

# **Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica**

**Aplicación práctica en la subcuenca  
del río Jucuapa, Nicaragua**

Oscar Matus  
Jorge Faustino  
Francisco Jiménez

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
División de Investigación y Desarrollo  
Turrialba, Costa Rica, 2009



CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y España.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2009

ISBN 978-9977-57-502-5

333.73097285

M445 Matus, Oscar

Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica : aplicación práctica en la subcuenca del Río Jucuapa, Nicaragua / Oscar Matus, Jorge Faustino y Francisco Jiménez.

–. 1 ed. – Turrialba, C.R : Asdi ; CATIE, 2009.

40 p. : il. – (Serie técnica. Boletín técnico / CATIE ; no.38)

ISBN 978-9977-57-502-5

1. Cuencas hidrográficas – Cogestión – Nicaragua
  2. Recursos hídricos – Disponibilidad del agua – Nicaragua
  3. Cuencas hidrográficas – Río Jucuapa – Nicaragua
1. Faustino, Jorge II. Jiménez, Francisco III. Asdi IV. CATIE V. Título VI. Serie.

## Créditos

### Producción general

Lorena Orozco Vélchez

### Corrección de estilo

Elizabeth Mora Lobo

### Diseño y diagramación

Unidad de Comunicación, CATIE

### Fotos

Focuecas, Matagalpa

División de Investigación y Desarrollo

Sede Central, CATIE

www.catie.ac.cr

Publicación patrocinada por el Programa "Innovación, Aprendizaje y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas" (Focuecas II), ejecutado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), con financiamiento de la Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (Asdi). El contenido de este documento, ni las propuestas e ideología de la publicación corresponden necesariamente a los criterios de Asdi, ni representan las políticas oficiales.

<b>Introducción</b> .....	5
<b>Conceptos necesarios</b> .....	6
Escorrentía .....	6
Infiltración .....	6
Recarga y zonas de recarga .....	6
Factores que afectan la recarga hídrica .....	7
Clasificación de las zonas de recarga hídrica .....	8
<b>Guía práctica para identificar zonas potenciales de recarga hídrica</b> .....	9
Paso 1. Evaluación y definición de la zona en donde se va aplicar la metodología .....	10
Paso 2. Capacitación y participación de los diferentes actores locales .....	10
Paso 3. Identificación y ubicación de las fuentes de agua .....	10
Paso 4. Primer acercamiento a las zonas potenciales de recarga hídrica a partir del conocimiento y experiencia de los actores locales .....	11
Paso 5. Evaluación de los elementos del modelo propuesto .....	11
Pendiente y microrrelieve .....	12
Tipo de suelo .....	13
Tipo de roca .....	14
Cobertura vegetal permanente .....	14
Usos del suelo .....	16
Paso 6. Determinación del potencial de recarga de las zonas evaluadas .....	17
Paso 7. Elaboración del mapa de zonas potenciales de recarga hídrica .....	18
Paso 8. Caracterización de las zonas identificadas .....	18
Paso 9. Propuesta de estrategias y acciones .....	18
Paso 10. Difusión de los resultados .....	19
<b>Aplicación de la metodología propuesta. El caso de la subcuenca del río Jucuapa</b> .....	20
Elaboración del mapa de zonas potenciales de recarga hídrica identificadas por los pobladores .....	20
Determinación del potencial de recarga hídrica en las zonas identificadas .....	22
Elaboración del mapa de recarga hídrica potencial, según modelo propuesto .....	23
<b>Lecciones aprendidas</b> .....	26
<b>Recomendaciones</b> .....	27
<b>Bibliografía</b> .....	28
<b>Anexo</b> .....	29
Procedimientos para identificar zonas potenciales de recarga hídrica .....	29

**E**l agua es un recurso natural indispensable para toda forma de vida existente en la tierra ya que de ella depende la vida misma, la seguridad alimentaria y la salud de los ecosistemas. Si bien ocupa aproximadamente tres cuartas partes de la superficie del planeta, menos del 3% está disponible para el consumo. De ese porcentaje, el 70% se encuentra en los polos y sitios de nieves eternas, el 29% está almacenado en las profundidades de la tierra y el 11% restante en los ríos, lagos, pantanos, suelo, embalses, la atmósfera y en organismos vivos. El agua dulce y los ecosistemas conexos que suministran y renuevan el agua que necesita la humanidad se han venido deteriorando y el ciclo hidrológico se ha alterado debido, entre otras causas, a la impermeabilización del suelo en las principales zonas de recarga hídrica.

La lluvia en las zonas de recarga de los acuíferos son la principal y más importante fuente de abastecimiento de agua para los diferentes cursos, manantiales y cuerpos de agua subterráneos. Sin embargo, muchas de las prácticas en actividades como la agricultura, la ganadería, la producción forestal, el desarrollo urbanístico o la industria alteran las características de las zonas de recarga hídrica y dificultan la infiltración del agua al erosionar, compactar, impermeabilizar y dejar descubierto el suelo, lo cual genera una mayor escorrentía superficial y disminuye la recarga de los acuíferos. Esto reduce el nivel de las aguas subterráneas (acuíferos) y afecta la calidad de las aguas, que con frecuencia se vuelven inadecuadas para el consumo humano u otros usos como el riego.

En buena medida, el deterioro de las zonas de recarga hídrica y la disminución de la recarga se debe, por una parte, a que no se sabe dónde se ubican las principales áreas de recarga y, por otra, a que los actores locales u organismos responsables del manejo de las cuencas no disponen de metodologías prácticas necesarias (por ejemplo, para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica). El propósito de este documento es ofrecer una metodología práctica de bajo costo y de aplicación simple que permita a los actores locales identificar las zonas potenciales de recarga hídrica. Dicha metodología busca integrar el conocimiento técnico y científico con el conocimiento local de las comunidades.

## Conceptos necesarios

### Escorrentía

La escorrentía es la cantidad del agua de lluvia, riego o deshielo que excede la capacidad de infiltración del suelo. Cuando ese exceso de agua supera la capacidad de almacenamiento del suelo, esta fluye en sentido longitudinal a la pendiente (aguas abajo), hacia los arroyos, quebradas, ríos, lagos, embalses y océanos.

### Infiltración

Es el movimiento del agua desde la superficie hacia el interior del suelo por efecto de la gravedad. El agua se acumula en los poros del suelo y así puede ser utilizada por las plantas, o puede desplazarse a capas más profundas del suelo, donde alimenta a los mantos acuíferos. La capacidad de infiltración es la cantidad de agua que el suelo es capaz de absorber por unidad de tiempo (mm/h, cm/min, o cm/h); este valor es variable en función de la humedad, la composición y la compactación del suelo.

### Recarga y zonas de recarga

En términos generales, se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero el agua procedente de fuera del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (en general, la más importante) y de las aguas superficiales (importantes en climas poco lluviosos), hasta la transferencia de agua desde otro acuífero (Custodio 1998). El área o zona donde ocurre la recarga se llama **zona de recarga** y son sitios donde la capacidad de infiltración es alta.

Los acuíferos se recargan principalmente a través de la precipitación en “suelos de alta capacidad de infiltración” o rocas superficialmente permeables. Las áreas de recarga de los acuíferos pueden o no estar a grandes distancias de donde son utilizados (Losilla 1986).

Es importante identificar las zonas que, por sus características, facilitan la infiltración; esto es, aquellas que ofrecen los mayores aportes de recarga hídrica y, dentro de estas, aquellas que por sus particularidades específicas sean susceptibles de disminuir su potencial de recarga al ser sometidas a un manejo diferente a su capacidad. A estas áreas se les denomina **zonas críticas de recarga hídrica** (INAB 2003).

