



**Coordinadora del  
Programa Nacional  
Manejo del Recurso  
Hídrico y Cuencas  
Hidrográficas del SINAC-  
MINAE (maureen.  
arguedas@sinac.go.cr)**

## Propuesta metodológica para identificar sitios prioritarios para restaurar ecosistemas con fines de protección del recurso hídrico

Maureen Arguedas Marín

**D**entro de una visión sistémica del territorio, el agua es un elemento transversal. Este recurso: i) está presente en todas las actividades de producción y reproducción social, ii) tiene una función básica en los sistemas naturales, y iii) tiene un valor simbólico y cultural en los territorios. Cualquier actividad, aunque no tenga un objetivo hidráulico directo, influye sobre su generación y circulación (Del Moral 2008). Por esto, un correcto abordaje del recurso hídrico debe incluir a los distintos actores, así como los elementos económicos, sociales y naturales que interactúan en el territorio.

La calidad y cantidad de agua que brindan las fuentes está relacionada a las características y la condición de los ecosistemas, así como su nivel de protección, pues un ecosistema funcional provee las condiciones idóneas para garantizar en el presente y a futuro la provisión de servicios ecosistémicos.

La importancia de la protección del recurso hídrico se encuentra respaldada en diversos documentos de carácter técnico, científico, legal, entre otros. A pesar de ello,

diversas acciones y actividades realizadas por los seres humanos atentan contra la protección del recurso hídrico, poniendo en riesgo la sobrevivencia de las especies y la calidad de vida de las personas.

Para el 2000, Costa Rica contaba con 115 leyes y decretos ejecutivos relacionados con la gestión del recurso hídrico (Aguilar *et al.*, 2001), para el 2015 se reportaron 275 leyes (Betrano, 2016) y al 2004, se contabilizaron más de 20 instituciones relacionadas con la gestión del agua (Segura, 2004). Las responsabilidades sobre el recurso hídrico se encuentran divididas en varias instituciones y ministerios, en donde cada una interviene con distintos roles y funciones que en ocasiones se traslapan y complementan causando desarticulación y descoordinación del sector (Cedarena, 2000).

El Estado del Ambiente Costarricense (2018) reportó que existe una gran deficiencia en información relevante a los recursos hídricos, resultado de su dispersión en diversas instituciones y por la falta de mecanismos de integración. A pesar del amplio marco jurídico en torno al recurso hídrico, el mismo se encuentra amenazado por varios factores, entre ellos, la lixiviación de sustancias contaminantes (como agroquímicos y nitratos) desde tanques sépticos, zonas de cultivo y zonas industriales, en varias zonas del país (Estado del Ambiente Costarricense, 2018). También se reportan otros factores como, el crecimiento urbano desregulado en áreas de recarga hídrica (Estado de la Nación, 2009), el uso del suelo y la falta

de una gestión integrada, interinstitucional y multidisciplinaria de manejo de cuencas hidrográficas (Valverde 2013).

La situación expuesta refleja la vulnerabilidad y presión sobre el recurso hídrico. Además, la cantidad de normativa e instituciones tanto gubernamentales como no gubernamentales realizando acciones y ejecutando proyectos relacionados con el recurso hídrico, muestra la necesidad de desarrollar herramientas que visibilicen la situación y que faciliten la articulación entre instituciones así como la implementación de acciones conjuntas con el fin de optimizar esfuerzos y recursos, y lograr mayor impacto en las intervenciones.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) combinados con técnicas de evaluación multicriterio representan una importante herramienta para procesos de planificación y priorización. De hecho, es uno de los métodos utilizados para la determinación de áreas prioritarias, siendo una herramienta de apoyo para la descripción, evaluación, ordenación, jerarquización y selección de alternativas (Gómez y Barredo, 2005).

