

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

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 sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación
para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas

Por

Oscar Danilo Matus Silva

Turrialba, Costa Rica, 2007

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

***Magister Scientiae* en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas**

FIRMANTES:

Jorge Faustino Ph.D.
Consejero Principal

Francisco Jiménez Dr. Sc.
Miembro del Comité Consejero

Sergio Velásquez, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero

Isidro Salina, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero

Glenn Galloway Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado

Oscar Matus, Ing.
Candidato

DEDICATORIA

A DIOS que siempre ha estado conmigo guiando mi camino, iluminándome, dándome paciencia, perseverancia, fortalezas y sabiduría para poder alcanzar cada uno de los logros en mi vida.

A mi esposa Elbia María Acevedo, por todo el apoyo que me ha dado día a día y estar conmigo en todo momento y a mis queridos hijos Oscar y Gabriel que son la fuente de mi inspiración y a quienes quiero dejarle el legado de mi vida.

A mi madre Guadalupe Silva Hernández, por su ejemplo de sacrificio, perseverancia, dedicación y espíritu de superación por alcanzar las metas en su vida y ser mejor cada día y por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor consejero Ph.D. Jorge Faustino, por su voluntad de enseñar, orientación y valioso apoyo durante la ejecución de la investigación, asimismo por sus sabios consejos, paciencia y comprensión.

Al Dr. Francisco Jiménez, por su gran voluntad de enseñanza y transmitir conocimiento, por sus valiosos consejos, orientación, paciencia y apoyo para alcanzar este logro en mi vida.

A los miembros de mi comité asesor Dr. Francisco Jiménez, M. Sc. Sergio Velásquez y M. Sc. Isidro Salinas, por sus sabios consejos, sugerencias, aportes y ayuda brindada durante la ejecución del estudio.

A Estela Alemán M. Sc. por darme siempre ánimos y por su gran apoyo en las gestiones por alcanzar este logro en mi vida.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por brindarme el apoyo y facilitarme las condiciones para alcanzar esta maestría.

Al programa FOCUENCAS/CATIE/ASDI del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza por el apoyo y las facilidades brindadas durante el desarrollo de esta investigación.

A los miembros del comité ejecutivo de cuencas del río Jucuapa, a los comités locales de cuencas, líderes comunitarios y comunitarios en general de la subcuenca del río Jucuapa, por darme la oportunidad de compartir y de aprender de ellos, por todo el apoyo e información que brindaron para hacer posible esta investigación y su gran hospitalidad.

Al equipo técnico del INTA-Región Centro Norte, Roger, José Ramón, Jhony, Arlen, Neftaly y Yuri, quienes apoyaron y colaboraron durante la fase de campo de la investigación y me brindaron su hospitalidad.

A los miembros del equipo CATIE Focuencas de Matagalpa, especialmente a Rubí Castro, por su apoyo incondicional, su colaboración y su amistad.

A los miembros de la secretaría ambiental de la municipalidad de Matagalpa, Yara, Roger, Boanerges, Juan Carlos, Emilio y Sonia, por todo su apoyo y colaboración, su hospitalidad y por que me permitieron compartir con ellos diferentes momentos.

A todos mis compañeros en CATIE, con quienes compartí momentos muy lindos e inolvidables y quienes siempre me brindaron su amistad y apoyo, en especial a Evelia Centeno por todo su apoyo y colaboración durante la fase de campo de la investigación.

