

## IMPLICANCIAS DE LA RESILIENCIA ESPACIAL EN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES EN CUENCAS NORANDINAS

**CASTRO-DÍAZ, Ricardo**

Universidad de Buenos Aires. Instituto de Geografía “Romualdo Ardissonne”. Programa de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.

ircastrrod@unal.edu.co

**Resumen:** La acelerada transformación de los ecosistemas naturales en el mundo, ha traído graves consecuencias sobre la prestación de los servicios ambientales a familias campesinas. Como resultado de las condiciones históricas del mercado, los espacios humanos han entrado en conflicto con los elementos sistémicos que soportan la provisión de agua en la laguna de Fúquene. Para abordar los procesos que llevan al desabastecimiento de agua, la desertificación de la cuenca y la desecación de la laguna, este artículo tiene como objetivo el análisis de la dimensión biótica, tenencia de la tierra, los modos de producción, la conectividad social y la vulnerabilidad como agrupantes de elementos dinamizadores del sistema. Como resultado se encuentra que, indicadores de Agotamiento, Desertificación y Vulnerabilización, están en el umbral crítico que definirá el futuro del flujo natural del agua.

**Palabras clave:** Sistemas socioecológicos – laguna de Fúquene – Servicios ambientales – estructura sistémica – provisión de agua.

## SPATIAL RESILIENCE IMPLICATIONS FOR THE ENVIRONMENTAL SERVICES SUPPLY IN NORTH-ANDEAN WATERSHEDS

**Abstract:** The intense transformation of the world’s natural ecosystems has got serious consequences to environmental services supply to farmer families. In consequence of the market historical forces, the human territories conflict with the systemic elements that support the water supply in the Fuquene lake. To understand the causing processes of the water shortage, the desertification of the watershed and the desiccation of the lake, the objective of this article analyze the biotic, land tenure, means of production, social connectivity and vulnerability as dimensions grouping of the dynamic element of this system. This research finds out the Depletion, Desertification and Vulnerabilization indicators, they are in the critical threshold of the water natural flux in the future.

**Key words:** Socioecological systems – Fuquene lake – Environmental services – Systemic Structure – Water supply.

## Introducción

Los servicios ambientales son provistos por la naturaleza a través de los flujos ecológicos (MEA 2005). Sin embargo, durante las últimas décadas, los factores de crecimiento económico de la sociedad, han llevado a la reducción de las capacidades de la provisión de los servicios de agua en el mundo, y especialmente, en la zona andina de Latinoamérica. Estos ecosistemas no pueden ser analizados sin considerar la fuerte relación y presión que ejercen las comunidades moradoras y sus formas de producción, bien sea la agricultura, el pastoreo, la minería artesanal u otras que conviven dentro del mismo espacio, y que afectan la prestación de los servicios ambientales.

La fuerte dependencia de la sociedad sobre el capital natural implica que el concepto de ecosistema, involucra al individuo humano y sus relaciones de vida con el entorno (Costanza y Farber, 2002). Dentro de estos territorios andinos, los condicionantes del sistema abierto se pueden concretar como componentes que fuerzan a un sistema a comportarse de cierto modo e incluso a cambiar su estructura e identidad. Es por esto, que se requiere de establecer los nexos entre la comunidad rural y su entorno, más allá de la interacción diaria, sino de sus implicaciones en la continuidad de un servicio ambiental relevante en el mundo globalizado.

Algunos estudios han observado la directa relación entre vulnerabilidad y servicios ecosistémicos para la producción de alimentos (Bayliss-Smith, 1991; Beier, Patterson et al., 2008) y provisión de agua (Voeroesmary, Green et al., 2000), haciendo evidente la retroalimentación de impactos asociados al actual sistema de mercado. Esta investigación parte de las consideraciones del pensamiento complejo y su visión desorganizadora de sistemas abiertos (Morin y Pakman, 1998; Cruz et al., 2006; García, 2006) y del estudio de la resiliencia espacial como matriz estructurante de las relaciones complejas en el territorio (Walker, 2004; Cumming, 2011).

El concepto de *resiliencia* va más allá de la capacidad de resistencia del sistema, ya que implica explicar y prever el nivel de equilibrio y desequilibrio que enfrenta la estructura del sistema del ecosistema del ser humano como modificador y reacomodante. La resiliencia se define, entonces, como la capacidad de un sistema de adaptarse a las perturbaciones, siempre y cuando no extralimiten el umbral que caracteriza al sistema (Gunderson, Holling et al., 2007; Carpenter et al., 2009; Cumming, 2011; Cumming, 2011b).

Nyström y Folke (2001) usaron el término de *resiliencia espacial* en referencia a “la capacidad dinámica para enfrentar la perturbación y evitar los umbrales en escalas más amplias que los sistemas individuales”. Este concepto ha evolucionado desde el término aplicado al ecosistema natural hasta el análisis de los procesos históricos y funcionales de un socioecosistema. Cumming (2011) define la resiliencia espacial como “las formas en que la variación espacial en elementos relevantes, tanto dentro como fuera del sistema de interés, influencia (y es influenciada por) la resiliencia del sistema a través de múltiples escalas espaciales y temporales”. Este concepto por tanto espera responder a un campo más amplio y complejo de lo que se presenta como vulnerabilidad social y resiliencia ecosistémica, llegando al espectro de análisis que

incluye la funcionalidad a nivel escalar a través del análisis histórico de los procesos.

A partir de las consideraciones teóricas sobre resiliencia espacial, se construye el sistema territorial de la laguna de Fúquene, localizado al norte del Departamento de Cundinamarca en Colombia. Existen diferentes estudios técnico-ambientales de las instituciones administradores de cuencas y otras consultorías de este sector (JICA-CAR, 2000); pero, es incierto el estado actual de las comunidades rurales en la línea socioeconómica, patrones de interacción social, participación comunitaria y liderazgo, que son aspectos débiles de comunidades vulnerables ante el riesgo inminente de la pérdida de cualquier servicio ambiental.

