

Metodología para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. Validación en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua¹

Óscar Matus²; Jorge Faustino³;
Francisco Jiménez⁴

Esta propuesta metodológica aporta herramientas prácticas, sencillas, de fácil uso y bajo costo para que los actores, facilitadores y tomadores de decisiones a nivel local de cuenca, puedan identificar zonas potenciales de recarga hídrica y orientar las acciones de protección, conservación y aprovechamiento de dichas áreas. La metodología integra de forma práctica el conocimiento técnico y científico con el saber y experiencia tradicional de las comunidades y actores locales, lo que permite involucrarlos y facilita la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica en su territorio.

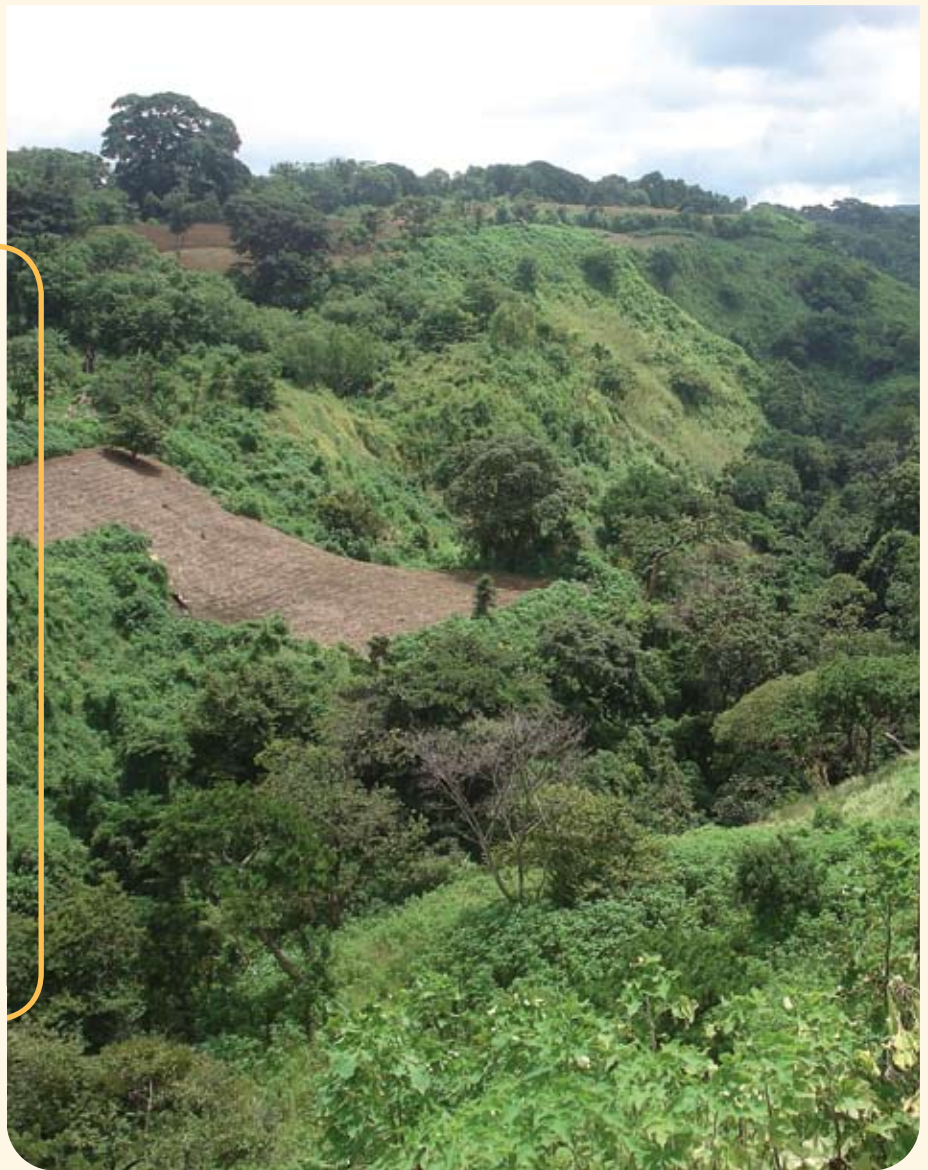


Foto: Óscar Matus.

¹ Basado en Matus (2007).

² omatus@catie.ac.cr

³ Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. faustino@catie.ac.cr

⁴ Grupo Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

Resumen

El objetivo del estudio fue elaborar una propuesta metodológica práctica y de aplicación simple por parte de actores locales para identificar zonas con potencial de recarga hídrica. Dicha metodología intenta conjugar el conocimiento técnico y científico con el conocimiento y experiencia local de las comunidades en subcuencas hidrográficas. Para ello se llevaron a cabo talleres participativos con los pobladores de las comunidades ubicadas en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua, y técnicos y especialistas que trabajan en la zona. En los talleres se usaron herramientas participativas (trabajos grupales, lluvia de ideas, mapeo de recursos naturales y evaluación de los recursos naturales); además, se revisó la literatura existente, se desarrollaron diálogos semi-estructurados y visitas de campo. La metodología participativa resultante para la identificación de zonas de recarga hídrica se basa en el análisis y evaluación práctica de cinco elementos (pendiente y microrrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo) que influyen directamente en la posibilidad de que ocurra la recarga hídrica.