Identificar espacialmente las acciones que ejercen presión sobre el recurso hídrico facilita la articulación de acciones para intervenir en esas zonas, con el fin de buscar un equilibrio entre el desarrollo humano y la conservación de los ecosistemas. La existencia de instrumentos que permitan tomar en cuenta diversos criterios, sectores y estudiar el contexto de la cuenca o microcuenca, toman relevancia

en un contexto en el que hay una amplia variedad de actores involucrados, tanto institucionales como de la sociedad civil. Las aplicaciones SIG han sido utilizadas para estos fines, siendo el análisis multicriterio una de las herramientas más comúnmente usadas.

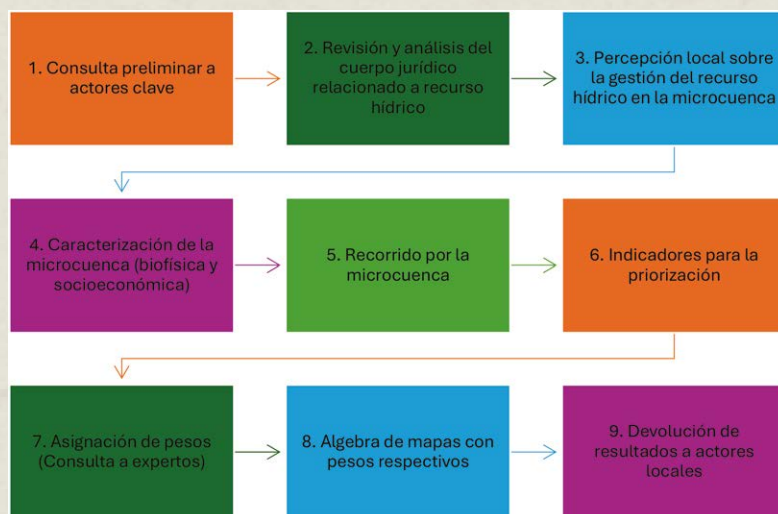
Planificar intervenciones para proteger, restaurar o conservar los ecosistemas requiere identificar inicialmente ¿dónde actuar primero? una posible respuesta sería centrarse en las áreas con mayor riesgo de degradación y que produzca los mayores beneficios ambientales (Echeverría *et al.*, 2010). Otra posible respuesta es considerar un grupo de criterios que incluya las necesidades de las comunidades, el criterio técnico de expertos y criterios “políticos”, es decir aspectos incluidos en estrategias de conservación o políticas nacionales (Geneletti *et al.*, 2011).

Es por lo que se propone una metodología de carácter exploratorio que

incluye indicadores espaciales, relativamente sencillos de generar u obtener, para identificar sitios en los que es prioritario la realización de acciones para la protección del recurso hídrico. Los indicadores utilizados pueden ser considerados “sombrija” pues buscan resguardar condiciones determinantes en los procesos hidrológicos que ocurren en una cuenca hidrográfica, y que a su vez favorecen la provisión de servicios ecosistémicos de los cuales se benefician todos los componentes de la naturaleza (por ejemplo: flora, fauna, seres humanos).

Para la realización del presente trabajo se propone las siguientes nueve fases: i) consulta preliminar a actores claves (expertos en gestión del recurso hídrico); ii) revisión y análisis del cuerpo jurídico; iii) percepción local sobre la gestión del recurso hídrico en la microcuenca, iv) caracterización biofísica y socioeconómica del área de estudio, v) recorrido por la microcuenca, vi) indicadores para la priorización, vii) selección de indicadores y asignación de pesos, viii) álgebra de mapas con pesos respectivos, ix) devolución de resultados a actores locales (Figura 1).

La consulta preliminar a actores clave incluyó la realización de una entrevista semiestructurada a personas con amplio



**Figura 1.** Fases del proceso metodológico.

conocimiento sobre el recurso hídrico. El objetivo de las entrevistas semiestructuradas es conocer la situación general del sector hídrico en Costa Rica, y las principales limitaciones para su gestión; esta información es insumo para la elaboración de propuesta de indicadores (fase cuatro de la **Figura 1**).