Para enfrentar esta situación, se realizaron durante los años 2012 y 2013, una serie de relevos sistémicos a través de historias de vida, entrevistas semiestructuradas, encuestas, el modelamiento espacial como fundamento del análisis geográfico, buscando la relación de los principales elementos sistémicos del servicio ambiental de agua, con el objetivo de analizar la Resiliencia Espacial para la prestación del Servicio Ambiental de Agua en la cuenca de la laguna de Fúquene.

### **Área de estudio**

La zona de estudio de la cuenca de la laguna de Fúquene se encuentra localizada a 70 kilómetros noreste de la ciudad de Bogotá (Colombia), entre 5°27'49.97"N 73°44'34.97"O y 5°14'41.49"N 73°49'25.33"O con un área aproximada de 86.274 ha de las cuales 2.805 ha corresponden a la laguna de Fúquene.

Dentro de esta zona de análisis (sur de la cuenca de la laguna de Fúquene) también se encuentran la laguna de Cucunubá de 210 ha y la laguna de Palacios de 30 ha, que hacían parte del antiguo sistema de lagunas aportantes de la cuenca. Durante la invasión española, se indicó que el tamaño de la laguna era de 16 leguas cuadradas (Santos, 2000) y se redujo para el año 1880 a 3200 ha (Franco, 2007) y que en continuas sequías e inundaciones ha cambiado su tamaño y forma. Sin embargo, las condiciones ambientales a las cuales la laguna de Fúquene se encuentra expuesta son parte del cambio climático y se ven afectadas por aquellos impactos derivados del cambio global, tales como sequías, inundaciones, desertificación, entre otros. Estos elementos antropogénicos son perturbaciones al sistema lacustre y generan cambios en las zonas altas de captura de agua por actividades productivas condicionadas al sistema económico actual.

La historia de la laguna de Fúquene se ha visto marcada por la deforestación indígena sobre los 3.000 a.p., la fuerte explotación maderera traída desde Europa por los colonos españoles y numerosos obras de desecamiento llevadas a cabo por el General París, la Casa Julius Berger Konsortium, Compañía de Usuarios de Fúquene, el Proyecto Potess y la Empresa del Desagüe de la Laguna de Fúquene y Pantanos Adyacentes (Santos, 2000). La deforestación continuada durante la colonia y la república extinguió la mayor porción de bosque nativo, dada su utilidad como carbón doméstico o en la cocción de tejas y bloques para cubrir el crecimiento de algunas villas de la

región. Ante la falta de especies maderables, el pino y el eucalipto son plantados, especies que reducen la capacidad de infiltración y aumentan el escurrimiento y arrastre de nutrientes hacia las zonas más bajas (Franco, 2007).

Las actividades económicas se fueron centrando en el aprovechamiento de las tierras ganadas a la laguna para la explotación agrícola y la expansión de pastos para ganado lechero, que surtiría la creciente demanda de este producto por toda la sabana de Bogotá (Santos, 2000). Esto aceleró el cambio de bosques primarios a zonas de pastura por toda la región, y se implantó un modelo comparativo para la producción de leche y competitivo por la cercanía a la ciudad de Bogotá. Hoy día las principales actividades económicas son la agricultura de papa, arveja y otras hortalizas para el consumo nacional, el pastoreo de ganado vacuno extensivo y la explotación de carbón mineral para su transformación en carbón tipo coque de amplio margen exportador (JICA-CAR, 2000; PBOT, 2000; CAR, 2006).

Durante los años siguientes al inicio de la república, la zona era corredor de paso entre las peregrinaciones religiosas a la Virgen de Chiquinquirá, desde Bogotá, y comprometía un fuerte polo turístico ya que el ferrocarril cruzaba por este sector, impulsándolo como polo de migración hasta mediados del siglo XXI (Franco, 2007). El aumento de la población entre de las últimas décadas (DANE, 2005), dio paso a la reconversión del uso del suelo que permitiera la explotación de los recursos naturales disponibles para el sostenimiento económico de las familias campesinas.

Dados los sucesos en la economía nacional, el desempleo, la concentración demográfica, los nuevos requerimientos de mejora en la calidad de vida y los eventos climáticos, aumenta la migración a las ciudades cercanas como Chiquinquirá y, en especial, a la ciudad de Bogotá, que pasó de tener 325.650 en 1938 a 6.276.428 en el año 2000 (DANE, 2005). El conflicto interno de Colombia en 1945, llevó a la desocupación de las zonas rurales en el llamado “éxodo rural” lo que causó la expansión urbana (Steiner, 2008) y la deslocalización de individuos en edad productiva del campo a la ciudad.

Esta desocupación de las zonas rurales a la ciudad ha sido principalmente estudiada bajo la temática de la violencia en Colombia (Torres, 1963; Orjuela, 2005; Builes et al., 2008) pero existen estudios que permiten descubrir esta situación migrante voluntaria (Flórez y Méndez, 2000; Martínez Gómez, 2002) y sobre los problemas estructurales del campesinado en el país a partir de 1950 (Pérez Ramírez, 1959; Silva y Guataquí, 2007); la migración que generó un rompimiento de los lazos intrafamiliares y llevó a la pérdida de tradiciones, conectividad y trabajo comunitario autoorganizado.

Según los estudios vigentes (JICA-CAR, 2000; Santos, 2000; Franco, 2007), se considera a las múltiples obras de desecación como la causa de la reducción de la laguna de Fúquene y sus sistema lacustre contextual, sin embargo, algunos de estos procedimientos no tuvieron mayor éxito o no pudieron ser llevados a cabo más allá del inicio de alguna construcción de infraestructura (Santos, 2000). Se requiere, por tanto, realizar un análisis sobre la complejidad del desabastecimiento de agua a través de los umbrales sociocomunitarios, biofísicos, económicos y territoriales de esta cuenca, y

cómo estos fenómenos se relacionan entre sí y el sistema, reduciendo la resiliencia espacial para la producción del servicio de agua.