Palabras claves: Cuencas hidrográficas; recarga de aguas subterráneas; participación comunitaria; participación social; metodología; validación.

Summary

Methodology for participative identification of potential water-recharge areas in watersheds; validation in Jucuapa River watershed, Nicaragua

This study aimed at developing a simple and practical methodology for local stakeholders to identify areas where water recharge is maximized. This methodology combines both local and practical knowledge of dwellers within a watershed and technical and scientific knowledge. During the process, participatory workshops were carried out with local people from communities in the Jucuapa River watershed, as well as technicians and specialists who work in the area. For the workshops, participative tools (team working, brainstorming, mapping and evaluation of natural resources) were employed. The resulting participative methodology is based on the analysis and practical assessment of five elements (gradient and microrelief, type of soil, type of rock, vegetation and land use) directly related with the land capacity for water recharge.

Keywords: Watershed; recharge of underground waters; community participation; social participation; methodology; validation.

Introducción

La recarga hídrica es el proceso de incorporación de agua a los acuíferos. El área o zona donde ocurre la recarga se llama zona de recarga. Según el INAB (2003), el clima, el suelo, la topografía, la estratigrafía geológica, la cobertura vegetal y la escorrentía son los principales factores que afectan la recarga hídrica. La lluvia en las zonas de recarga de los acuíferos es la principal y más importante fuente de abastecimiento de agua para los diferentes cursos, manantiales y cuerpos de agua subterráneos. Las áreas de

mayor recarga son las que más nos interesa conservar y manejar, a fin de mantener bajo control sus características físicas de permeabilidad e infiltración, ya que estas afectan la magnitud de la recarga, así como la generación de contaminantes que se puedan infiltrar al acuífero y dañar la calidad de sus aguas. En las zonas altas montañosas gran parte de la precipitación es de origen orogénico y más constante. Por esas razones, estas áreas de la cuenca son las de mayor importancia para la recarga, principalmente si el suelo y subsuelo son permeables (Losilla 1986).

En este contexto general, las zonas de recarga y el proceso mismo de recarga de las aguas subterráneas son cada vez más importantes, estratégicamente, como alternativa para atender la demanda del recurso. Sin embargo, muchas de las prácticas que realiza el ser humano en actividades como la agricultura, la ganadería, la producción forestal, el desarrollo urbanístico, la industria, etc. alteran las características de las zonas de recarga hídrica, e interfieren con la infiltración del agua al erosionar, compactar, impermeabilizar y/o dejar descubierto el suelo. En consecuencia, se da una mayor

escorrentía superficial y disminuye la recarga de los acuíferos, con lo que se reduce el nivel de las aguas subterráneas (acuíferos) y la calidad de las mismas, con frecuencia hasta niveles inadecuados para consumo humano y para otros usos como el riego.

Para identificar y delimitar de manera precisa las áreas prioritarias de recarga hídrica se requiere de estudios hidrogeológicos especializados, que muchas veces no están dentro de las posibilidades económicas de las comunidades de una microcuenca o subcuenca. En cierta forma, el deterioro de las zonas de recarga hídrica y la disminución de la recarga se debe a que no se conocen los sitios en las cuales ocurre este proceso, ya que los actores locales u organismos responsables del manejo de las cuencas no disponen de metodologías prácticas para su identificación. El objetivo de esta investigación fue, entonces, desarrollar una metodología práctica, de bajo costo y aplicación simple por parte de actores locales para identificar zonas potenciales de recarga hídrica. Esta metodología busca integrar el conocimiento técnico y científico con el conocimiento local de las comunidades. Como escenario real para la validación de la metodología, se seleccionó la subcuenca del río Jucuapa en Nicaragua, la cual es una cuenca demostrativa del programa Focuecas II “Innovación, Aprendizaje y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas” que implementa el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en América Central.

La subcuenca Jucuapa está ubicada en la región central de Nicaragua, en el departamento de Matagalpa, entre las coordenadas 80°02'29.9", 85°53'38.25" de longitud oeste y 12°50'06.19", 12°53'35.68" de latitud norte. El río Jucuapa drena al río Grande de Matagalpa a través de numerosos tributarios; la subcuenca

es compartida por los municipios de Matagalpa (ocho comunidades) y Sébaco (una comunidad). En ella habitan un total de 792 familias (4339 personas). Tiene una superficie de 40,5 km² (4057 ha); la precipitación media anual es de 1164 mm, la temperatura media anual es de 25,2°C, las pendientes dominantes están en el ámbito de 15 a 30%, distribuidas en la parte alta, media y baja, y representan el 32,97% del área total.