Se realizó una revisión exhaustiva del cuerpo jurídico relacionado a seis temas de importancia para el sector hídrico, estos son: i) calidad del agua, ii) cantidad del agua, iii) conservación y uso sostenible del agua y ecosistemas asociados, iv) instrumentos económicos, v) gobernanza del agua y vi) gestión integral del recurso hídrico.

Adicionalmente, conocer la percepción de las personas que habitan o interactúan en la cuenca hidrográfica es de gran importancia pues esto influye en el manejo y las decisiones de gestión que se tomen. Al conocer la percepción local es posible visualizar las expectativas, las satisfacciones o los aspectos por mejorar por parte de actores involucrados (Benez *et al.*, 2010). Se identificaron *a priori* algunos actores clave para entrevistar y conforme se fue avanzando con las entrevistas, se fueron incluyendo a otros actores clave, según las sugerencias de las personas entrevistadas. Los actores clave consultados *a priori* son miembros de grupos base (Asadas, asociación de productores), o funcionarios(as) de instituciones gubernamentales y no gubernamentales con presencia en la zona. Para capturar la percepción local de las personas que habitan la microcuenca se diseñó un protocolo

de entrevista semiestructurada organizada en tres variables de interés, de la cual se desprenden 14 temas claves y preguntas orientadoras para cada tema. Cabe mencionar que según el perfil del actor y el sector y/o grupo que represente dentro de la microcuenca algunas preguntas podrían omitirse. El protocolo de entrevista responde a las siguientes tres variables:

1. Percepción local sobre los cuerpos de agua de la cuenca hidrográfica de interés
2. Actividades económicas dependientes del recurso hídrico
3. Acciones para el manejo y la gestión del recurso hídrico

Dentro de cada una de las tres variables de interés, se presentan elementos clave que ayudan a comprender de mejor manera la dinámica social, ambiental y económica de la cuenca de interés. Para la caracterización de la microcuenca se recurrió a información espacial disponible, por ejemplo: modelo de elevación digital, carreteras, infraestructura, cuerpos de agua, cantidad y ubicación de concesiones otorgadas por la Dirección de Agua del MINAE (DA-MINAE), presencia de humedales, presencia de sitios con alguna categoría de manejo, entre otras. También se solicitó al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) información climática como precipitación y temperatura (según estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca) y al Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) datos socioeconómicos. Paralelamente, se realizaron

consultas a instituciones con presencia local, por ejemplo, la Municipalidad.

Se realizó un recorrido por la microcuenca con el fin de observar el contexto del sitio, así como el uso y estado de los recursos naturales. En dicho recorrido se realizó el levantamiento de coordenadas mediante el uso de GPS y se tomó fotografías de los sitios de interés para el estudio.

Se elaboró una propuesta preliminar de indicadores con potencial a ser utilizados para la priorización de sitios dentro de la microcuenca para la protección del recurso hídrico. La elaboración de esta propuesta de indicadores se realizó considerando tres insumos principales: revisión de literatura, entrevistas a expertos y el análisis del cuerpo jurídico. Cabe destacar que todos los indicadores incluidos en la consulta son espacializables y se cuenta con sus respectivos archivos vectoriales.

Se solicitó vía correo electrónico a personas expertas en la gestión del recurso hídrico y cuencas hidrográficas, asignar pesos para cada indicador propuesto, para ello se envió un archivo de Excel con las temáticas y sus respectivos indicadores, en cada celda los expertos debían poner una calificación entre 0 y 1 según el grado de importancia de los indicadores para priorizar los sitios con fines de protección del recurso hídrico dentro de la microcuenca; 0 refleja poca importancia y 1 mucha importancia.

Una vez realizado el ejercicio las personas expertas remitieron sus archivos de Excel, estos fueron unificados, colocando

para cada indicador los pesos asignados por las personas expertas. Posteriormente, se calculó un promedio para cada indicador, el cual corresponde al peso que se le asignará en el álgebra de mapas.