### **Materiales y método**

A partir de los elementos de la resiliencia espacial se analiza la evolución de los fenómenos geográficos dentro de la cuenca que llevan a la reducción del servicio ambiental de provisión de agua. A continuación se detallan las cuatro etapas principales.

En la primera etapa se realiza la abstracción de la cuenca de la laguna de Fúquene en un sistema abierto a través cuatro líneas: a) análisis de complejidad a partir de las características del pensamiento complejo (Morin y Pakman, 1998; Cumming y Collier, 2005; Cruz et al., 2006); b) la conceptualización de sistemas socioecológicos y resiliencia espacial (Cumming y Collier, 2005; Norberg y Cumming, 2008); c) los postulados del capital natural y los servicios ambientales (Costanza et al., 1997; Newcome, Provins et al., 2005) y d) las implicaciones de la cohesión social, el individualismo y el capital social en comunidades rurales (Woolcock y Narayan, 2000; Benito, 2003; Flores y Rello, 2003; Astelarra, 2007; Beirute, 2009).

La segunda etapa fue determinar la identidad del sistema a través del análisis de los elementos intrasistémicos, los contornos permeables y la estructura. Se realizaron cuatro trabajos de campo en relación con los ciclos de perturbación por inundación y sequía (periodo 2011-2013) en donde se realizaron 25 entrevistas y 102 encuestas a las unidades familiares ubicadas a las cercanías de los aportantes de la laguna de Fúquene. El análisis de frecuencias señala en porcentaje de las 102 familias encuestadas o del área 86.274 ha del total de la unidad espacial de la cuenca (100%).

La tercera etapa recopila los resultados de los datos obtenidos en campo y permite establecer la estructura del sistema. Para esto se estudiaron cuatro condiciones sistémicas de cada uno de los elementos analizados como determinantes biofísicas, estructurantes del sistema histórico, forzantes del mercado y reconfigurantes del territorio. En esta evaluación se construyó un indicador llamado “relevancia activa absoluta” (RAA), resultante de la valuación de la participación de cada elemento como condicionantes del sistema.

La cuarta etapa define los contornos permeables a través de la construcción de una estructura por niveles comunicados entre sí (De Green et al., 1996), donde los elementos son agrupados por el índice RAA por cada nivel, y se encuentra la dinámica de la estructura y los umbrales sistémicos para la prestación del servicio ambiental de aprovisionamiento de agua.

### *Datos*

El análisis de los umbrales requiere conocer cuáles son los estados actuales de los elementos que construyen el sistema estudiado (Walker, 2004). Se utilizaron fuentes de información primaria y secundaria, para conocer los temas “emergen-

tes” y que tengan un impacto sobre la provisión de agua como servicio ambiental.

Para afrontar los problemas asociados al escalamiento en Geografía (Li y Cai, 2005) se realiza la corrección, normalización y consideración de rangos máximos y mínimos, sobre los cuales las frecuencias puedan ser analizadas correctamente (Giampietro y Mayumi, 2000; Montague y Aslam, 2001). La Tabla 1 muestra un consolidado sobre los elementos de análisis, los datos y fuentes utilizadas y la consideración del indicador.

Tabla 1: Datos utilizados para el análisis de los elementos intrasistémicos.

<b>Elemento</b>	<b>Fuentes</b>	<b>Relación analizada</b>	<b>Indicador</b>
<i>Cobertura y uso del suelo</i>	Encuesta y González, Saldarriaga et al. (2010).	Precipitación anual acumulada y demanda anual de agua por cobertura vegetal.	<b>Agotamiento</b>
<i>Tecnificación Agroquímicos y Formas de Producción</i>	Encuesta y JICA-CAR (2000)	Precipitación anual acumulada, demanda de agua por tipo de riego y uso de agroquímicos por tipo de cultivo.	<b>Contaminación</b>
<i>Diversificación Agrícola</i>	Encuesta	Producción familiar por monocultivos y dependencia del riego al seco.	<b>Dependencia</b>
<i>Fragmentación de la Tierra</i>	Encuesta	Presión sobre la propiedad de la tierra.	<b>Competencia</b>
<i>Vulnerabilidad Socio-comunitaria Rural.</i>	Encuesta	Nivel de vulnerabilidad sobre la unidad familiar asociada a la escasez del servicio ambiental de agua, en labores agrícolas y de consumo humano.	<b>Vulnerabilización</b>
<i>Unión Comunitaria</i>	Encuesta	% de Familias vinculadas a la J.A.C.	<b>Desagrupamiento</b>
<i>Colectivismo</i>	Encuesta	Nivel de confianza de las familias al líder comunitario, J.A.C. y vecinos.	<b>Desconfianza</b>

<i>Patrones de Interacción Social</i>	Encuesta.	Autocoordinación comunitaria pre- y postevento extremo.	<b>Descoordinación</b>
<i>Migración</i>	Encuesta y SIGPAD (2013)	Éxodo rural (estructural) y Despoblación por evento (pulso).	<b>Despoblamiento</b>
<i>Represas y desecamiento.</i>	Franco (2007), Vidal y Pérez (2007), Santos (2000), JICA-CAR (2000)	Nivel de represamiento y desecamiento del sistema hídrico.	<b>Modificación</b>
<i>Condiciones de suelo y clima</i>	CAR (2006; 2012; 2012b), IGAC (2000)	Escorrentía y clima de la cuenca.	<b>Desertificación</b>
<i>Inundaciones y sequías</i>	Encuesta, Desinventar (2013), SIGPAD (2013)	Magnitud de evento extremo en menos de dos años.	<b>Pulsación</b>

## Resultados y discusión

Los resultados fueron validados y revisados durante los diferentes relevos sistémicos, permitiendo cambios en el ‘instrumento de medición’ y en la estructura del sistema. A continuación se analizan los resultados obtenidos.