### Factores que afectan la recarga hídrica

La recarga hídrica depende del régimen de precipitación, de la escorrentía superficial y del caudal de los ríos, así como de la permeabilidad de los suelos, de su contenido de humedad, de la duración e intensidad de la lluvia y del patrón de drenaje de la cuenca. También la pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que los terrenos muy inclinados favorecen la escorrentía superficial; por el contrario, los terrenos con poca pendiente retienen por más tiempo el agua, lo que favorece la infiltración (INAB 2003).

Según INAB (2003), los factores que afectan la recarga hídrica son:

**El clima:** dentro de este, los factores que más afectan la recarga hídrica son la cantidad de lluvias y la evapotranspiración, debido a la pérdida de agua por la transpiración de las plantas y la evaporación del agua.

**El suelo:** los suelos impermeables y compactados impiden o dificultan la infiltración, mientras que los suelos permeables facilitan la recarga. Las características del suelo que influyen en la recarga son la textura, la densidad aparente, el grado de saturación (contenido de humedad) y la capacidad de infiltración.

**La topografía:** determina el tiempo de contacto entre el agua y la superficie; las pendientes fuertes favorecen la escorrentía superficial, disminuyen el tiempo de contacto y reducen la infiltración del agua.

**Los estratos geológicos:** la disposición de los diferentes materiales geológicos en los distintos estratos o capas del suelo hasta llegar a la zona saturada (agua subterránea) pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica.

**La cobertura vegetal:** esta disminuye la escorrentía superficial, ya que permite un mayor tiempo de contacto del agua con la superficie y facilita el proceso de infiltración; además, un porcentaje importante de la lluvia es interceptada por la cobertura vegetal. En este factor es necesario considerar la profundidad y densidad de las raíces y la capacidad de retención del dosel vegetal.

# Guía práctica para identificar zonas potenciales de recarga hídrica

La guía metodológica propuesta para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica consta de 10 pasos esquematizados en la Figura 1. A continuación se describen esos pasos.

**El escurrimiento:** el agua proveniente de las precipitaciones forma flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos, los cuales son captados por los cauces de los ríos.

## Clasificación de las zonas de recarga hídrica

Según Faustino (2006), de acuerdo con el movimiento del agua en el suelo, subsuelo y manto rocoso, las zonas de recarga hídrica se pueden clasificar en:

**Zonas de recarga hídrica superficial:** corresponden a prácticamente toda la cuenca hidrográfica, excepto las zonas totalmente impermeables. Después de cada lluvia, la zona de recarga hídrica superficial se humedece y origina escorrentía superficial, dependiendo de las condiciones de drenaje (relieve del suelo y saturación). La medición de ese caudal se realiza en el cauce principal del río y se conoce como descarga superficial o caudal de escorrentía superficial.

**Zonas de recarga hídrica subsuperficial:** corresponden a las zonas de la cuenca donde los suelos tienen capacidad para retener el agua o almacenarla superficialmente sobre una capa impermeable que hace que el flujo horizontal en el subsuelo se concentre aguas abajo en el sistema de drenaje. Es la ocurrencia de caudales en la red hídrica, aun cuando las lluvias hayan finalizado, que dependen de la cantidad de precipitación y el efecto “esponja” del suelo (libera lentamente el agua). Este caudal se mide igual que en el caso anterior y puede ocurrir después de las lluvias y en épocas secas, cuando el agua proviene de bosques.

**Zonas de recarga hídrica subterránea:** corresponden a las zonas de la cuenca (sitios planos o cóncavos y rocas permeables) donde el flujo vertical de la infiltración es significativo; esta es la que forma o alimenta los acuíferos. Un aspecto importante en esta zonificación es la conexión entre acuíferos y la recarga externa (que viene de otra cuenca). Para la evaluación se pueden considerar dos métodos: directo (mediante sondeos, bombes y prospección geofísica) e indirecto (mediante el balance hidrogeológico).

**Zonas de recarga hídrica sobterránea:** corresponden a zonas de la cuenca que presentan fallas geológicas profundas o donde el balance hidrogeológico genera pérdidas por percolación profunda.

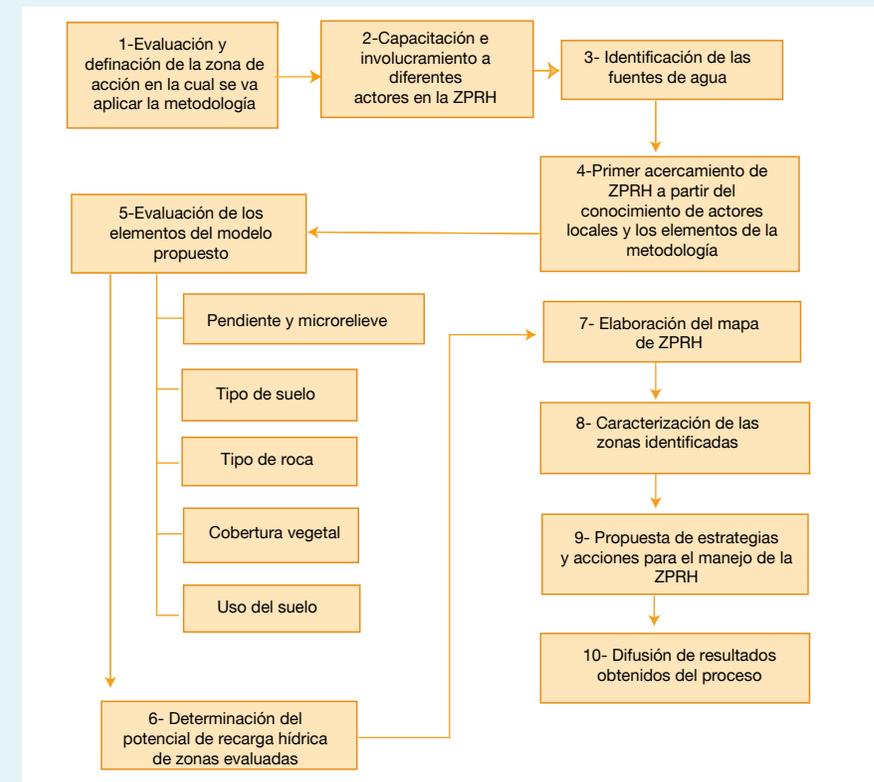


Figura 1. Pasos para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica

### **Paso 1. Evaluación y definición de las zonas en donde se va aplicar la metodología**

Un organismo, institución o comité de cuenca puede tener incidencia en varias microcuencas o subcuencas; por eso, el primer paso es evaluar la posibilidad y/o viabilidad de aplicar la metodología en determinado lugar. Para definir en cuál microcuenca o subcuenca se usará la metodología, se deben evaluar las características biofísicas y socioeconómicas de cada una. Esta evaluación permitirá determinar la o las microcuencas prioritarias donde se deben implementar medidas correctivas de manejo, ordenamiento o gestión, con el propósito de mejorar la disponibilidad de agua y la calidad de la misma. Sin embargo, siempre que haya posibilidad, se debe aplicar la metodología en todas las microcuencas.