El diseño metodológico

Los principales pasos del desarrollo de la metodología se describen a continuación:

Identificación de métodos

- Se realizó una recopilación de información y revisión de literatura acerca de los diferentes métodos técnicos y científicos que se utilizan para la determinación de la recarga e identificación de zonas de recarga hídrica.
- Para la identificación del conocimiento local se realizaron talleres participativos a los que asistieron los diferentes actores locales de la subcuenca. En los talleres se empleó el siguiente procedimiento: 1) Se analizaron conceptos básicos sobre zonas de recarga hídrica y su importancia en el manejo de los recursos naturales. 2) A través de una lluvia de ideas, los comuneros definieron la forma y/o elementos que utilizarían en la identificación de las zonas de recarga hídrica. 3) Se brindaron algunos elementos técnicos que, combinados con el conocimiento local, ayudaran a identificar las zonas de recarga hídrica. 4) Se formaron grupos de trabajo para hacer un mapa y evaluar los recursos naturales en los sitios identificados como problemáticos y plantear posibles soluciones.
- Además del procedimiento planteado, se dieron diálogos semiestructurados con pobladores

de las diferentes comunidades de la subcuenca y con informantes claves. También se aplicó la misma herramienta con técnicos que tienen incidencia en la subcuenca y con especialistas en geología e hidrología, como una forma de rescatar y comparar las diferentes opiniones en los tres estratos.

Elección de criterios para identificar las zonas aparentes de recarga hídrica y la forma de evaluación en el campo

- La identificación y selección de los elementos o criterios que integrarían el modelo, el diseño del procedimiento a seguir en la identificación de zonas de recarga y la forma práctica de evaluar en campo los diferentes criterios seleccionados se definieron a través de diálogos semiestructurados, talleres participativos y revisión de literatura sobre los métodos técnicos identificados. El producto de este proceso fue la propuesta metodológica preliminar.
- Se aplicó un análisis estadístico para los resultados del diálogo semiestructurado. El propósito fue determinar si había diferencias significativas entre el conocimiento de especialistas, técnicos y pobladores locales en cuanto a la forma de identificar en el campo las zonas de recarga hídrica. Para el análisis se utilizó el estadístico Chi Cuadrado MV-G2, con un nivel de significancia del 95%. Las tablas de frecuencia se generaron para cada uno de los grupos con el propósito de determinar la frecuencia de opinión por variable (tipo de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y tipo de roca) y por grupo consultado.

Evaluación preliminar

La evaluación de la propuesta preliminar se realizó en un taller participativo con técnicos de diferentes organismos e instituciones, para lo cual se conformaron grupos de

trabajo y se efectuó un análisis y discusión, tanto de los elementos del modelo, como de los pasos y procedimientos a seguir para identificar y evaluar zonas de recarga. Los participantes también realizaron la ponderación o asignación de pesos relativos a los diferentes elementos del modelo propuesto, según su influencia en el proceso de infiltración.

Propuesta metodológica

Por último se efectuó el análisis de la información obtenida durante el proceso de evaluación de la metodología; además, se hicieron las respectivas correcciones y ajustes según resultados del taller de evaluación y recomendaciones del comité asesor de la tesis. El resultado fue la pro-

puesta metodológica final para identificar zonas potenciales de recarga hídrica.

Resultados

La metodología propuesta para la identificación y evaluación de zonas potenciales de recarga hídrica consta de diez pasos (Fig. 1).

Paso 1. Evaluación y definición de la zona de acción en la cual se va aplicar la metodología

Un organismo, institución o comité de cuenca puede tener incidencia en varias microcuencas o subcuencas; por ello, el primer paso es definir la subcuenca o microcuenca en la cual se va a aplicar la metodología, según sus características biofísicas y socioeconómicas. La evaluación

permitirá definir las áreas prioritarias con el propósito de implementar, lo más pronto posible, medidas correctivas, de manejo, ordenamiento o gestión, a fin de mejorar la disponibilidad de agua y la calidad de la misma.

Paso 2. Capacitación y participación de los actores locales en la aplicación de la metodología

El propósito es que los pobladores conozcan y se familiaricen con los conceptos y elementos básicos para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica y que, además, aprendan a usar sus conocimientos y experiencia en la identificación de dichas zonas. Ellos, mejor que nadie, son los que conocen su territorio: lo