### *Análisis de elementos: Dimensiones de sistema y Relevancia Activa Absoluta.*

La definición de los elementos (o temas de estudio) se cuestiona desde la funcionalidad y el utilitarismo filosófico (Skorupski, 1989) y por lo tanto no es relevante para el análisis distinguir un elemento desde una perspectiva estática. Se opta por

tanto, que de las observaciones hechas durante los relevos, los temas emergentes sean incluidos en su totalidad y luego asignarles un valor de ponderación de acuerdo a su relevancia activa dentro de sistema.

La Fig. 1 muestra los resultados obtenidos en las etapas metodológicas 2 y 3. En ésta se observa la dimensión a la cual pertenece cada elemento que provee la primera aproximación de consideración fenomenológica de cada elemento. La Relevancia Activa Absoluta –RAA, muestra el valor obtenido a partir de la matriz de condicionantes del sistema socioecológico (i.e. número en la ilustración del nivel superficial “6”, al nivel central “10”)

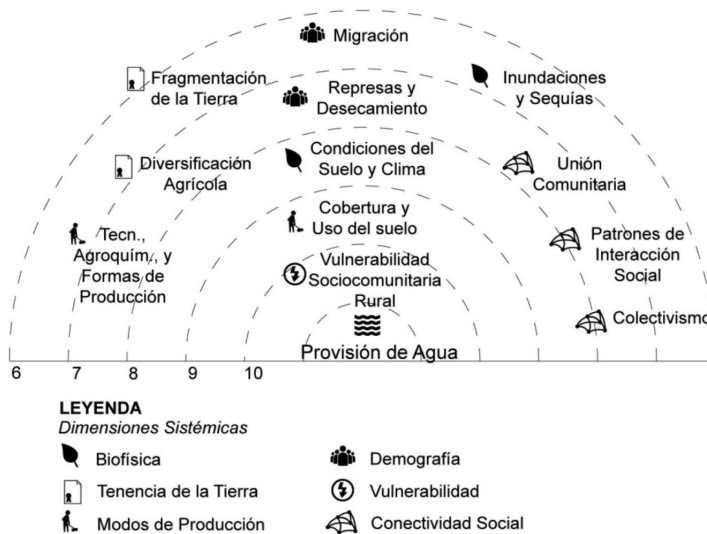


Fig. 1: Estructura del sistema. Fuente: Elaboración propia.

#### *Frecuencia de los elementos y análisis de umbrales del sistema.*

El análisis permite conocer la estructura del sistema, es decir, como se encuentra relacionado a partir de los elementos emergentes que responden a la problemática de prestación de agua del sistema estudiado. Sin embargo, como de un sistema se trata, existe la necesidad de conocer la fuerza o potencia con que estos elementos se presentan en el sistema socioecológico que intermedia la provisión de agua. Para esto, el análisis de frecuencias de la estadística tradicional es el que se aproxima mejor a la definición de la potencia de los elementos.

Los valores serán mostrados como porcentajes (%) en la Fig. 2 provenientes del análisis de los elementos, y aunque bajo ningún caso se pretende generalizar sobre



las heterogeneidades de sistemas, se apela al principio de patrón de singularidades (Morin y Pakman, 1998). La evidencia sobre el estado actual de la prestación del servicio ambiental de agua, se puede observar que los umbrales –aquí señalados como 100%–, necesitaron un profundo análisis sobre indicadores dinámicos que integren los procesos complejos del sistema de la laguna de Fúquene.

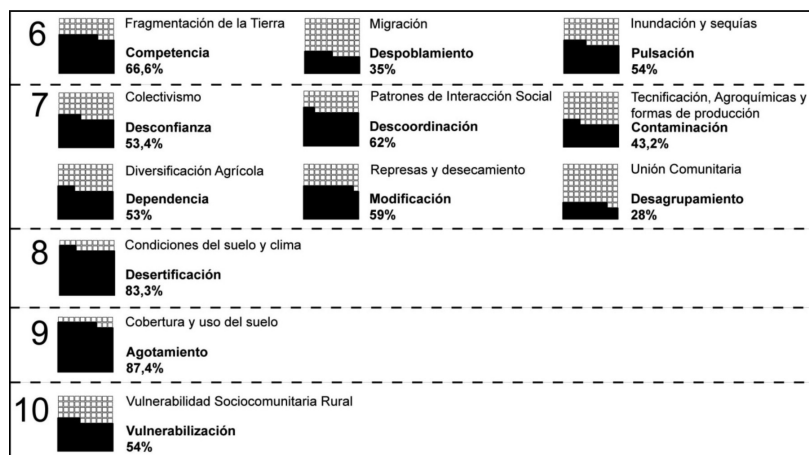


Fig. 2: Frecuencia de los elementos y análisis de umbrales del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Del nivel 6, se puede observar que tanto la *competencia* (66.6%), el *despoblamiento* (38%) y la *pulsación* (54%), explicitan el contorno de este sistema con el contexto que le circunda. Este señala las presiones sobre la tierra que generan una fragmentación de la propiedad; para Machado (1998) esta situación, que se extiende por todo el país, hace referencia a las condiciones de habitabilidad de la región andina. En este tema, la estructura del campesinado logra explicar que las transformaciones que llevan la necesidad de generar más y mejores productos para la economía, y como ejercen presión sobre las dinámicas propias de migración, entre otras (Pérez Ramírez, 1959).