### **Paso 2. Capacitación y participación de los diferentes actores locales**

Quienes residen en las comunidades deben conocer y familiarizarse con los conceptos y elementos básicos necesarios para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica. Asimismo, en la identificación de dichas zonas, se les debe alentar a compartir sus conocimientos y experiencias prácticas relacionadas con el tema del agua, ya que ellos mejor que nadie conocen su territorio. Esto equivale a tener una fotografía de la subcuenca.

Los actores locales deben ser los protagonistas de los procesos de desarrollo que se generen dentro de su comunidad; de manera conjunta y concertada, deben ser ellos quienes busquen alternativas de solución para los problemas que enfrentan. Los funcionarios de instituciones y personal técnico únicamente deben orientar, guiar y facilitar dichos procesos.

### **Paso 3. Identificación y ubicación de las fuentes de agua**

En un mapa de la comunidad se identifican las principales fuentes de agua (pozos, manantiales, ojos de agua) con la ayuda de los actores locales que participan en la aplicación de la metodología. En la medida de lo posible, es recomendable georreferenciar cada una de las fuentes de agua identificadas; en este aspecto es importante tener el apoyo de un técnico que maneje bien el GPS.

La localización de las fuentes de agua es el punto de partida para identificar las

zonas potenciales de recarga porque dan una idea de la dirección de los flujos del agua, ya que el agua se mueve de los lugares de mayor presión hacia los de menor presión y, por gravedad, de las partes más altas a las más bajas. Con ello se puede inferir que las zonas de recarga hídrica se encuentran en sitios a mayor altitud que las zonas de descarga.

### **Paso 4. Primer acercamiento a las zonas potenciales de recarga hídrica a partir del conocimiento y experiencia de los actores locales**

Una vez localizadas las fuentes de agua se procede con un análisis teórico de las posibles zonas de recarga (en colaboración con los actores locales). Para ello se identificarán los lugares que presenten las características de una zona de recarga hídrica subsuperficial o subterránea (pendiente suave, tipo de suelo permeable, tipo de roca porosa, buena cobertura vegetal, usos del suelo con prácticas que favorecen la infiltración). Luego se evalúan los sitios identificados haciendo uso de las herramientas o métodos prácticos que se describen en el Anexo. La evaluación de cada uno de los elementos que integran el modelo propuesto la realizan los actores locales con apoyo de un técnico facilitador.

### **Paso 5. Evaluación de los elementos del modelo propuesto**

Las zonas potenciales de recarga hídrica se podrán identificar evaluando básicamente los siguientes elementos biofísicos:

- Pendiente y microrrelieve
- Tipo de suelo
- Tipo de roca
- Cobertura vegetal
- Uso del suelo

La ponderación a usar en la evaluación de cada elemento va de 1 a 5, donde 1 corresponde al valor más bajo (características menos favorables para que ocurra la recarga hídrica). A continuación se detalla 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 y se aceleran los procesos de erosión y compactación de los suelos; esto indica que el relieve afecta de forma negativa. Por el contrario, en lugares con relieves planos, semiplanos y cóncavos se favorece el proceso de infiltración y recarga hídrica al permitir un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo.

Al igual que el relieve, la pendiente es un criterio muy importante para el análisis e identificación de las zonas con potencial para la recarga hídrica, ya que está directamente relacionada con la escorrentía superficial. En los sitios con pendientes altas o fuertes aumenta la velocidad de la escorrentía, lo que modifica las condiciones del suelo, la capacidad de recarga y la susceptibilidad a la erosión; 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 la determinación de la pendiente y el microrrelieve se hace un recorrido por el área con el fin de visualizar la forma del microrrelieve. Además, para el cálculo de la pendiente se utiliza un método práctico y de fácil aplicación en campo, como el **agronivel** que se muestra en el Anexo, donde se detallan los procedimientos para la evaluación de zonas potenciales de recarga hídrica. En la ponderación de la pendiente se emplea la matriz que se detalla en el Cuadro 1.

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

Microrrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 - 6	Muy alta	5
Moderadamente ondulado o cóncavo	6 - 15	Alta	4
Ondulado/cóncavo	15 - 45	Moderada	3
Escarpado	45 - 65	Baja	2
Fuertemente escarpado	> 65	Muy baja	1

### Tipo de suelo

El análisis y evaluación del tipo de suelo es importante porque refleja su textura, porosidad, permeabilidad y compactación. Así, entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración. Las zonas de recarga hídrica deben ser muy permeables para asegurar una alta capacidad de infiltración; es decir que en suelos con textura gruesa, porosos -y por lo tanto, permeables - se dan buenos niveles de recarga hídrica. Por el contrario, los suelos de textura fina, arcillosos, pesados y compactados impiden o dificultan la recarga hídrica. Para encontrar las zonas potenciales de recarga hídrica hay que evaluar en el campo, junto con los actores locales, dos elementos que influyen en la permeabilidad del suelo: la textura y la capacidad de infiltración. En el Anexo se detallan los procedimientos a seguir. La ponderación de la capacidad de recarga en los diferentes tipos de texturas se presenta en el Cuadro 2.

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

Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelos franco arenosos a arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h).	Muy alta	5
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12,7 - 25 cm/h).	Alta	4
Suelos franco limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 - 12,7 cm/h).	Moderada	3
Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 - 2 cm/h).	Baja	2
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0,13 cm/h).	Muy baja	1

### Tipo de roca

El análisis y evaluación del tipo de roca permite determinar si la recarga es subsuperficial (recarga hídrica) o profunda de aguas subterráneas (acuífero). Se puede tener una zona con buenas características climáticas, de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y buen uso del suelo que favorezcan la recarga del acuífero, pero si existe una capa de material rocoso o arcilla impermeable que no permite el paso del agua hacia las capas profundas del suelo, no habrá recarga de las aguas subterráneas sino que se formará un flujo de agua subsuperficial, con movimiento horizontal, que saldrá a la superficie a través de un manantial o alimentará a un río (INAB 2003).

Al igual que con el tipo de suelo, las características de las rocas que determinan su capacidad de recarga son la porosidad y la permeabilidad. Las rocas duras con poros finos no favorecen la recarga; por el contrario, las rocas suaves o permeables, con macroporos, fallas o fracturas sí favorecen la recarga de los acuíferos. El análisis y evaluación del tipo de roca se hace en campo con la participación, el conocimiento y experiencia de los actores locales. Ver en el Anexo los procedimientos para determinar el tipo de roca; en el Cuadro 3 se ofrece la ponderación de su capacidad de recarga hídrica.

### Cobertura vegetal permanente

Se entiende como cobertura vegetal al porcentaje del suelo ocupado por comunidades vegetales permanentes. La cobertura del suelo es otro elemento considerado en la metodología porque es un factor que influye en la infiltración del agua, ya que permite un mayor contacto con el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol. Todo esto contribuye a conservar las características del suelo que favorecen la recarga hídrica. La cobertura vegetal puede facilitar la infiltración del agua aún en suelos duros y arcillosos.

La presencia de varios estratos de cobertura vegetal favorece la recarga hídrica y ayuda a conservar las características del suelo que también favorecen la recarga. Al hablar de estratos se consideran básicamente tres: los árboles, los arbustos y las hierbas. Todos ellos garantizan una mejor cubierta vegetal, mayor cantidad de materia orgánica, mayor retención del agua y mayor infiltración.

**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; por ejemplo, arena gruesa, piedra pómez, grava o cascajo.	Muy alta	5
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cementación.	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión entre poros.	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; por ejemplo, la combinación de gravas con arcillas.	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	Muy baja	1

La evaluación de la cobertura vegetal se puede hacer en el campo por medio de un recorrido que nos permita determinar los diferentes usos permanentes del suelo en la zona con potencial de recarga hídrica y los estratos presentes; para ello se hace uso de la clasificación que se muestra en el Cuadro 4.