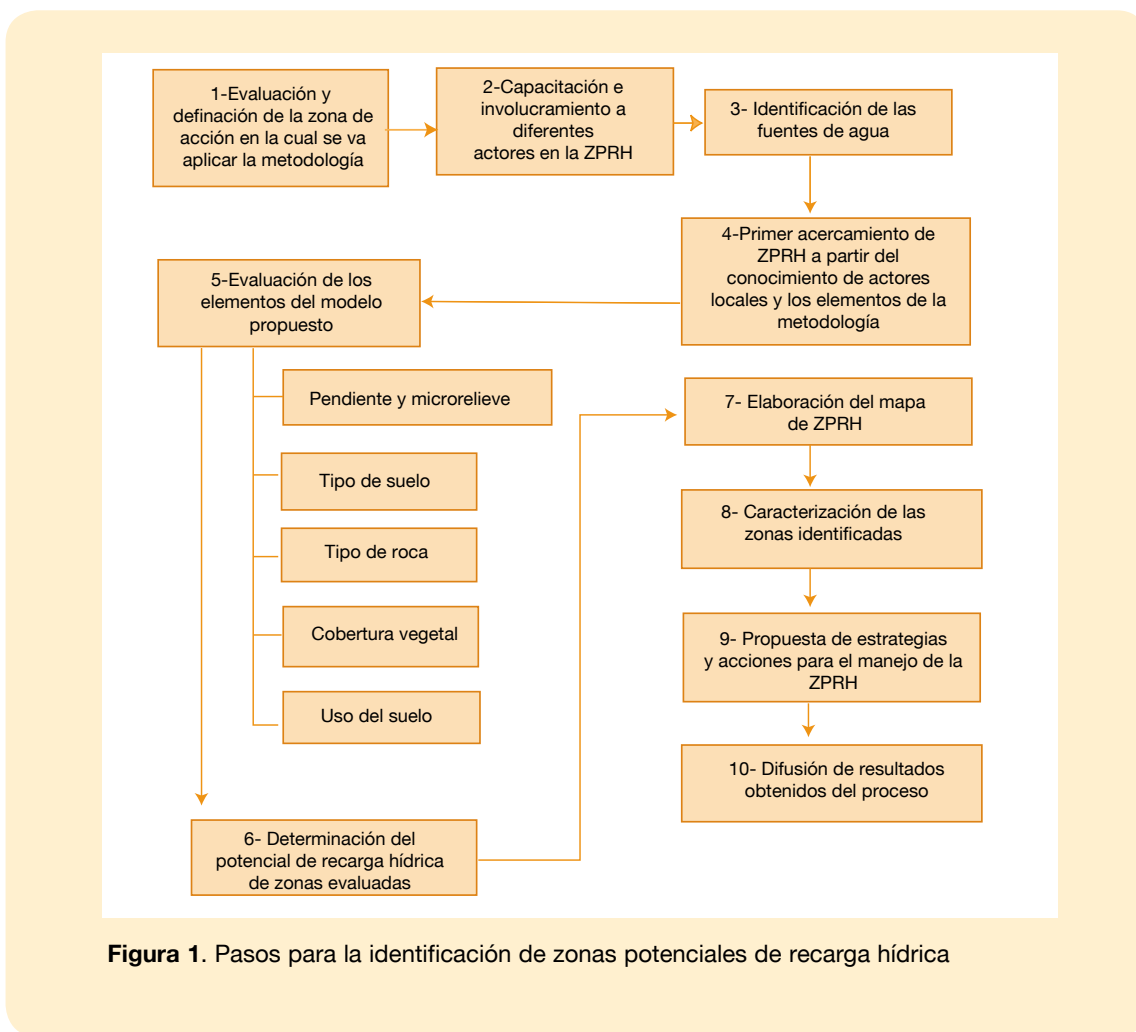


Figura 1. Pasos para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica

que sucedió en el pasado y lo que se hace actualmente. Esto equivale a tener una fotografía de la subcuenca. En este proceso, los técnicos tienen la función de orientar, guiar y facilitar las actividades y/o acciones.

Paso 3. Identificación o ubicación de las fuentes de agua

A partir del conocimiento de los actores locales, se elabora un mapa de la comunidad y se localizan las principales fuentes de agua. Este es el punto de partida para la identificación de las zonas potenciales de recarga, ya que el mapa permite formarse una idea de la dirección de los flujos del agua. Como es evidente, las zonas de recarga hídrica se encuentran en sitios de mayor altitud que las zonas de descarga (pozos, manantiales, nacientes, ojos de agua).

Paso 4. Primer acercamiento a las zonas potenciales de recarga hídrica

Una vez localizadas las fuentes de agua se procede a realizar un análisis teórico de las posibles zonas de recarga (junto con los actores locales) aguas arriba de las fuentes. Para ello se identifican los lugares que teóricamente tengan las características de una zona de recarga (pendiente suave, suelo permeable, roca porosa, buena cobertura vegetal, usos del suelo con prácticas que favorecen la infiltración), y luego se evalúa cada elemento del modelo propuesto.

Paso 5. Evaluación de los elementos del modelo propuesto

Cada uno de los elementos que integran el modelo propuesto se evalúa a través de métodos prácticos y de fácil uso por los actores locales en todas las zonas identificadas teóricamente en el paso anterior. El modelo propuesto está formado por los siguientes elementos:

- Pendiente y microrrelieve (*Pend*)
- Tipo de suelo (*Ts*)
- Tipo de roca (*Tr*)

■ Cobertura vegetal (*Cve*)

■ Uso del suelo (*Us*)

$$ZR = [0.27(Pend) + 0.23(Ts) + 0.12(Tr) + 0.25(Cve) + 0.13(Us)]$$

La ponderación de cada elemento del modelo va de 1 a 5, donde 1 es el valor más bajo; o sea que el que presenta las características menos favorables para que ocurra la recarga hídrica y 5 la puntuación más alta. A continuación se describen cada uno de los elementos del modelo propuesto.

