill, A., Fraser, E. y Reed, M. S. (2010). Anticipating Vulnerability to Climate Change in Dryland Pastoral Systems: Using Dynamic Systems Models for the Kalahari. *Ecology and Society*, 15(2). Recuperado de <http://www.ecologyandsociety>.
- Drijver, C. (1992). People's Participation in Environmental Projects in Developing Countries. *Landscape and Urban Planning*, 129-139.
- Eakin, H. y Luers, A. (2006). Assessing Vulnerability of Social-Environmental Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 31(1), 365-394.

- Eckhom, P. (1975). The deterioration of mountain environments. *Science*, (189), 764-770.
- Eriksen, P. J. (2008). What is the Vulnerability of a Food System to Global Environmental Change? *Ecology and Society*, 13(2). Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art14/>.
- Eversole, R. (2003). Managing the Pitfalls of Participatory Development: Some Insight from Australia. *World Development*, 31(5), 781-795.
- Folke, C. (2006). Resilience: The Emergence of a Perspective for Social-Ecological Systems Analyses. *Global Environmental Change*, 16(1), 253-267. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002.
- Franco, R. (2007). Elementos para una historia ambiental de la región de la laguna de Fúquene en Cundinamarca y Boyacá. En *Fúquene, Cucunubá y Palacio. Conservación de la biodiversidad y manejo sostenible de un ecosistema lagunar andino*. Bogotá: Fundación Humedales, Instituto Alexander von Humboldt.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- Garzón, E. (2005). *Suelos hidricos del humedal Laguna de Fúquene. Caracterización y delimitación* (Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias), Área de Énfasis en Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Gough, L., Grace, J. y Taylor, K. (1994). The Relationship between Species Richness and Community Biomass: The Importance of Environmental Variables. *Oikos*, (70), 271-279.
- Guzmán Ruiz, A. (2012). *Plantas de los humedales de Bogotá y del Valle de Ubaté*. Bogotá: Fundación Humedales, Instituto Alexander von Humboldt, Fondo Hugo de Vries.
- Guzman-Ruiz, A., Hes, E. y Schwartz, K. (2011). Shifting Governance Modes in Wetland Management: A Case Study of Two Wetlands in Bogotá, Colombia. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 29(6), 990-1003.
- Heiser, C. (1977). The Totorá (*Scirpus californicus*) in Ecuador and Perú. *Economic Botany*, 32(3), 222-236.
- Holling, C., Gunderson, L. y Ludwig, D. (2002). In Quest of a Theory of Adaptive Change. En *Panarchy*. Washington, D.C.: Island Press.
- Jax, K. (2010). *Ecosystem functioning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Luteyn, J. (1992). Páramos: Why Study Them? En *Paramo: An Andean Ecosystem under Human Influence*. Londres: Academic Press.
- Madrid, C., Cabello, V. y Giampietro, M. (2013). Water-Use Sustainability in Socioecological Systems: A Multiscale Integrated Approach. *BioScience*, 63(1), 14-24.
- Martínez Crovetto, R. (1981). Plantas utilizadas en medicina en el NO de Corrientes. *Miscelánea*, (69). Fundación Miguel Lillo. Recuperado el 21 de marzo del 2015, de <http://lillo.org.ar/>.
- Matthews, J. y Le Quesne, T. (2008). *Adapting Water to a Changing Climate: An Overview*. World Wildlife Fund-wwf International and HSBC Climate Partnership.
- Mclain, R., Poe, M., Biedenweg, K., Cervený, L., Besser, D. y Blahna, D. (2013). Making Sense of Human Ecology Mapping: An Overview of Approaches to Integrating Socio-Spatial Data into Environmental Planning. *Human Ecology*, (41), 651-665.
- Meffe, G. (2002). *Ecosystem Management Adaptive, Community-Based Conservation*. Washington, D.C.: Island Press.
- Middleton, B. (2002). *Flood Pulsing in Wetlands Restoring the Natural Hydrological Balance*. Nueva York: Wiley.
- Mostert, E. (2003). The Challenge of Public Participation. *Water Policy*, 5(2).

- Nelson, D., Adger, W. y Brown, K. (2007). Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework. *Annual Review of Environment and Resources*, (32), 395-419.
- Nicholson, E., Mace, G., Armsworth, P., Atkinson, G., Buckle, S., Clements, T. y Milner-Gulland, E. (2009). Priority Research Areas for Ecosystem Services in a Changing World. *Journal of Applied Ecology*, (46), 1139-1144.
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, (325), 419-422.
- Palmer, M. (2010). Water Resources: Beyond Infrastructure. *Nature*, (467), 534-535.
- Reed, M. (2008). Stakeholder Participation for Environmental Management: A Literature Review. *Biological Conservation*, 141 (10), 2417-2431.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2ª. ed.) Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias.
- Ruiz, C., Bonilla, A. y Páez, C. (2015). The Vulnerability of Agricultural and Livestock Systems to Climate Variability: Using Dynamic System Models in the Rancheria upper Basin (Sierra Nevada de Santa Marta). *eco.mont*, 7(2).
- Sendzimir, J., Reij, C. y Magnuszewski, P. (2011). Rebuilding Resilience in the Sahel: Regreening in the Maradi and Zinder Regions of Niger. *Ecology and Society*, 16(3).
- Shipley, B., Keddy, P., Moore, D. y Lemky, K. (1989). Regeneration and Establishment Strategies of Emergent Macrophytes. *The Journal of Ecology*, 77(4), 1093-1110.
- Sidle, R., Benson, W., Carriger, J. y Kamai, T. (2013). Broader Perspective on Ecosystem Sustainability: Consequences for Decision Making. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(23), 9201-9208. doi: 10.1073/pnas.1302328110.
- Stenseke, M. (2009). Local Participation in Cultural Landscape Maintenance: Lessons from Sweden. *Land Use Policy*, 26(2), 214-223. doi:10.1016/j.landusepol.2008.01.005
- Useche, F. (2003). Optimización de la operación hidráulica de la laguna de Fúquene. En Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, *Memorias del comité de expertos para la recuperación de la laguna de Fúquene* (pp. 57-65).
- Velásquez, F. y Gonzalez, E. (2003). *¿Qué ha pasado con la participación ciudadana en Colombia?* Bogotá: Fundación Corona, Fundación Social, Fundación Foro Nacional por Colombia, Corporación Región, Corporación Transparencia por Colombia, Corporación Viva la Ciudadanía, Banco Mundial y Cider - Universidad de los Andes.
- Ventanna Systems (s.f.). Recuperado de <http://vensim.com/vensim-software/>
- Walker, B. y Salt, D. (2006). *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Washington, D. C.: Island Press.
- Walker, B. y Salt, D. (2012). *Resilience Practice Building Capacity to Absorb Disturbance and Maintain Function*. Washington, D. C.: Island Press.
- Wilson, J., Holst, N. y Rees, M. (2005). Determinants and Patterns of Population Growth in Water Hyacinth. *Aquatic Botany*, (81), 51-67.
- Xie, Y. y Yu, D. (2003). The Significance of Lateral Roots in Phosphorus (P) Acquisition of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Aquatic Botany*, 75(4), 311-321.
- Youngner, V. B. y Goodin, J. R. (1961). Control of *Pennisetum clandestinum*, Kikuyugrass. *Weeds*, 9(2), 238-242.