**P**ara la selección de indicadores fue de utilidad analizar ciertas preguntas claves entre ellas: ¿Qué aspectos del paisaje influyen (positiva o negativamente) sobre el recurso hídrico? ¿Qué aspectos/variables permiten identificar que un ecosistema requiere ser restaurado? ¿Con qué información espacial se cuenta? ¿Qué indicadores *sombrilla* permitirían proteger el recurso hídrico? ¿Qué condiciones del terreno deben ser identificadas dado que influyen en la cantidad, calidad o permanencia del recurso hídrico?

Se consideró importante proponer indicadores que tengan influencia en el régimen natural de las aguas y que protejan la funcionalidad hídrica. Esto incluye la relación agua-suelo. Las características y propiedades hidrológicas de los suelos son factores determinantes en los procesos hidrológicos de una cuenca, los cuales son afectados por la cubierta vegetal y su gestión. Un mejor conocimiento de la relación agua-suelo-vegetación es esencial para el desarrollo de estrategias de gestión del agua y el territorio (Valiente *et al.*, 2021).

Inicialmente, se generó un listado amplio de indicadores que podrían generar un impacto, positivo o negativo, en la cantidad y calidad del agua. Sin embargo, la lista luego se redujo debido a la

disponibilidad de datos, así como la escala de los datos. Por lo que luego se generó una lista de indicadores más reducida:

1. Presión poblacional: densidad poblacional (cantidad de habitantes por Km<sup>2</sup>). Sitios con mayor densidad poblacional demandan más recursos, entre ellos el agua.
2. Características del sitio:
  - a. Pendiente: además de la cobertura forestal la pendiente influye en la infiltración del agua. En condiciones de terreno quebrado, cuando el agua cae, se desplaza a mayor velocidad pasando más rápido a formar parte del agua de escorrentía.
  - b. Uso del suelo en el área de protección de nacientes, ríos y quebradas (art 33, Ley Forestal N°7575).
  - c. Estado de los ecosistemas: brinda una idea sobre su funcionamiento natural de los ecosistemas y su capacidad para producir servicios ecosistémicos (SE). Un ecosistema sano brinda múltiples SE, algunos de ellos relacionados con el recurso hídrico. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es de utilidad para el análisis y monitoreo de las condiciones vegetativas y su dinámica en la cobertura. El índice se deriva

de la respuesta de la vegetación en relación con el espectro electromagnético (Olivares *et al* 2019; Rouse *et al.*, 1974). El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo se considera un factor adicional en la ecuación del NDVI, permite capturar la información en escenarios donde el desarrollo vegetal es incipiente, además evita distorsiones en los valores de análisis cuando la vegetación se encuentre en suelos expuestos, es decir evita la influencia del suelo.

Posteriormente, se realizó el álgebra de mapas con pesos respectivos. Cada indicador fue homologado en una escala de 1 a 5 y convertido en ráster, en el caso de los archivos en formato vector. Posteriormente, utilizando la calculadora ráster se realizó la multiplicación de las capas con sus pesos asignados en el paso anterior y finalmente la suma. Para obtener el mapa de priorización se sugiere observar el comportamiento de cada indicador de forma individual; luego correr varios modelos y analizar cual refleja de mejor manera el comportamiento de los indicadores de forma conjunta.

**L**a fase de devolución de resultados es de suma importancia en todo proceso participativo. Esto involucra compartir los resultados obtenidos con las personas consultadas en fases previas, lo cual

incluye diversos actores y sectores. En esta fase se sugiere aprovechar espacios existentes, por ejemplo, reunión ordinaria de la Asada, reunión del consejo municipal, entre otros. Esta fase es importante para la construcción social de las posibles medidas a implementar. Además, se debe propiciar el establecimiento de alianzas a distintos niveles.

Se espera que este tipo de metodologías apoyen la implementación de los procesos de toma de decisión de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales, y facilite la coordinación de acciones conjuntas, para que desde sus competencias se realicen intervenciones, y estas generen los resultados esperados de restauración y conservación de la cobertura forestal para contribuir al restablecimiento y provisión de diversos servicios ecosistémicos, entre ellos: la regulación hídrica, calidad del recurso hídrico, entre otros.