- Pendiente y microrrelieve

En el relieve se pueden identificar superficies planas, cóncavas y convexas. En las superficies convexas el agua se mueve dispersándose en distintas direcciones; en las superficies planas inclinadas la trayectoria del agua sigue direcciones casi paralelas y en las cóncavas se desplaza concentrándose en el lugar más bajo (UNESCO 1986). Por lo tanto, se puede inferir que en relieves con elevaciones altas, escarpados y de rápido escurrimiento superficial, el proceso de infiltración y recarga disminuye; por el contrario, en lugares con relieves planos, semi-planos y cóncavos se favorece el proceso de infiltración y recarga hídrica, al permitir un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo. La pendiente está directamente relacionada con la escorrentía superficial e influye en la recarga hídrica. En los sitios con pendientes fuertes aumenta la velocidad de la escorrentía y se modifican las condiciones del suelo y de recarga; por el contrario, en pendientes suaves, el agua se mueve lentamente y permanece por más tiempo en contacto con el suelo, lo que favorece el proceso de infiltración.

Para determinar la pendiente y el microrrelieve se realiza un recorrido por el área; con la ayuda del **aparato A** (Fig. 2), los actores locales pueden calcular la pendiente con un método práctico y de fácil aplicación en campo. La determinación de la pendiente se realiza con la matriz que aparece en el Cuadro 1.

- Tipo de suelo

Las zonas de recarga deben tener alta capacidad de infiltración, lo cual tiene que ver con el tipo de suelo. Los suelos de textura gruesa, porosos y, por lo tanto, permeables tienen gran capacidad de recarga hídrica. Por el contrario, los suelos de textura fina, arcillosos, pesados y compactados impiden o dificultan la recarga hídrica. Con el fin de caracterizar las zonas potenciales de recarga hídrica, los actores locales evalúan en campo dos elementos que influyen en la permeabilidad del suelo: la textura y la capacidad de infiltración. Según Cubero (2001), la textura se puede determinar al tacto humedeciendo cierta cantidad de suelo, en tanto que la capacidad de infiltración se puede determinar por medio del infiltrómetro de anillo simple (Cox 2006). La matriz del Cuadro 2 permite clasificar los diferentes tipos de textura.

- Tipo de roca

El análisis y evaluación del tipo de roca permite determinar si la recarga hídrica es subsuperficial o profunda de aguas subterráneas (acuífero); asimismo, es posible determinar si existe una capa de material rocoso o arcilla impermeable que no permite el paso del agua hacia el acuífero, o si se forman flujos de agua subsuperficial con movimiento horizontal que luego salen a la superficie a través de un manantial, o alimentan un río (INAB 2003).

Al igual que con el tipo de suelo, las características de las rocas que determinan la recarga son la porosidad y permeabilidad. Las rocas duras con poros finos e impermeables no favorecen la recarga; por el contrario, las rocas suaves con macroporos, fallas o fracturadas son permeables y favorecen la recarga de los acuíferos. Para la evaluación de las características de las rocas se emplea la matriz que aparece en el Cuadro 3.

- Cobertura vegetal permanente

La cobertura vegetal influye en la infiltración del agua al permitir

Cuadro 1. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según pendiente y microrrelieve

Microrrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelo plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 – 6	Muy alta	5
Suelo moderadamente ondulado/cóncavo	6 – 15	Alta	4
Suelo ondulado/cóncavo	15 – 45	Moderada	3
Suelo escarpado	45 – 65	Baja	2
Suelo fuertemente escarpado	> 65	Muy baja	1

Cuadro 2. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica del suelo según su textura

Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelo franco arenoso a arenoso, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios y muy rápida capacidad de infiltración (mayor de 25 cm/h)	Muy alta	5
Suelo franco, con partes iguales de arena, limo y arcilla y rápida capacidad de infiltración (12,7 – 25 cm/h)	Alta	4
Suelo franco limoso, con partículas de tamaño medio a finas y moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 – 12,7 cm/h)	Moderada	3
Suelo franco arcilloso, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación y lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 – 2 cm/h)	Baja	2
Suelo arcilloso, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menor de 0,13 cm/h)	Muy baja	1

Cuadro 3. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca

Rocas	Posibilidad de recarga	Ponderación
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos interconectados; p.e., arena gruesa, piedra pómez, grava o cascajo.	Muy alta	5
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros interconectados, con poca cementación; p.e., arena fina, arenisca.	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular interconexión de poros.	Moderada	3
Rocas poco permeables, algo duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; p.e., grava combinada con arcilla.	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	Muy baja	1

mayor contacto con el suelo y disminuir la velocidad de escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol. En consecuencia, contribuye a conservar las características del suelo que favorecen la recarga.