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

Cobertura vegetal permanente (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

### Usos del suelo

El uso del suelo es el elemento más cambiante y con mayor influencia de la actividad humana. Un uso inadecuado del suelo puede disminuir la recarga del acuífero hasta en un 50%; a la vez, hace que aumenten los riesgos naturales y la pérdida de suelo por erosión hídrica o eólica (FORGAES sf). Con este elemento metodológico se busca establecer el grado en el que una determinada actividad o cambio de uso del suelo influye en el deterioro de las características del suelo, en la erosión y compactación y en la reducción de la capacidad de infiltración y de recarga hídrica.

Es necesario encontrar los usos que, por sus características, favorecen la infiltración del agua, como los sistemas silvopastoriles y agroforestales, el uso e incorporación de materia orgánica, o los asociados de cultivos. Además, hay que reconocer aquellos cultivos que afectan las características de suelo, dificultan la infiltración y favorecen la evaporación, la compactación y el escurrimiento superficial del agua, como la agricultura intensiva sin obras de conservación, la ganadería extensiva, la labranza convencional, o el uso de maquinaria agrícola.

La evaluación de los usos del suelo se puede realizar mediante un recorrido en el campo con la participación de los diferentes actores locales para levantar la lista de los usos que se dan en la zona potencial de recarga hídrica. El Cuadro 5 ofrece una clasificación del potencial de diferentes usos para la recarga hídrica.

**Cuadro 5.** Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso del suelo

Uso del suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque donde se dan 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 y agua	Regular	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

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

Para determinar el **potencial de recarga hídrica** se emplea la ecuación siguiente. En ella se sustituye cada uno de los elementos del 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:

- Pend:* Pendiente y microrrelieve
- TS:* Tipo de suelo
- TR:* Tipo de roca
- CVE:* Cobertura vegetal permanente
- US:* Usos del suelo

Para determinar la **posibilidad de recarga hídrica** de una zona dada, una vez que se evalúan las características de la zona considerando los elementos de la metodología y las tablas diseñadas para tal efecto (tablas de evaluación), se multiplica cada resultado obtenido por su factor correspondiente y se suman los elementos. Esa sumatoria corresponde a un número dentro de un rango de posibilidades de recarga hídrica, el cual se detalla en el Cuadro 6. La asignación de pesos relativos a cada elemento se hace en función de la importancia de ese elemento en el proceso de infiltración del agua; o sea que los criterios que más favorecen la infiltración del agua en el suelo son los de mayor importancia. Los indicadores en la ecuación anterior corresponden a los pesos relativos consensuados para la subcuenca. En dicha asignación es conveniente contar con la experiencia de los extensionistas que trabajen en la zona.

**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**

Un mapa es una representación gráfica de un territorio y se usa con el propósito de conocer mejor el entorno; además, constituye una fuente importante de información sobre los diferentes usos que se dan en el territorio en cuestión. El mapa se elabora con el fin de dejar evidencia de las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas. Esto ayudará a otros actores a localizar dichas zonas y que se tomen en cuenta cuando se quieran establecer planes, estrategias y acciones enmarcadas en el ordenamiento, protección y manejo sostenible de los recursos naturales, para que las personas de la comunidad tengan idea de dónde se está infiltrando el agua que recarga las diferentes fuentes de agua que usan y que tomen conciencia de que los usos y manejos que le den a dichas zonas afectan de una u otra manera la cantidad y calidad del agua que consumen y usan para sus diferentes actividades.

### **Paso 8. Caracterización de las zonas identificadas**

Esta debe contener los resultados de la evaluación realizada; es decir, ofrecer una descripción de las características de la zona potencial de recarga identificada, en cuanto a la pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal permanente y usos del suelo. Todo esto permitirá formarse una idea de la zona identificada y determinar las características que pueden estar afectando la recarga hídrica, a fin de definir las medidas que se deben tomar para favorecer la recarga. Las características más importantes para el potencial de recarga hídrica son aquellas sobre las cuales la población tiene influencia.

Esta caracterización debe servir como base para orientar, ordenar y proponer alternativas para el manejo sostenible de las zonas de recarga hídrica identificadas, de manera que se garantice el abastecimiento de agua en cantidad y de calidad.

### **Paso 9. Propuesta de estrategias y acciones**

En este paso se brindan recomendaciones y se proponen estrategias y acciones para ordenar y mejorar el uso y manejo de dichas zonas, con el fin de garantizar la sostenibilidad de los flujos de recarga hídrica y la calidad del agua para el consumo humano. Entre esas acciones está la prevención y manejo de fuentes de contaminación en estas áreas.

Para la planificación e implementación de estrategias para el manejo de dichas zonas se deben considerar ciertos aspectos básicos como los siguientes: a) **el contexto físico**, el cual se refiere a las características físicas de la zona (paso 5), b) **el contexto del manejo**, actividades de manejo que se han dado o se están dando en las zonas de recarga y c) **el contexto legal**, referente a la tenencia de la tierra y el marco jurídico nacional relacionado con los recursos naturales. Esto servirá de referencia para el proceso de planificación de las estrategias de intervención, manejo, ordenamiento y gestión de las zonas de recarga hídrica.

### **Paso 10. Difusión de los resultados**

Es necesario que los actores locales, facilitadores, organismos e instituciones locales conozcan los resultados del proceso de aplicación de la metodología y las recomendaciones para la cogestión de las zonas potenciales de recarga hídrica. Con ello se busca unir esfuerzos para el trabajo conjunto en pro de la conservación del recurso hídrico en la subcuenca hidrográfica.

También es conveniente promover campañas de enseñanza, aprendizaje y sensibilización a las comunidades acerca de las zonas de recarga hídrica. Se debe señalar lo que se ha venido haciendo mal en el manejo de estas áreas, enfatizar la importancia que tienen para garantizar la cantidad y calidad del agua y destacar lo que se debe hacer para mantener y/o recuperar el buen funcionamiento de estas zonas en la comunidad o subcuenca.

## Aplicación de la metodología propuesta. El caso de la subcuenca del río Jucuapa

La subcuenca intermunicipal del río Jucuapa (Figura 2) se ubica en la región central de Nicaragua, departamento de Matagalpa; drena al río Grande de Matagalpa a través de numerosos tributarios y es compartida por los municipios de Matagalpa y Sébaco. La subcuenca comprende ocho comunidades del municipio de Matagalpa (Nuestra Tierra, Las Mercedes, Ocotal, Ocote, Jucuapa Centro, Jucuapa Occidental, Limixto y Jucuapa Abajo) y una del municipio de Sébaco (Santa Cruz). En las nueve comunidades habita un total de 792 familias y 4339 personas aproximadamente.

La superficie de la subcuenca es de 40,5 km<sup>2</sup> (4057 ha) y recibe una precipitación media anual de 1164 mm, la temperatura media anual es de 25,2°C, las pendientes dominantes son del rango de 15 a 30% y representan el 32,97% del área total.