### Agradecimientos

La propuesta metodológica fue aplicada en la microcuenca del río Cacao como parte del trabajo final de graduación de la maestría en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Se agradece a las personas de la microcuenca del río Cacao con los que tuve el privilegio de compartir, en especial a: Ana Lucía Ureña, Rodney Lobo González, Milena Cambrónero y Amanda Campos. Gracias por su apertura, por su esmero, compromiso y amor por lo que hacen. Del mismo modo se agradece a los profesores Javier

Saborío y Melvin Lizano por brindarme su acompañamiento técnico. También, les agradezco por el compromiso y la confianza brindada.

### Referencias

- Arguedas, M. (2022). Propuesta metodológica para identificar sitios prioritarios para restaurar ecosistemas con fines de protección del recurso hídrico: estudio de caso de la microcuenca del Río Cacao, Atenas, Alajuela. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/items/8abb8bb8-2224-4f2c-94a3-f33234022477>
- Aguilar, A; Salvadora, M; Cruz, M. (2001). Manual de regulaciones jurídicas para la gestión del recurso hídrico en Costa Rica. <https://www.binasss.sa.cr/opac-ms/media/digitales/Manual%20de%20regulaciones%20jur%C3%ADdicas%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20del%20recurso%20h%C3%ADrico%20en%20Costa%20Rica.pdf>
- Betrano, S. (2016). Evolución y efectos de la legislación sobre recurso hídrico en Costa Rica (1942-2015). 22 informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Costa Rica.
- Benez, M.; Kauffer-Michel, E. y Álvarez-Gordillo, G. (2010). Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. Frontera Norte, 22(43), 129-158. Recuperado de <http://www.otmail.org/pdf/13613612035006.pdf>
- Cedarena. (2000). Manual de Regulaciones Jurídicas para la Gestión del Recurso Hídrico en Costa Rica. <https://www.binasss.sa.cr/opac-ms/media/digitales/Manual%20de%20regulaciones%20jur%C3%ADdicas%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20del%20recurso%20h%C3%ADrico%20en%20Costa%20Rica.pdf>
- Del Moral, L. (2008). Nuevas tendencias en gestión del agua, ordenación del territorio e integración de políticas sectoriales. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. <https://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-285.htm>

- Estado de la Nación. (2009). Armonía con la naturaleza. Capítulo 4. <https://repositorio.conare.ac.cr/items/a465a579-28ea-4302-b3df-13b02d80bf22>
- Estado del Ambiente Costarricense. (2018).
- Gómez D., M. y Barredo C., J. I. (2005). Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio, en la ordenación del territorio (2ª ed.). Madrid, España: RA-MA.
- Echeverría, C., Schiappacasse, I., Urrutia, R., Cárcamo, M., Becerra, P., Smith, C. y Holmgren, M. (2010). Restauración de ecosistemas degradados para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo rural en la zona semiárida de Chile central. Valdivia, Chile: Proyectos Reforlan-RUE 33.
- Geneletti, D., Orsi, F., Lanni, E. y Newton, A. C. (2011). Identificación de áreas prioritarias para la restauración de bosques secos. En A. C. Newton y N. Tejedor (Eds.), Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina (290-327). Gland, Suiza y Madrid, España: UICN.
- Olivares, B; López-Beltrán, M. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaam, Venezuela. Cuadernos de Investigación UNEC vol. 11 n.2 Sabanilla, Montes de Oca. <http://dx.doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. 3 rd ERST Symposium, NASA, 1, 309-317
- Segura, O. (2004). Agenda Ambiental del agua en Costa Rica. Fundación UNA. Heredia, Costa Rica. 192.
- Valiente, M; Zabaleta, A; Meaurio, M; Uriarte, J.A. (2021). Caracterización y funcionalidad hidrológica de los suelos de una cuenca pre-pirenaica (Bidasoa, Navarra). Geotemas (Madrid). N° 18. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8440295>
- Valverde, R. (2013). Disponibilidad, distribución, calidad y perspectivas del agua en Costa Rica. Ambientales. 45:5-12.