Sobre el nivel 7, se encuentran inmersos los elementos que reconocen a la comunidad como un organismo vivo, que depende su existencia sobre los ambientes de unión y confianza entre sus integrantes. La *desconfianza* (53.4%) marca la figura del colectivismo, como opositor del individualismo –no metodológico, pero sí fenomenológico (Benito, 2003), se espera resuelva problemas asociados a las desigualdades emergentes, tales situaciones sobre el género (Astelarra, 2007) y la seguridad ciudadana (Beirute, 2009). El *desagrupamiento* (28%) es en realidad, la falta de organización de problemas comunes de la comunidad; las posibilidades estatales de solucionar los problemas de estas poblaciones será ampliamente costosa en términos económicos y

programáticos, ya que el trabajo con poblaciones fragmentadas desvirtúa las bases de gobernabilidad y gobernanza (Colomer y Negretto, 2003). La *descoordinación* (62%), indicador basado en los patrones de interacción social, reconoce; las implicaciones directas sobre el manejo de la cuenca y del coaccionar del grupo humano sobre el servicio ambiental; ya que, las cuestiones que configuran el trabajo comunitario se encuentran reducidas a la responsabilidad del estado, pero la comunidad desconoce los beneficios de las actuaciones comunitarias que mejoran las condiciones del suministro del recurso en la ruralidad (Beccar et al., 2002). La autocoordinación es el peldaño estructural que las poblaciones de esta región deben alcanzar para poder enfrentar, mitigar y adaptarse en un mundo cambiante, que se identifica claramente, en los cambios sistémicos normales, ahora reconocido como adaptación al cambio climático (Adger et al., 2003).

Los elementos de tecnificación, agroquímicos y formas de producción y la diversificación agrícola, que son explicados a través de la *dependencia* (53%) sobre la precipitación dadas su condiciones de riego al secano y la *contaminación* (43.2%) sobre los campos de cosecha, tienen fuertes implicaciones sobre la calidad y cantidad de agua, ya que la primera, señala el nivel de dependencia de la producción agrícola campesina a los eventos extremos meteorológicos y, la segunda, señala el costo ambiental sobre la calidad de agua por uso de agroquímicos. Sobre estos cuestionamientos, se debe considerar que el monocultivo (para la cuenca de Fúquene se refiere a la actividad pecuaria lechera) toma fuerza. Este proceso de baja diversidad agrícola se asocia con la nutrición y salud de las familias (González, 2011) y en impactos sobre el recurso suelo (Andow, 1983; Lal, 1997).

Por otro lado, el nivel de *modificación* (59%), que explica al elemento represas y desecamiento, relata la historia del control antrópico sobre este sistema. Los múltiples intentos de desecamiento de la laguna, a través del aumento del lecho fluvial saliente del río Suárez y los terrenos ganados a la laguna, significaron la apropiación de tres veces el tamaño de la laguna, en pantanos y humedales, vitales para el ecosistema (Santos, 2000; Franco, 2007); esta reducción del área de inundación y su consiguiente ocupación, afecta el sistema de la cuenca en cuanto se bloquea el flujo natural de agua. Lo que implica más adelante inundaciones en la parte baja de la cuenca y el desplazamiento de comunidades vulnerables. De igual forma, la creación de represas, que responde a la expansión urbana (Gilbert, 1996; Aide y Grau, 2004), modifica el flujo normal de sedimentos y, aunque en un principio logra reducir el riesgo de desabastecimiento, tiene efectos sobre el flujo natural de agua, impactos sociales asociados al desplazamiento, y pasivos ambientales a lo largo de las cuencas (Suárez et al., 1984; McCully e Isaurralde, 2004).

En el nivel 8 las condiciones de suelo y clima, explicadas a través del concepto de *desertificación* (83,3%), hace referencia a las condiciones humanas que llevan a una transformación física de su entorno inmediato, a un sistema en estrés hídrico continuo. Este concepto es ampliamente estudiado desde las perspectivas antropogénicas sobre la agricultura (Mainguet, 1991), la deficiente administración del territorio (Thomas y Middleton, 1994) y su impacto en los ecosistemas (MEA, 2005). Cabe anotar que la

desertificación está basada en una estructura biofísica que ve aumentada sus procesos erosivos, aunque por sí sola es un sistema en avance de desertización (Thomas y Middleton, 1994). Para esta cuenca, los valores del coeficiente de escorrentía obtenidos a través del método Cook (Hudson, 1997; Ríos et al., 2008), permiten reconocer a través de la pendiente del terreno usando un Modelo Digital de Elevación (MDE), y las unidades de suelo (clima, relieve, profundidad y permeabilidad) (IGAC, 2000), que la escorrentía media es de 4.4 m<sup>3</sup>/s en los valores medianos de la cuenca. Principalmente estos valores se presentan para suelos profundos y de permeabilidad media, lo que indica que el umbral de saturación del suelo (en promedio) se alcanza bajo lluvias de larga duración y con una media anual de 800 mm (PBOT, 2000). Además, el clima medio en la región es de tipo frío seco (IGAC, 2000), lo que explica su tendencia a la sequía.

Esta aparente disparidad de un ambiente seco con lluvias extensas, no es para nada disímil, ya que la erosión del suelo, se ve aumentada en zonas como la cuenca de la laguna de Fúquene, debido a su relieve montañoso, de pendientes superiores al 30%. Esto implica un 'lavado' del suelo, con alto arrastre de sedimentos y pérdidas importantes de suelo. Los factores principales de esta situación aparecen por el sobrelaboreo de las tierras, la pérdida de cobertura vegetal que proteja el suelo, la tala y quema de biomasa para el cultivo y el sobrepastoreo que lleva la praderización de estos ambientes (MEA, 2005).

El nivel 9 guarda la relación vital de las condiciones biofísicas de la cuenca y la intervención humana: el *agotamiento* (87,4%) del recurso agua. Las coberturas del suelo que causan esta situación, para la región, se dan en un 88% entre pasturas y cultivos rotativos (JICA-CAR, 2000), lo que implica una eliminación de las coberturas vegetales primarias de casi un 90%. Estos valores tienen un sentido determinante en la relación del ser humano con la naturaleza, ya que el cambio generado, ha sido dado a partir de unos intereses del mercado regional, como zonas de producción lechera (PBOT, 2000). Dadas estas condiciones, la fuerza de los destinos mercantiles de los territorios rurales se da bajo el alto impacto a los ecosistemas de provisión de agua (Castro, 2014) (ej. la extracción del carbón *coque* en esta región (CAR, 2006)).