Para la aplicación de la metodología se seleccionaron ocho fuentes de agua ubicadas en siete comunidades de la subcuenca (Nuestra Tierra, El Ocotal, Jucuapa Centro, Ocote Sur, Jucuapa Occidental, Limixto y Jucuapa Abajo). Se generó un mapa de las zonas potenciales de recarga hídrica de las ocho fuentes, luego se determinó el potencial de recarga de las zonas identificadas y se compararon los resultados de dos formas distintas pero aplicando el mismo modelo propuesto: 1) análisis junto con los actores locales siguiendo el procedimiento propuesto y 2) superposición de las unidades de mapeo (tipo de suelo, pendiente, usos del suelo, geología, cobertura vegetal) evaluadas según los parámetros propuestos en la metodología. Para ello se empleó la herramienta "Map Calculator" del programa ArcView.

### Elaboración del mapa de zonas potenciales de recarga hídrica identificadas por los pobladores

Una vez que los actores locales identificaron y evaluaron cada una de las zonas potenciales de recarga para cada fuente de agua seleccionada, mediante recorridos de campo y analizando y evaluando ellos mismo la pendiente, el microrelieve, el tipo de suelo, el tipo de roca, la cobertura vegetal y el uso del suelo, se procedió a georreferenciar cada zona de recarga con la ayuda de GPS y la participación de los actores locales. Dicha georreferenciación se realizó siguiendo

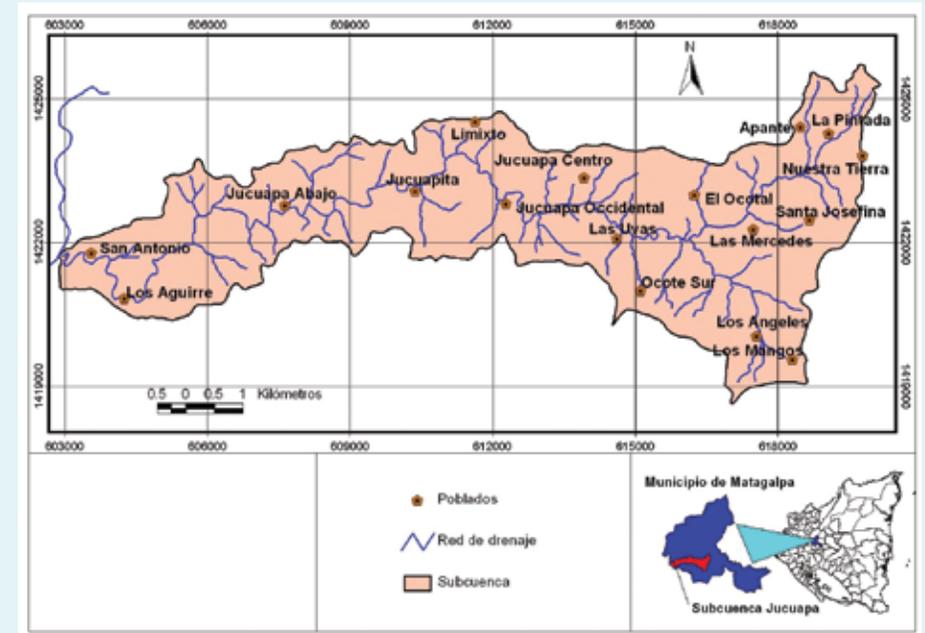


Figura 2. Ubicación de la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua

la conformación del relieve en función de la pendiente; se recorrió toda el área para observar bien la forma del relieve y la pendiente, buscando que el área potencial de recarga mostrara uniformidad en cuanto a estas características; así se definieron los límites de dichas zonas.

Con las zonas identificadas y georreferenciadas se procedió a descargar los puntos al programa ArcView GIS, para elaborar los polígonos y el mapa de las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas por los comités de la cuenca del río Jucuapa (Figura 3). Es importante destacar que no se alcanzó a evaluar todas las zonas identificadas por los pobladores comunitarios y que dichas zonas (polígonos rojos en el mapa) pueden aumentar en la medida que se continúe evaluando las zonas que se ubican aguas arriba de las fuentes de agua y que presenten buenas características de infiltración.

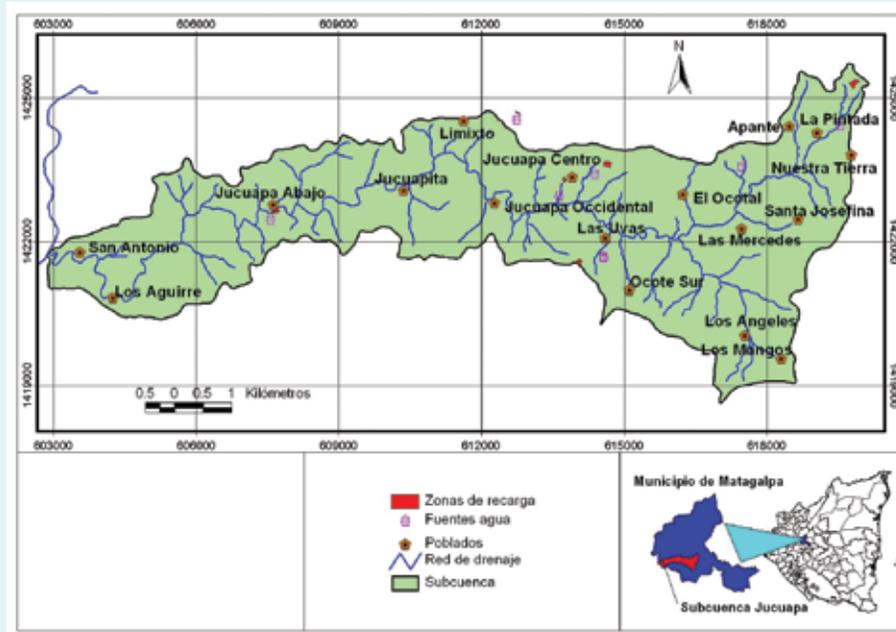


Figura 3. Zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Jucuapa

### Determinación del potencial de recarga hídrica en las zonas identificadas

Para determinar el potencial de recarga hídrica en las zonas identificadas se aplicó la siguiente ecuación.

$$ZR = [0,27(Pend) + 0,23(Ts) + 0,12(Tr) + 0,25(Cve) + 0,13(Us)]$$

Por ejemplo, para el caso de la zona evaluada en la comunidad de Nuestra Tierra se tiene:

$$ZR = [0,27(4) + 0,23(4) + 0,12(3) + 0,25(4) + 0,13(5)]$$

$$ZR = 4,01$$

En el Cuadro 7 se muestra la ponderación de cada elemento evaluado, la puntuación alcanzada en cada sitio y la posibilidad de recarga de dichos sitios. Las zonas que tienen posibilidades altas para que ocurra la recarga hídrica presentan características que favorecen la infiltración del agua en el suelo. Las áreas de moderada posibilidad podrían, con un buen manejo, mejorar su capacidad de recarga hídrica.

**Cuadro 7.** Resumen de evaluación de cada elemento y posibilidad de recarga por cada sitio

Comunidad	Criterios evaluados					Sumatoria	Posibilidad de recarga
	Pendiente	Tipo suelo	Tipo roca	Cobertura vegetal	Usos suelo		
Nuestra Tierra	1,08	0,92	0,36	1,0	0,65	4,01	Alta
El Ocotal	1,08	1,15	0,36	0,5	0,65	3,74	Alta
Jucuapa Centro	1,08	0,92	0,48	0,25	0,52	3,25	Moderada
Ocate Sur	1,08	0,92	0,48	0,25	0,52	3,25	Moderada
Jucuapa Occidental	1,08	0,92	0,24	0,5	0,52	3,26	Moderada
Limixto	1,08	0,92	0,36	0,75	0,65	3,76	Alta
Jucuapa Abajo	1,08	1,15	0,36	0,25	0,39	3,23	Moderada

### Elaboración del mapa de recarga hídrica potencial, según el modelo propuesto, pero utilizando el programa ArcView

La elaboración de este mapa con la aplicación del modelo propuesto a través de un procedimiento más técnico (sobreposición de unidades de mapeo utilizando ArcView) permitió validar la metodología. Además, se pudo establecer comparaciones entre los mapas resultantes de zonas potenciales de recarga hídrica en un caso elaborado por los actores locales y en el otro, obtenido mediante ArcView.