La presencia de cobertura vegetal multiestratificada favorece la recarga hídrica y ayuda a conservar las características del suelo que también favorecen la recarga. El análisis y evaluación de este elemento se puede realizar en campo por medio de un recorrido que permita visuali-

zar el porcentaje de cobertura de los diferentes usos permanentes del suelo y los estratos presentes en la zona potencial de recarga hídrica. La ponderación propuesta en el Cuadro 4 ayuda en estas determinaciones.

- Uso del suelo

El uso del suelo -o el cambio de uso- influye tanto en el deterioro de las características del suelo (erosión y compactación), como en la reducción de la capacidad de infiltración y de recarga hídrica. El análisis y evaluación de este elemento se puede realizar en campo con la participación de los diferentes actores locales a través de un recorrido que permita visualizar los diferentes usos que se dan en la zona potencial de recarga hídrica. Para la ponderación se puede usar la información que se ofrece en el Cuadro 5.

Paso 6. Determinación del potencial de recarga en las zonas evaluadas

En la ecuación siguiente se sustituye cada uno de los elementos que integran el modelo por los valores respectivos obtenidos en la evaluación en campo:

$$ZR = [0.27(Pend) + 0.23(Ts) + 0.12(Tr) + 0.25(Cve) + 0.13(Us)]$$

Donde: ZR= zona de recarga hídrica; Pend= pendiente y microrrelieve; Ts= tipo de suelo; Tr= tipo de roca; Cve= cobertura vegetal; Us= uso del suelo. Los valores dados en la ecuación (0,27, 0,23, 0,12, 0,25, 0,13) son los factores de peso de cada elemento según su importancia o influencia en la infiltración.

La asignación de pesos relativos a cada elemento del modelo se realizó en función de la importancia del elemento en el proceso de infiltración del agua. Los extensionistas que participaron en el proceso de elaboración de la metodología fueron quienes asignaron el peso a cada elemento según su experiencia; es evidente, entonces, que esos pesos pueden variar según las características de cada cuenca y los

Cuadro 4. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal

Porcentaje	Posibilidad de recarga	Ponderación
> 80%	Muy alta	5
70 – 80%	Alta	4
50 – 70%	Moderada	3
30 – 50%	Baja	2
< 30%	Muy baja	1

Cuadro 5. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica de acuerdo al uso del suelo

Uso del suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque que presentan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo	Regular	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios, con manejo intensivo	Muy baja	1

critérios de extensionistas y especialistas. Para determinar la posibilidad de recarga hídrica de cada zona identificada, se multiplica el resultado obtenido en la evaluación por su factor correspondiente y se suman los elementos. La sumatorias de las ponderaciones alcanzadas por todos los elementos arroja un valor que representa las posibilidades de que ocurra recarga hídrica en un sitio dado (Cuadro 6).

Cuadro 6. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto

Posibilidad de recarga	Rango
Muy alta	4,1 - 5
Alta	3,5 - 4,09
Moderada	2,6 - 3,49
Baja	2 - 2,59
Muy baja	1 - 1,99

Paso 7. Elaboración del mapa de zonas potenciales de recarga hídrica

El mapa constituye una fuente importante de información y se elabora con el fin de que tanto los actores locales como externos de la cuenca tengan a disposición una referencia de ubicación de las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas. La Fig. 3 muestra la ubicación de las zonas

de recarga para fuentes de agua en la subcuenca del río Jucuapa. Hay que destacar que no se pudieron evaluar todas las zonas identificadas por los pobladores comunitarios y que dichas zonas (polígonos rojos en el mapa) pueden aumentar a medida que se continúe evaluando el potencial de las zonas que se encuentran por encima de las fuentes de agua.

Paso 8. Caracterización de las zonas identificadas

Con los resultados de la evaluación realizada se redacta una descripción de las características de cada zona potencial de recarga hídrica identificada; es conveniente incluir datos de la pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal permanente, usos del suelo, etc., a fin de dar una idea clara del sitio. Esta descripción permitirá analizar las características que pudieran estar afectando la recarga hídrica y que con alguna intervención del ser humano pudieran modificarse para favorecer la recarga.

Paso 9. Propuesta de estrategias y acciones

En este paso se brindan recomendaciones, se proponen estrategias y acciones para ordenar y mejorar el uso y manejo de las zonas con potencial de recarga hídrica, así

como estrategias de prevención de las posibles fuentes de contaminación que se puedan generar dentro de estas áreas. El fin es garantizar la sostenibilidad de los flujos de recarga y la calidad del agua para el consumo humano.

Paso 10. Difusión de los resultados

Dar a conocer los resultados y recomendaciones obtenidas del proceso de aplicación de la metodología a los actores locales, facilitadores, organismos e instituciones locales es fundamental para la cogestión de las zonas potenciales de recarga hídrica. Solo si se unen esfuerzos y se promueve el trabajo conjunto se logrará mantener el abastecimiento de agua de calidad y en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades de los pobladores en la subcuenca hidrográfica.