BIOGRAFÍA

El autor nació en Jinotepe, Carazo, Nicaragua el 18 de septiembre de 1976. Se graduó en la Escuela Internacional de Agricultura y Ganadería de Rivas en 1996 con el título de Técnico Superior en Ciencias Agropecuarias, en 1998 egreso de la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua en la Facultad de Desarrollo Rural con el título de Ingeniero Agrónomo. Desde 1998 hasta el año 2001 trabajó para ECOTEC, SA como extensionista en programas de desarrollo rural y medio ambiente y formulador de proyectos. En el periodo del año 2001 al 2003 trabajó para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Nicaragua, donde se desempeñó como supervisor técnico (consultor) responsable de monitoreo y evaluación de 8 sub-proyectos forestales y/o agroforestales en los Municipios de Jinotepe, Diriamba, Rivas, Managua, Matagalpa y Nandaime, del Proyecto Forestal de Nicaragua PROFOR. Del año 2004 al 2005 trabajó con el mismo CATIE para el POSAF II / MAREANA como extensionista del proyecto Apoyo para el Desarrollo Productivo y Disminución del Deterioro Ambiental, a Pequeños y Medianos Productores en fincas de la Sub-Cuenca del Río Grande de Carazo, en los municipios de Santa Teresa y La Conquista. Ingresó a la Escuela de posgrado Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en la maestría de manejo integrado de cuencas hidrográficas en enero del año 2006 y se graduó en diciembre del 2007.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
BIOGRAFÍA	V
CONTENIDO	VI
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
ÍNDICE DE CUADROS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	XVIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Caracterización del problema	1
1.2 Importancia y justificación de la investigación	3
1.3 Objetivos del estudio	6
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4 Preguntas orientadoras	6
2. MARCO CONCEPTUAL.....	8
2.1 Cuenca hidrográfica.....	8
2.1.1 <i>Cuenca hidrológica</i>	8
2.1.2 <i>Manejo de cuencas</i>	9
2.1.3 <i>Gestión de cuencas</i>	9
2.1.4 <i>Cogestión de cuencas hidrográficas</i>	10
2.1.5 <i>Gestión integrada del recurso hídrico</i>	10
2.2 Participación.....	11
2.2.1 <i>Informantes claves</i>	15
2.3 Ciclo hidrológico	15
2.3.1 <i>Precipitación</i>	16
2.3.2 <i>Evapotranspiración</i>	17
2.3.3 <i>Escorrentía</i>	18
2.3.4 <i>Infiltración</i>	19

2.4	Balance hídrico	20
2.4.1	<i>Ecuación general del balance hídrico</i>	21
2.5	Aguas subterráneas	21
2.5.1	<i>Acuífero</i>	22
2.5.2	<i>Manantiales</i>	24
2.5.3	<i>Recarga y zonas de recarga</i>	24
2.5.4	<i>Factores que afectan la recarga hídrica</i>	26
2.5.5	<i>Clasificación de las zonas de recarga hídrica</i>	27
2.5.6	<i>Recarga artificial</i>	29
2.5.7	<i>Condiciones para la recarga artificial</i>	30
2.5.8	<i>Contaminación de aguas subterráneas</i>	31
2.6	Uso de la tierra	33
2.7	Relieve o topografía.....	33
2.8	Características del suelo	35
2.8.1	<i>Textura</i>	36
2.8.2	<i>Estructura</i>	37
2.8.3	<i>Materia orgánica</i>	38
2.8.4	<i>Porosidad</i>	38
2.8.5	<i>Permeabilidad</i>	39
2.8.6	<i>Conductividad hidráulica</i>	39
2.8.7	<i>Capacidad de campo</i>	40
2.9	Movimiento del agua en el suelo	40
2.9.1	<i>Movimiento del agua en suelo no saturado</i>	40
2.9.2	<i>Movimiento del agua en suelo saturado</i>	41
2.10	Geología.....	42
2.10.1	<i>Roca</i>	42
2.10.2	<i>Tipos de rocas</i>	43
2.10.3	<i>Porosidad y permeabilidad de las rocas</i>	44
2.10.4	<i>Fracturas o fallas</i>	45
2.11	Investigaciones relacionadas al tema de estudio	46
2.11.1	<i>Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural</i>	46
2.11.2	<i>Identificación de tierras forestales de captación y regulación hidrológica</i>	51

2.11.3	<i>Método RAS</i>	55
2.11.4	<i>Identificación y mapeo de potenciales zonas de recarga en el distrito de Chihuahua</i>	58
2.11.5	<i>Modelo analítico para determinar infiltración (Schosinsky y Losilla)</i>	60
2.11.6	<i>Identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica</i>	62
3.	METODOLOGÍA	64
3.1	Descripción del área de estudio	64
3.2	Características morfométricas de la subcuenca	65
3.2.1	<i>Elevación media</i>	65
3.2.2	<i>Forma</i>	66
3.2.3	<i>Longitud y pendiente del cauce principal</i>	66
3.2.4	<i>Densidad de corrientes y drenaje</i>	67
3.3	Características biofísicas de la subcuenca	67
3.3.1	<i>Precipitación</i>	67
3.3.2	<i>Temperatura</i>	69
3.3.3	<i>Pendiente y relieve</i>	71
3.3.4	<i>Tipo de suelos</i>	72
3.3.5	<i>Geología</i>	73
3.3.6	<i>Uso del suelo</i>	74
3.4	Aspectos socioeconómicos de la subcuenca	78
3.4.1	<i>Social</i>	78
3.4.2	<i>Productivo</i>	81
3.4.3	<i>Económico</i>	81
3.5	Metodología del estudio	82
3.5.1	<i>Elaboración de la propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica</i>	82
3.5.2	<i>Aplicación y validación de la propuesta metodológica para identificar zonas potenciales de recarga hídrica</i>	86
3.5.3	<i>Proponer estrategias y acciones para el manejo de zonas de recarga hídrica</i>	89
3.6	Métodos estadísticos	90
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	92