En el nivel 10 se encuentra el elemento que obtuvo la mayor relevancia activa absoluta, lo que implica un análisis profundo, dado que este elemento no tiene una influencia evidente sobre el sistema socioecológico que genera el sistema ambiental de agua. La *vulnerabilización* (54%) muestra que más de la mitad de las familias implicadas en este estudio, conviven con situaciones que afectan directamente su calidad de vida, e indudablemente les ubica como poblaciones en riesgo (Minujin, 1999). Sin embargo, este análisis del elemento de vulnerabilidad sociocomunitaria rural, va más allá del efecto de riesgo que considera el riesgo catastrófico en poblaciones, sino que se sitúa en estricta relación con la resiliencia espacial que soporta la provisión del servicio de agua.

Se considera que la vulnerabilidad y la resiliencia no son conceptos distintos, sino construcciones integradas. Para Adger (2006), la vulnerabilidad, en resiliencia espacial, reconoce las construcciones anteriores sobre las amenazas que se ciernen

sobre una comunidad y, además, genera una ampliación de este concepto, al considerar que la vulnerabilidad está intrínsecamente asociada a la capacidad de adaptación y la gobernanza, es decir, explicita el aumento de la gestión y la acción participativa comunitaria ante eventos que le representen una amenaza conocida.

En este estudio, los factores analizados (Tabla 1) que vulnerabilizan a la comunidad hacen parte de una construcción cotidiana de las familias y su contexto. Estas situaciones vulnerabilizantes son comunes y no son reconocidas por ellos como elementos que dan paso a una amenaza en específico, situación que representa una dificultad de tomar decisiones que acarreen responsabilidades con su entorno ambiental, y que requieran de cambios en sus formas de hacer uso del territorio.

La relación vulnerabilidad y servicio ambiental de agua, se da en la más fuerte y acelerada retroalimentación, es decir, que a menor calidad o cantidad de agua, el riesgo de desabastecimiento aparece y la vulnerabilidad queda al descubierto. Con tasas de retorno de escasez cada 5 años para el año 2000 (JICA-CAR, 2000), la situación se torna evidente, y de las acciones que se tomen, junto a respuestas sobre todos los elementos sistémicos (Fig. 1), la vulnerabilidad será disminuida –por lo menos aquella relacionada con el servicio de provisión de agua-, y redundará en mejoras para la vida de los campesinos andinos.

## Conclusiones

La construcción del sistema complejo de la laguna de Fúquene, parte de la necesidad de entender los procesos involucrados en la prestación del servicio ambiental de agua y los factores que impactan su abastecimiento. Para esto, se utilizaron métodos que abordan la complejidad y los sistemas socioecológicos a través de la resiliencia espacial como característica clave para entender los fenómenos que subyacen en este territorio rural.

Los elementos intrasistémicos estudiados, sugieren el análisis de las dimensiones biofísica, demográfica, la tenencia de la tierra, los modos de producción, la conectividad social y la vulnerabilidad en estas comunidades andinas. Luego se agruparon en niveles de acuerdo al indicador relevancia activa absoluta, que explica la dinámica del sistema en el recurso hídrico.

Cada proceso fue considerado dentro de umbrales sistémicos, en donde los indicadores más relevantes de *desertificación* y *agotamiento* (nivel 8 y 9) del están alcanzando un punto máximo crítico; mientras que la *vulnerabilización* (nivel 10), muestra un riesgo importante sobre las condiciones que median entre el ecosistema y la comunidad rural.

La amenaza del desabastecimiento del recurso hídrico en la cuenca de la laguna de Fúquene se presenta por factores humanos como coadyuvantes del proceso natural de desertización de la zona (Franco, 2007). El umbral sistémico para la prestación del servicio de agua está a punto de ser alcanzado, tanto que las estimaciones sobre el periodo de retorno cada 5 años de déficit de agua, implica la

falta de cerca de 16 millones m<sup>3</sup> al año, lo que implica que aunque las lluvias sean extensas, no hay suficientes área de captura y retención del agua, efecto de la devastación de las coberturas vegetales originarias. Si bien aún, persisten parches boscosos en la región, corresponden a pequeños relictos de bosque natural, pero en su mayoría son coberturas asociadas a especies foráneas como el eucalipto (Género *Eucalyptus*) y el pino (Género *Pinus*) que fueron plantados en la región, dado su rápido crecimiento y fácil utilización en el vallado de fincas y en el hogar (Franco, 2007). De por sí, los árboles de pino forman de cubiertas que impiden la infiltración del agua en el suelo (Butcher, 1977; Hacke et al., 2000; Gerke et al., 2001) y su rápido crecimiento, tiene amplia distribución en la zona (Franco, 2007).

Los elementos de este sistema son el resultado de prácticas asociadas a las formas de apropiación tradicional y del mercado global, y aparecen en respuesta a los continuos desecamientos, modificaciones, cambios y transformaciones que tuvieron lugar en los terrenos de la laguna de Fúquene. Es de esperarse que la respuesta para aumentar la resiliencia espacial de estas comunidades a la escasez del agua, las continuas inundaciones y el sinfín de situaciones contrapuestas que viven continuamente, pueda darse sobre la reconstrucción de un tejido social, una red que logre resistir a los embates del cambio climático, una capacidad resiliente ante el cambio global (Turner et al., 2003; Metzger et al., 2006).

Mientras los avances del mercado global sobre estas áreas en desventaja competitiva, continúen su camino, el ecosistema que presta el servicio ambiental de agua, colapsará cargando consigo daños irreparables a la producción, la salud, la nutrición y vida cotidiana de los campesinos andinos. En países en vías de desarrollo, el problema del agua se cierne como la escasez y el desabastecimiento de un recurso vital para los seres humanos, su sistema de flujos requiere de soportes humanos y naturales, que reduzcan la inminente desertificación de esta cuenca andina.

## Agradecimientos

El autor agradece la colaboración recibida del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Argentina, el Centro de Estudios Sociales de la Universidad Nacional de Colombia, el Consorcio para el Desarrollo de la Ecorregión Andina, las 250 familias de la cuenca de la laguna de Fúquene en Colombia y a Kathrin Dröppelmann de la Universidad de Múnich.