Discusión

Los métodos para la identificación de las zonas de recarga hídrica son, por lo general, muy costosos, demasiado técnicos y no están al alcance de los organismos, comités de cuencas y tomadores de decisiones locales responsables del manejo de cuencas. Entre esos métodos sofisticados están, por ejemplo, los estudios hidrogeológicos o isotópicos, los trazadores y las sondas. Esta propuesta metodológica aporta herramientas prácticas, sencillas, de fácil uso y bajo costo para que los actores, facilitadores y tomadores de decisiones a nivel local de cuenca, puedan identificar zonas potenciales de recarga hídrica y orientar las acciones de protección, conservación y aprovechamiento de dichas áreas. La metodología integra de forma práctica el conocimiento técnico y científico con el saber y experiencia tradicional de las comunidades y actores locales, lo que permite involucrarlos y facilita la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica en su territorio.

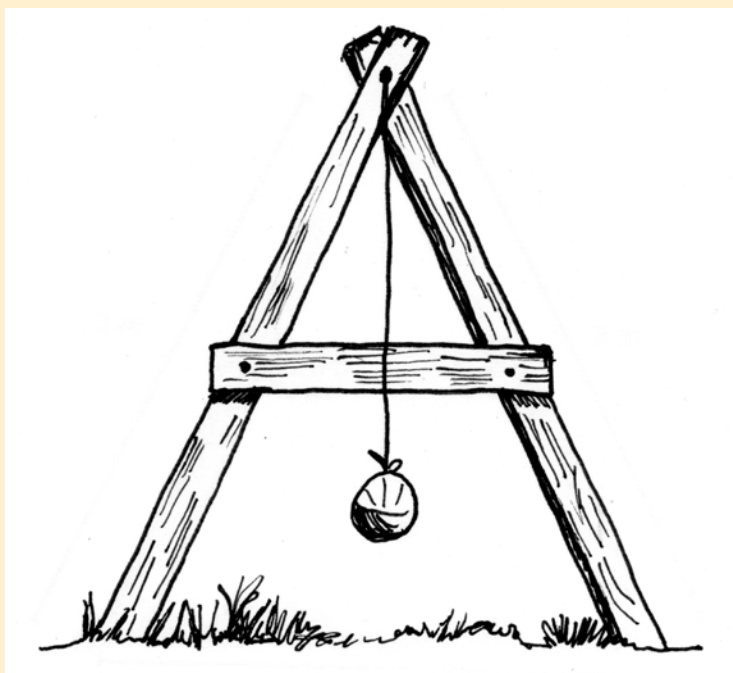


Figura 2. Agronivel

La metodología se sustenta en el proceso de infiltración del agua en el suelo y los factores que la afectan. En este sentido, todos los elementos considerados en el modelo propuesto (pendiente y microrrelieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo) intervienen positiva o negativamente en la infiltración; por ello, el modelo los evalúa en función de cómo cada uno de ellos influye en la infiltración. Así, por ejemplo, en un lugar con pendiente pronunciada, suelos compactados, rocas impermeables, poca cobertura vegetal, prácticas de manejo intensivo y sin obras de conservación de suelo y agua, el proceso de infiltración será afectado negativamente y la recarga hídrica será nula o muy baja.

Es importante tener en cuenta que toda la cuenca tiene cierto nivel de recarga hídrica; lo que se pretende con la metodología propuesta es identificar y ubicar los sitios con mayor potencial de recarga, aun cuando las condiciones climáticas -principalmen-

te de precipitación - no sean muy favorables para los procesos de infiltración y recarga. Según Custodio (1998), la recarga se refiere al proceso mediante el cual se incorporan volúmenes de agua a un acuífero procedentes de diferentes fuentes, como la precipitación, aguas superficiales y transferencias de otros acuíferos. Para efectos de la presente metodología se considera únicamente la recarga a partir de la infiltración del agua de lluvia (en general, la fuente más importante). Asimismo, las zonas de recarga hídrica pueden encontrarse a grandes distancias de la fuente que se aprovecha (Losilla 1986), debido a la ocurrencia de flujos regionales, intermedios y locales de recarga hídrica. Nuestra metodología considera únicamente los flujos locales causados por precipitaciones en la subcuenca hidrográfica.

Con base en literatura consultada, se identificaron metodologías técnicas y científicas empleadas en la ubicación y análisis de la recarga, tales como las usadas para la deter-

minación de áreas de recarga hídrica natural (INAB 2003), la identificación de tierras forestales de captación y regulación hidrológica (INAB 2005), la determinación de la recarga de aguas subterráneas (FORGES sf), la identificación y mapeo de zonas potenciales de recarga en el desierto de Chihuahua (Granados 2005), el modelo analítico para determinar la infiltración (Schosinsky y Losilla 2000). Asimismo, Faustino (2006) ofrece una recopilación y análisis de métodos comunes para la identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica y Retamal (2006) ofrece criterios de identificación de las áreas prioritarias para la provisión de servicios hídricos.