Este mapa de recarga hídrica potencial de la subcuenca del río Jucuapa se basó en las unidades de mapeo: tipo de suelo, usos del suelo (del cual se derivó la cobertura vegetal), geología y pendiente. Cada unidad de mapeo fue evaluada con las ponderaciones propuestas en la metodología y, posteriormente, con la ayuda de la herramienta *Map Calculator* del programa *ArcView*, se aplicó el modelo propuesto que permitió generar el mapa de las zonas con potencial de recarga de la subcuenca (Figura 4).

Hay que destacar que la sobreposición de unidades de mapeo (cuando se dispone de ellas) es una alternativa técnica viable para identificar y definir el potencial de recarga en cuencas o subcuencas hidrográficas. El mapa muestra que en la subcuenca se dan las cinco categorías de posibilidad de recarga hídrica, aunque predomina la posibilidad moderada (59,4%), seguida por una alta posibilidad de ocurrencia de recarga (21,0%), baja posibilidad (16,7%), muy alta posibilidad (1,6%) y muy baja posibilidad (1,2%). En consecuencia, por sus características físicas la subcuenca se clasifica como buena para que ocurra la recarga hídrica o la infiltración del agua en el suelo, ya que el 80,4% del área total se ubica en las categorías de moderada y alta posibilidad de ocurrencia de recarga hídrica. Dicho de otra manera, la cantidad de agua que se precipita y queda disponible en la subcuenca tiene de moderadas a altas posibilidades de que se infiltre y recargue los acuíferos.

Al comparar las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas por los actores locales (Figura 3), así como la clasificación del potencial de recarga asignado por los mismos actores (Cuadro 7) con el mapa de recarga hídrica potencial elaborado con *ArcView*, y aplicando el mismo modelo propuesto con la transposición de unidades de mapeo, se obtuvo bastante concordancia entre ambas clasificaciones, como lo muestra el Cuadro 8, las escalas no son comparables, ya que por un lado los actores locales identificaron pequeñas zonas de recarga para fuentes de agua (polígonos rojos en Figura 3), mientras que el modelo aplicado con la ayuda de unidades de mapeo y el programa *ArcView* identifica las zonas de recarga a nivel de la subcuenca. En aplicaciones futuras, para mejorar la escala de comparación se deberían evaluar más puntos distribuidos en las diferentes partes de la subcuenca y/o fuentes de agua, lo que daría mayor número de polígonos y una mejor comparación de los resultados.

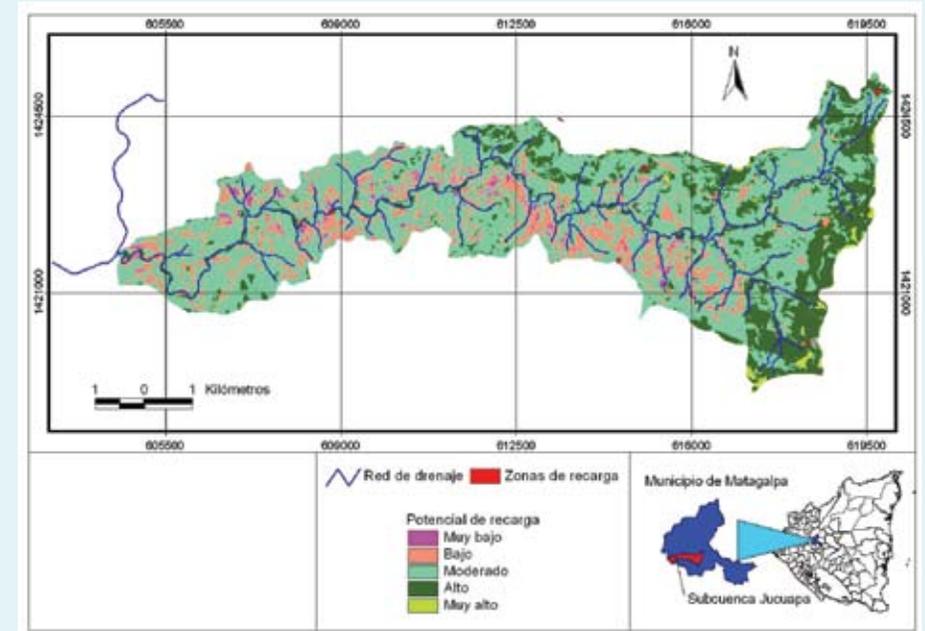


Figura 4. Mapa de potencial de recarga hídrica de la subcuenca del río Jucuapa

**Cuadro 8.** Comparación de la posibilidad de recarga hídrica en la subcuenca del río Jucuapa

Comunidad	Posibilidad de recarga según evaluación de actores locales	Posibilidad de recarga según mapa generado con <i>Arc View</i>
Nuestra Tierra	Alta	Alta y moderada
El Ocotal	Alta	Alta y muy alta
Jucuapa Centro	Moderada	Alta y moderada
Ocote Sur	Moderada	Moderada y baja
Jucuapa Occidental	Moderada	Moderada y alta
Limixto	Alta	-
Jucuapa Abajo	Moderada	Moderada

## Lecciones aprendidas

1. Aún sin tener un conocimiento técnico o científico, muchos productores locales tienen la capacidad de reconocer los sitios que presentan características favorables para la recarga hídrica en una microcuenca. El análisis sistemático de algunas características del suelo, de la cobertura vegetal, de tipo de rocas y del uso del suelo ayuda a concretar y facilitar esa capacidad.
2. El conocimiento local es un recurso muy valioso que se consolida principalmente a través de la observación, la práctica y la experiencia. Muchas veces, tal conocimiento es subestimado por los técnicos y profesionales; es necesario hacer un esfuerzo para conjuntar y armonizar el saber local con el saber técnico y científico. En la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Jucuapa se evidenció la complementariedad, importancia y necesidad de ambos conocimientos.
3. Generalmente existe gran disposición de los actores locales a aprender cosas nuevas, aplicar sus conocimientos y sentirse sujetos (y no objetos) de la cooperación técnica en temas como la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica. Esto plantea un gran reto: cambiar la formación y estilo de trabajo de los técnicos para que se constituyan realmente en facilitadores de procesos y no ser simples instructores.
4. El agua, como recurso de interés prioritario para la población, es un mecanismo para viabilizar la participación real, el trabajo colaborativo, la acción-investigación participativa, la toma de conciencia, la valoración de los recursos y el empoderamiento de las familias y actores locales en una microcuenca.
5. Las metodologías simples, de bajos requerimientos económicos y sustentadas en la cogestión, como la que se propone en este documento, pueden ser herramientas valiosas, aún si no son científicamente muy rigurosas. Con esta herramienta, las juntas, comités y asociaciones de agua o de cuencas puedan avanzar en la planificación e implementación de acciones de manejo, conservación y protección de zonas prioritarias de recarga hídrica, antes que sea muy tarde para evitar la degradación de estas áreas. Si se espera hasta completar estudios complejos y exhaustivos, quizás mañana ya sea muy tarde.