## Referencias

- Adger, W. N. (2006). "Vulnerability", *Global Environmental Change* 16(3): 268-281.  
Adger, W. N.; Huq, S. et al. (2003). "Adaptation to climate change in the developing world", *Progress in Development Studies* 3(3): 179-195.

- Aide, T.; Grau, H. (2004). "Globalization, migration, and Latin American ecosystems", *Science (Washington)* 305(5692): 1915-1916.
- Andow, D. (1983). "The extent of monoculture and its effects on insect pest populations with particular reference to wheat and cotton", *Agriculture, Ecosystems & Environment* 9(1): 25-35.
- Astelarra, J. (2007). "Género y cohesión social: una primera aproximación", *Género y cohesión social. Documento de trabajo* (16).
- Bayliss-Smith, T. (1991). "Food Security and Agricultural Sustainability in the New Guinea Highlands: Vulnerable People, Vulnerable Places", *IDS Bulletin* 22(3): 5-11.
- Beccar, L.; Boelens, R. et al. (2002). "Water rights and collective action in community irrigation", *Water rights and empowerment*: 1-21.
- Beier, C.; Patterson, T. et al. (2008). "Ecosystem Services and Emergent Vulnerability in Managed Ecosystems: A Geospatial Decision-Support Tool", *Ecosystems* 11(6): 923-938.
- Beirute, T. (2009). "Cohesión social y seguridad ciudadana", en Altman, J. (comp.). *Cohesión social y políticas sociales en Iberoamérica*. Quito, Secretaría General FLACSO: 105.
- Benito, L. E. A. (2003). "Fragmentación social, individualización y nuevas desigualdades: ¿ una norma de consumo posfordista?", *Ábaco: revista de cultura y ciencias sociales* (37): 13-28.
- Builes, G. M. G.; Arias, G. M. A. et al. (2008). "Las migraciones forzadas por la violencia: el caso de Colombia", *Ciência & Saúde Coletiva* 13: 1649-1660.
- Butcher, T. (1977). "Impact of moisture relationships on the management of *Pinus pinaster* ait. Plantations in Western Australia", *Forest Ecology and Management* 1: 97-107.
- CAR (2006). Diagnóstico Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica de los ríos Ubaté y Suárez. Plan de Ordenamiento de la Cuenca de los ríos Ubaté y Suárez. C. A. R. d. Cundinamarca. Bogotá, Colombia, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- CAR (2012). Mapa de suelos. Complejo Fúquene, Cucunubá y Palacio. Bogotá, Colombia.
- CAR (2012b). Mapa de la distribución de la precipitación anual. Complejo Fúquene, Cucunubá y Palacio. Bogotá, Colombia.
- Carpenter, S. R.; Folke, C. et al. (2009). "Resilience: accounting for the noncomputable", *Ecology and Society* 14(1 (13)).
- Castro, R. (2014). "Implicancias territoriales de los esquemas de Pago por Servicios Ambientales en Cuencas Norandinas", *Cuadernos de Geografía* 23(1), en prensa.
- Colomer, J. M.; Negretto, G. L. (2003). "Gobernanza con poderes divididos en América Latina".
- Costanza, R.; d'Arge, R. et al. (1997). "The value of the world's ecosystem services and natural capital", *Nature* 387(6630): 253-260.

- Costanza, R.; Farber, S. (2002). "Introduction to the special issue on the dynamics and value of ecosystem services: integrating economic and ecological perspectives", *Ecological Economics* 41(3): 367-373.
- Cruz, L. B.; Pedrozo, E. Á. et al. (2006). "Towards sustainable development strategies: a complex view following the contribution of Edgar Morin", *Management Decision* 44(7): 871-891.
- Cumming, G. (2011b). "A Theoretical Framework for the Analysis of Spatial Resilience", *Spatial Resilience in Social-Ecological Systems*. Springer Netherlands: 35-66.
- Cumming, G. S. (2011). "Conceptual Background on Social-Ecological Systems and Resilience", *Spatial Resilience in Social-Ecological Systems*, Springer Netherlands: 7-33.
- Cumming, G. S.; Collier, J. (2005). "Change and Identity in Complex Systems", *Ecology and Society* 10(1): 29.
- DANE (2005). Conciliación Censal 1985-2005 y Proyecciones de Población 2005-2020. Indicadores Demográficos según Departamento 1985-2020. D. A. N. d. Estadística. Colombia.
- De Green, K.; Kiel, L. D. et al. (1996). *Chaos Theory in the Social Sciences: Foundations and Applications*. Cap. 4-5, University of Michigan Press.
- Desinventar, C. O. (2013). *Sistema de inventario de efectos de desastres*. C. OSSO. Colombia, Corporación OSSO.
- Flores, M.; Rello, F. (2003). "Capital social: virtudes y limitaciones", en Atria, R. et al. *Capital social y reducción de la pobreza en América Latina y el Caribe: en busca de un nuevo paradigma*. Santiago de Chile, CEPAL/Universidad del Estado de Michigan: 203-227.
- Flórez, C. E.; Méndez, R. (2000). "Las transformaciones sociodemográficas en Colombia durante el siglo XX". Banco de La República, Bogotá, Colombia.
- Franco, R. (2007). "Elementos para una historia ambiental de la región de la laguna de Fúquene en Cundinamarca y Boyacá", Franco, L.; Andrade, G. I. (eds.).
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona, Gedisa.
- Gerke, H.; Hangen, E. et al. (2001). "Spatial variability of potential water repellency in a lignitic mine soil afforested with *Pinus nigra*." *Geoderma* 102(3): 255-274.
- Giampietro, M.; Mayumi, K. (2000). "Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: introducing the approach", *Population and Environment* 22(2): 109-153.
- Gilbert, A. (1996). *Mega-City in Latin America*. The United Nations University.
- González, C. G. (2011). "Climate Change, Food Security, and Agrobiodiversity: Toward a Just, Resilient, and Sustainable Food System", *Fordham Environmental Law Review* 22: 493-521.
- González, M. C.; Saldarriaga, G. d. J. et al. (2010). *Estudio Nacional del Agua*. H. y E. A. Instituto de Meteorología. Bogotá, Colombia.