La presente metodología considera la mayor parte de las variables usadas en las metodologías mencionadas, pero integrando elementos del conocimiento técnico de manera simplificada para que estén al alcance de los actores locales, que no tienen una formación teórica, técnica ni científica.

No hubo diferencias estadísticas entre el conocimiento de especialistas, técnicos y pobladores locales en cuanto a la identificación, a nivel de campo, de las zonas potenciales de recarga hídrica, lo que indica que todos los actores tienen opiniones similares en cuanto a los criterios o elementos a usar en la identificación de estas zonas. Asimismo, se encontró que dichos criterios coinciden con los utilizados por métodos técnicos y científicos, lo que ayuda a cumplir con el objetivo de combinar el conocimiento técnico y científico con el saber local.

Tanto el procedimiento empleado como el modelo propuesto ofrecen una forma práctica de identificar las zonas con potencial de recarga hídrica, por parte de los actores locales organizados en comités de cuencas, comités de agua y junta de pobladores, extensionistas u organismos que trabajen en la gestión del recurso hídrico. Es de hacer



Figura 3. Zonas potenciales de recarga hídrica para fuentes de agua en la subcuenca del río Jucuapa

notar, sin embargo, que hay otros métodos de mayor costo y que requieren de personal capacitado, que son más precisos en la identificación de las zonas de recarga hídrica.

La metodología propuesta esta diseñada para ser aplicada en microcuencas o subcuencas pequeñas, debido a las limitaciones logís-

ticas, metodológicas y de tiempo que implican los métodos participativos.

Conclusiones

■ A pesar de que las zonas de recarga hídrica son un tema novedoso para los actores locales, estos no tuvieron dificultad para definir criterios que ayudaran en la identificación

de estas zonas. Tales criterios coincidieron con los propuestos por técnicos y especialistas.

- La guía metodológica permite identificar y retomar el conocimiento de los pobladores comunitarios, lo que facilita la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.
- La guía metodológica permite transmitir conocimientos, compartir experiencias y crear conciencia en cuanto al manejo adecuado de los recursos naturales y el ambiente.
- Es posible conjugar el conocimiento técnico y científico con el saber y experiencia tradicional de los actores locales en la tarea de elaborar procedimientos prácticos para identificar y evaluar las zonas con mayor potencial de recarga hídrica dentro de una microcuenca o subcuenca hidrográfica.
- La propuesta metodológica ofrece una alternativa técnica, práctica y de bajo costo para identificar zonas de recarga hídrica y parte del conocimiento y la información que los actores locales tienen de su territorio y de procedimientos prácticos para evaluar el modelo propuesto.

Literatura citada

- Cox, C. 2006. Hidrogeología para la determinación de la conductividad hidráulica en la zona no saturada con el infiltrómetro de anillo simple. [Notas del curso de hidrogeología, Chile, Semestre Otoño 2006]. Santiago, CL. Universidad de Chile. 11 p.
- Cubero, D. 2001. Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras. San José, CR, MAG. 18 p.
- Custodio, G. 1998. Recarga de los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evolución y la incertidumbre. *Boletín Geológico y Minero* (109-4):13-29.
- Faustino, J. 2006. Identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica. [Notas de curso, San Salvador, del 24 al 27 de abril 2006]. Turrialba, CR, CATIE. 113 p.
- FORGES. Sf. Método RAS para determinar la recarga de aguas subterráneas. San Salvador, SV. 40 p.
- Granados, A. 2005. Uso de sistemas de información geográfica y sistemas de teledetección en la identificación y mapeo de potenciales zonas de recarga hacia acuíferos del desierto de Chihuahua (en línea). *CRISOL* 1(1):55-76. Disponible en www.uacj.mx/IADA/OferAcademica/MaestriaDesarrollo/crisol1.pdf
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2003. Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual Técnico. Guatemala. 106 p.
- _____. 2005. Identificación de las tierras forestales de captación y regulación hidrológica, subcuenca Los Vados, cuenca río Los Esclavos. Guatemala. 69 p.
- Losilla, M. 1986. Protección de las zonas de recarga de los acuíferos. *In Bases hidrológicas para el manejo de cuencas*. [Notas de curso, Turrialba, CR, mayo 1986]. Turrialba, CR, CATIE. 8 p.
- Matus, OD. 2007. Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 186 p.
- Retamal, D. 2006. Valoración económica de la oferta del servicio ecosistémico hídrico para consumo humano en el Municipio de Copan Ruinas, Honduras. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 140 p.
- Schosinsky, G; Losilla Penón, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central* 23: 43-55.
- UNESCO. 1986. Manual de uso y conservación del agua en zonas rurales de América Latina y el Caribe: agua, vida y desarrollo. Ciudad, país. Tomo 2. 120 p.