## Recomendaciones

1. Antes de iniciar el proceso, es necesario realizar un taller participativo donde se expliquen y compartan los procedimientos a seguir en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.
2. El acompañamiento técnico debe ser parte del proceso de familiarización, adopción y empoderamiento de la metodología.
3. Se recomienda ajustar el modelo propuesto según las condiciones o características de las subcuencas donde se pretenda aplicarlo, ya que este modelo se diseñó según las características de una cuenca de montaña donde el principal elemento es la pendiente; en condiciones de cuencas planas habría que ajustarlo y definir los elementos de mayor relevancia.
4. En la identificación de las fuentes de agua con los actores locales se debe evaluar un mayor número de zonas potenciales de recarga distribuidas en todas las secciones de la subcuenca o microcuenca. Esto permitirá mejorar la comparación de resultados obtenidos de forma participativa o mediante el modelo con unidades de mapeo.
5. El proceso de validación de la guía metodológica debe considerar otros métodos técnico-científicos más precisos que definan las zonas de recarga, o en su defecto, aplicar la metodología en cuencas donde ya se hayan identificado las zonas de recarga con métodos científicos precisos, con el propósito de ajustar y mejorar el modelo propuesto.

- Custodio, G. 1998. Recarga a los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evolución y la incertidumbre. *Boletín Geológico y Minero* (109-4):13-29.
- Faustino, J. 2006. Curso de Postgrado "Identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica" [Notas de clase]. San Salvador, SV, CATIE. 113 p.
- FORGAES (Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador). sf. Método RAS para determinar la recarga de aguas subterráneas. San Salvador, SV. 40 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2003. Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual Técnico. Guatemala, GT. 106 p.
- Losilla, M. 1986. Protección de las zonas de recarga de los acuíferos. *In* Curso de Postgrado "Bases hidrológicas para el manejo de cuencas". Turrialba, CR, CATIE. 8 p.
- Matus, S. 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.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 1986. Manual de uso y conservación del agua en zonas rurales de América Latina y el Caribe: agua, vida y desarrollo. Mendoza, AR. Tomo 2. 120 p.

## Procedimientos para identificar zonas potenciales de recarga hídrica

Para evaluar las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas por los actores locales se proponen una serie de procedimientos prácticos y de fácil aplicación en el campo, los cuales permitirán a los actores comunitarios definir el potencial de recarga hídrica según cada uno de los elementos evaluados. Dichos procedimientos se describen a continuación:

### 1. Procedimiento para la determinación de la pendiente

La herramienta que se muestra en la figura siguiente (Figura A-1) es de construcción fácil y sencilla y de uso múltiple. Para hacerla se necesitan únicamente materiales de la finca y herramientas del productor. En nuestro caso sirve para trazar curvas a nivel, curvas con pendientes (desnivel) y determinar la pendiente de un terreno.

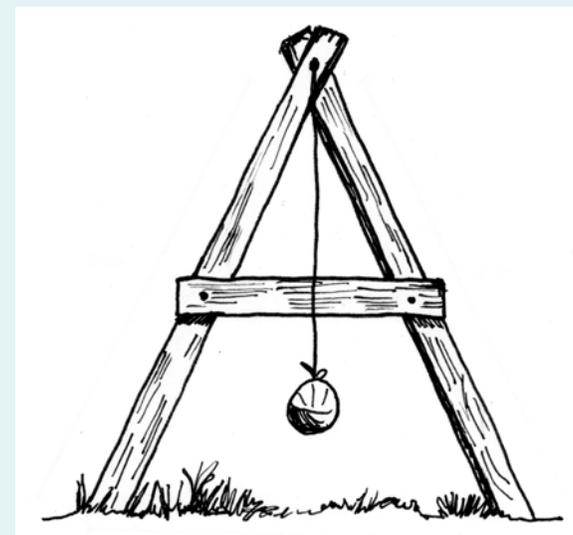


Figura A-1. Agronivel

En la construcción del agronivel se necesitan:

- Dos trozos de madera de 2 metros y un trozo de 1,10 m por 5 cm de diámetro (cada vara)
- Una cinta métrica
- Un machete
- Tres clavos
- Una cuerda o manila
- Plomada, con una piedra o botella con arena

Debido a que los terrenos no son parejos, es necesario sacar un promedio de varias medidas de la pendiente para obtener una medida correcta de la pendiente. Por lo general, para determinar la pendiente de un sitio escogemos cinco o más puntos diferentes por manzana o hectárea.

Como primer paso, nos situamos en un punto para determinar la pendiente. Se coloca una de las patas del aparato en la parte alta del terreno y la otra se levanta en el aire hasta que el aparato encuentre el nivel. Una vez que el aparato esté a nivel, se procede a medir con una cinta métrica la distancia que hay entre la pata (en el aire) y el suelo, y se anota dicha lectura. Ese dato se divide entre dos y el resultado es la pendiente en porcentaje de ese punto. Por ejemplo, si la lectura dio  $20 \text{ cm} \div 2 = 10\%$

El procedimiento se repite en los puntos restantes y se suman los resultados de las pendientes en los cinco puntos; ese resultado se divide entre cinco para obtener la pendiente promedio de la zona o parcela.

## 2. Procedimiento para evaluar la textura del suelo

Debido a la heterogeneidad de los terrenos, de ser necesario hay que subdividir la parcela en subparcelas uniformes. Es decir que la textura debe estimarse por sectores de suelo de aspecto similar. Se debe obtener una muestra compuesta (mezcla de varias submuestras) para asegurar la representatividad de las propiedades edáficas de un área homogénea. En cada uno de los sectores o sitios se toman cinco muestras en zigzag por manzana o hectárea.

En cada sitio de muestreo, primero se limpia el área para eliminar la cobertura vegetal u hojarasca, luego se hace un hoyo cuadrado o en forma de V, del ancho de la pala, por 50 – 100 centímetros de profundidad; entre más profundo, mejor. Se corta una porción de 1,5 cm de la pared del hoyo y se retira la mayor parte de la muestra con la hoja de la pala. Cada muestra de suelo debe incluir tierra de toda la profundidad de muestreo.

La tierra de cada hoyo se mezcla bien para obtener una muestra homogénea. Cada muestra debe pesar una libra y se guarda en un balde. Una vez que se han sacado las muestras de todos los lugares, se mezcla bien la tierra que se recogió de los diferentes hoyos.

En campo se puede determinar la textura del suelo al tacto; para ello se humedece cierta cantidad del suelo y se amasa entre los dedos hasta formar una pasta homogénea. Luego se toma una pequeña cantidad entre los dedos índice y pulgar y se presiona tratando de que se forme un hilo y, a continuación, se describen las características según las siguientes categorías. En la Figura A-2 se ilustran los diferentes tipos de texturas del suelo y la apariencia en cada caso.

- a) Arenoso:** el suelo permanece suelto y en granos simples; puede ser amontonado pero no moldeado.
- b) Franco arenoso:** el suelo se puede moldear en forma esférica pero se desgrana fácilmente, con más sedimentos.
- c) Limoso:** se puede enrollar en cilindros cortos.
- d) Franco:** el suelo tiene partes iguales de arena, sedimentos y arcilla que pueden ser amasadas en una trenza gruesa de hasta 15 cm de largo que se rompe al doblarse.
- e) Franco arcilloso:** el suelo puede ser amasado y formar una D fácilmente; si se hace con cuidado, se puede doblar en U sin romperse.
- f) Arcilla liviana:** el suelo es suave y al doblarse en un círculo se agrieta un poco.
- g) Arcilla:** se maneja como plastilina; se puede formar un círculo sin que se agriete.