- Gunderson, L. H.; Holling, C. S. et al. (2007). "Resilience in ecosystems, institutions and societies", *Discussion Paper 95*. Estocolmo, Beijer International Institute of Ecological Economics.
- Hacke, U. G.; Sperry, J. S. et al. (2000). "Influence of soil porosity on water use in *Pinus taeda*", *Oecologia* 124(4): 495-505.
- Hudson, N. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*, Food & Agriculture Org.
- IGAC (2000). *Estudio General de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca*. I. G. A. Codazzi. Colombia, IGAC.
- JICA-CAR (2000). "El estudio sobre el plan de mejoramiento ambiental regional para la cuenca de la laguna de Fúquene" - Informe Final. Bogotá, CTI Engineering Internacional Co. Ltd.
- Lal, R. (1997). "Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. II. Soil chemical properties", *Soil and Tillage Research* 42(3): 161-174.
- Li, S.-c.; Cai, Y.-l. (2005). "Some scaling issues of geography", *Geographical research* 24(1): 11-18.
- Machado, A. (1998). *La cuestión agraria en Colombia a fines del milenio*. El Áncora Editores.
- Mainguet, M. (1991). *Desertification: natural background and human mismanagement*. Springer-Verlag GmbH & Co. KG.
- Martínez Gómez, C. L. (2002). "Las migraciones internas en Colombia. Análisis territorial y demográfico según los censos de 1973 y 1993".
- McCully, P.; Isaurralde, L. (2004). *Ríos silenciados: ecología y política de las grandes represas*. Proteger Santa Fe.
- MEA (2005). Ecosystem and Human Well-being. *Biodiversity Synthesis*. L. Bledzki. Washington Millenium Ecosystem Assesment (World Resources Institute).
- MEA (2005). *Ecosystems and human well-being: desertification synthesis. Millenium Ecosystem Assessment*, World Resources Institute.
- Metzger, M. J.; Rounsevell, M. D. A. et al. (2006). "The vulnerability of ecosystem services to land use change", *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114(1): 69-85.
- Minujin, A. (1999). *¿La gran exclusión?: vulnerabilidad y exclusión en América Latina*. Buenos Aires, Eudeba.
- Montague, M.; Aslam, J. A. (2001). "Relevance score normalization for metasearch", *Proceedings of the tenth international conference on Information and knowledge management*. Atlanta, Georgia, USA, ACM: 427-433.
- Morin, E.; Pakman, M. (1998). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Newcome, J.; Provins, A. et al. (2005). "The Economic, Social and Ecological Value of Ecosystem Services: A Literature Review (Final Report)." 47.
- Nyström, M.; Folke, C. (2001). "Spatial resilience of coral reefs", *Ecosystems* 4(5): 406-417.



- Orjuela, L. J. (2005). *La sociedad colombiana en los años noventa: fragmentación, legitimidad y eficiencia*. Facultad de Ciencias Sociales de la Univ. de los Andes.
- PBOT (2000). Plan Básico de Ordenamiento Territorial. A. M. d. Ubaté. Ubaté, Cundinamarca.
- Pérez Ramírez, G. (1959). "El campesinado colombiano. Un problema de estructura", *Verzameling van de School voor Politieke en Sociale Wetenschappen* (160).
- Ríos, N.; Andrade, H. et al. (2008). "Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos/Evaluation of hydric recharge in silvopastoral systems in livestock landscapes", *Zootecnia Tropical* 26(3): 183-186.
- Santos, M. E. (2000). "Fúquene: El Lecho de la Zorra." Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá, Colombia.
- SIGPAD (2013). "Reporte de Emergencias", *Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres*. Colombia, Dirección de Gestión del Riesgo. Ministerio del Interior y de Justicia. Reporte 1 (Único).
- Silva, C.; Guataquí, J. (2007). "Inserción de la migración interna y el desplazamiento forzado en el mercado laboral urbano de Colombia", *Documentos de Trabajo* (11).
- Skorupski, J. (1989). *John Stuart Mill*. Londres, Routledge.
- Steiner, L. M. S. (2008). "Éxodos rurales y urbanización en Colombia. Perspectiva histórica y aproximaciones teóricas", *Bitácora Urbano-Territorial* (13): 57-72.
- Suárez, F.; Franco, R. et al. (1984). "Efectos sociales de las grandes represas en América Latina", Centro Interamericano de Desarrollo Social, Departamento de Asuntos Sociales-OEA-Instituto Latinoamérica de Planificación Económica y Social-ONU.
- Thomas, D. S.; Middleton, N. J. (1994). *Desertification: exploding the myth*. John Wiley & Sons Ltd.
- Torres, C. (1963). "La violencia y los cambios socioculturales en las áreas rurales colombianas". Memoria del Primer Congreso Nacional de Sociología, Asociación Colombiana de Sociología. Bogotá.
- Turner, B. L.; Matson, P. A. et al. (2003). "Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(14): 8080-8085.
- Vidal, L. F.; Pérez, G. I. A. (2007). *Fúquene, Cucunubá y Palacio: conservación de la biodiversidad y manejo sostenible de un ecosistema lagunar andino*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Voeroesmarty, C. J.; Green, P. et al. (2000). "Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth", *Science* 289(5477): 284-288.
- Walker, B.; M. J. A. (2004). "Thresholds in Ecological and Social-Ecological Systems: a Developing Database", *Ecology and Society* 9(2 (3)).
- Woolcock, M.; Narayan, D. (2000). "Capital social: Implicaciones para la teoría, la investigación y las políticas sobre desarrollo", *World Bank Research Observer* 15(2): 225-249.