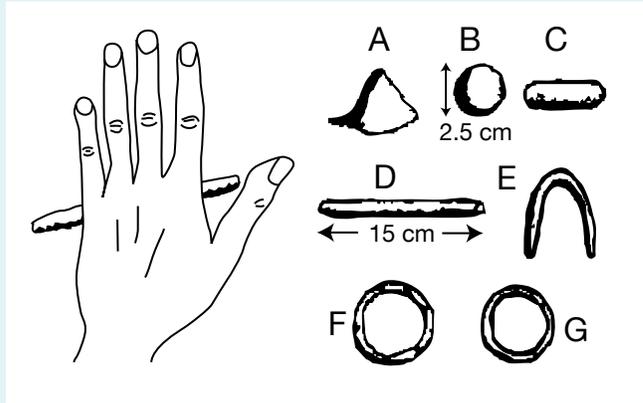


Figura A-2. Determinación textura del suelo al tacto

### 3. Procedimiento para evaluar la capacidad de infiltración del suelo

Esta capacidad se determina mediante un **infiltrómetro de anillo simple**. Este instrumento permite conocer la permeabilidad del suelo, simulando el proceso de infiltración del agua en el suelo. La prueba consiste en medir la infiltración acumulada en función del tiempo. El diámetro del anillo simple puede variar de 30 a 60 cm y la altura de 20 a 30 cm. Básicamente, el procedimiento consiste en enterrar verticalmente el anillo en el suelo unos pocos centímetros, luego se rellena con agua a una altura no mayor de 10 cm y, finalmente, con la regla y el cronómetro se mide la variación de la altura del agua en el tiempo. Este método es uno de los más simples que existen para medir la tasa de infiltración, pero aun así tiene un buen grado de precisión.

Materiales necesarios para hacer un infiltrómetro de anillo simple:

- Anillo de metal de 30 cm de diámetro y 25 cm de altura
- Martillo o mazo
- Regla de metal de al menos 30 cm
- Cinta adhesiva
- Dos bidones (baldes) de 20 litros cada uno

- Plato
- Cronómetro o reloj

#### Procedimiento:

**Paso 1.** Limpiar el lugar donde se instalará el cilindro; hay que sacar hojas, basura e impurezas que impidan el flujo normal del agua.

**Paso 2.** Enterrar el anillo aproximadamente 10 cm de la forma más vertical posible en el lugar seleccionado y previamente limpiado. Martillar con fuerza los bordes; para que el borde opuesto no se suelte, se recomienda presionar con un pie. Hay que asegurarse de que el cilindro penetre de manera uniforme, por eso se debe martillar alrededor de todo el anillo.

**Paso 3.** Colocar la regla verticalmente en el interior del anillo para medir el nivel del agua. Un lugar recomendable para poner la regla es la línea de la soldadura, porque esta es aproximadamente vertical. La regla se fija con cinta adhesiva para que no se mueva.

**Paso 4.** Colocar el plato en el interior del anillo y vaciar el agua suavemente hasta que el nivel de agua esté entre 8-10 cm. El plato evita que el chorro golpee directamente el suelo porque se pueden alterar las propiedades de este.

**Paso 5.** Registrar el tiempo que tarda el agua en infiltrarse. Se deben tomar mediciones cada minuto, aunque dependiendo de la tasa de descenso el intervalo se puede alargar. Para que las mediciones sean más precisas, lo mejor es que entre niveles sucesivos haya al menos 2 mm de diferencia. Las mediciones se toman al menos por 20 minutos, o hasta que tres mediciones sucesivas sean iguales o muy parecidas. En el Cuadro A-1 se presentan valores típicos de tasas de infiltración.

**Cuadro A-1.** Clases de permeabilidad de los suelos para la agricultura y su conservación

Clases de permeabilidad de los suelos	Índice de permeabilidad*	
	cm/hora	cm/día
Muy lenta	menos de 0,13	menos de 3
Lenta	0,13 – 0,3	3 - 12
Moderadamente lenta	0,3 – 2,0	12 - 48
Moderada	2,0 – 6,3	48 - 151
Moderadamente rápida	6,3 – 12,7	151 - 305
Rápida	12,7 - 25	305 - 600
Muy rápida	mayor de 25	mayor de 600

\*Muestras saturadas bajo una carga hidrostática constante de 1,27 cm.

La capacidad de infiltración se obtiene del cociente entre la cantidad de agua infiltrada y el intervalo de tiempo;  $f = \text{Variación de altura} / \text{Variación de tiempo}$ . El Cuadro A-2 muestra un ejemplo de cómo determinar la velocidad de infiltración en los suelos. El promedio de infiltración se determina con los tres valores más bajos de velocidad de infiltración, con el fin de asumir un criterio conservador.

**Cuadro A-2.** Determinación de la velocidad de infiltración en el suelo

Tiempo (min)	Altura (cm)	Diferencial tiempo (min)	Diferencial altura (cm)	Infiltración (mm/hora)
0	18	0	0	0
5	16	5	2	240
10	15,2	5	0,8	96
20	13,4	10	1,8	108
30	12,5	10	0,9	54
Promedio de infiltración				86

El promedio de infiltración se obtiene de los tres valores más bajos de la velocidad de infiltración.

Para determinar la velocidad de infiltración se emplea la fórmula siguiente:

$$I = \frac{\Delta h \times 600}{\Delta t}$$

donde:

$I$ : velocidad de infiltración en mm/hora

$\Delta h$ : diferencia de altura de agua (cm)

$\Delta t$ : diferencial de tiempo (min)

#### 4. Procedimiento para evaluar el tipo de roca

La permeabilidad y porosidad de las piedras que se encuentran en la superficie del suelo, en los pozos y en los perfiles profundos de suelo se pueden determinar echándoles agua lentamente y midiendo el tiempo que tarda en absorberla. Si lo hace rápidamente es permeable y si lo hace muy lento o no absorbe nada es poco permeable o impermeable. Generalmente las rocas permeables son más livianas.

La dureza y permeabilidad de una roca también se pueden determinar al golpearla. Si la piedra se rompe con facilidad significa que es blanda (suave), por lo que tiene una mayor capacidad de absorber agua. La apariencia interna de la roca es otra forma de determinar su permeabilidad. Si al romperla se nota la forma de los granos o partículas, es permeable, pero si se rompe en forma de concha (cóncava) no es permeable. Asimismo, la homogeneidad y tamaño de las partículas o agregados ayudan a determinar una roca. Las piedras formadas por partículas grandes (como la arena) y/o heterogéneas con una buena distribución aparente y poros grandes e interconectados son muy permeables.

Al tacto podemos determinar la textura de la piedra. Si la piedra se desmorona fácilmente o con poca dificultad es permeable, pero si no se desmorona ni se parte es, entonces, poco permeable o impermeable.

Para evaluar la porosidad y permeabilidad del manto rocoso que se encuentra por debajo de la superficie de suelo, se debe hacer un recorrido por la zona para observar y analizar los estratos en las perforaciones de pozos, ya que según los especialistas en la materia, la mejor fuente de información geológica se encuentra en los pozos. Adicionalmente podemos observar los cauces de quebradas (en sus paredes), perfiles de caminos y carreteras y los flancos de los valles para formarnos una idea del tipo de roca que se puede encontrar en