4.1	Elaboración de la propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.....	92
4.1.1	<i>Fundamentos de la metodología</i>	92
4.1.2	<i>Contexto dentro del cual se debe aplicar la metodología</i>	95
4.1.3	<i>Modelo propuesto para evaluar el potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas</i>	97
4.1.4	<i>Pasos a seguir en la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas</i>	111
4.2	Aplicación y validación de la propuesta metodológica para identificar zonas potenciales de recarga hídrica.....	133
4.2.1	<i>Balance hídrico climático</i>	133
4.2.2	<i>Evaluación y definición de la zona de acción para aplicar la metodología</i>	134
4.2.3	<i>Capacitar e involucrar a los diferentes actores en la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica</i>	135
4.2.4	<i>Identificación de las fuentes de agua en la comunidad</i>	136
4.2.5	<i>Primer acercamiento a las zonas potenciales de recarga hídrica a partir del conocimiento de los actores locales haciendo referencia a los elementos del modelo propuesto</i>	137
4.2.6	<i>Evaluación práctica de los elementos metodológicos en sitios identificados por actores locales</i>	138
4.2.7	<i>Determinar el potencial de recarga hídrica en las zonas identificadas</i>	146
4.2.8	<i>Elaboración del mapa de zonas potenciales de recarga hídrica identificadas</i>	147
4.2.9	<i>Caracterización del área identificada</i>	148
4.2.10	<i>Estrategias y acciones para el manejo de las zonas identificadas</i>	153
4.2.11	<i>Dar a conocer los resultados de la aplicación de la metodología a los diferentes actores y autoridades locales</i>	154
4.2.12	<i>Validación del modelo propuesto</i>	156
4.2.12.1	Mapa del potencial de recarga hídrica según modelo propuesto	157
4.2.12.2	Mapa de recarga hídrica según el método RAS	159
4.3	Estrategias y acciones para el manejo de zonas potenciales de recarga hídrica	162
4.3.1	<i>Contexto sobre el estado físico de la zona de recarga hídrica</i>	162
4.3.2	<i>Contexto sobre el manejo de la zona de recarga hídrica</i>	163

4.3.3	<i>Contexto legal en el manejo de zonas potenciales de recarga hídrica</i>	164
4.3.4	<i>Estrategias y/o acciones propuestas por comunitarios y extensionistas para el manejo de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua.....</i>	165
4.3.4.1	Estrategias y acciones para mejorar la infiltración del agua en el suelo y recuperación de fuentes de agua.....	165
4.3.4.2	Estrategias y/o acciones para mejorar el uso y conservación de los suelos	166
4.3.4.3	Estrategias y/o acciones para mejorar la disponibilidad de agua.....	166
4.3.4.4	Acciones para disminuir la contaminación de los acuíferos	166
4.3.4.5	Estrategias o ejes transversales a implementar en las diferentes categorías identificadas	167
4.3.4.6	Indicadores prácticos para medir el impacto de las prácticas de manejo	167
4.3.5	<i>Discusión sobre las estrategias y acciones propuestas.....</i>	168
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	174
5.1	Conclusiones	174
5.2	Recomendaciones	177
6.	BIBLIOGRAFÍA	180
7.	ANEXOS	186

RESUMEN

Matus Silva, O.D. 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. Turrialba, CR. CATIE, Tesis Mag. Sc. 183 p.

Palabras claves: recarga hídrica, zonas potenciales de recarga hídrica, criterios para identificar zonas de recarga hídrica, infiltración.

La investigación se realizó en la subcuenca del río Jucuapa en el departamento de Matagalpa, Nicaragua, con el objetivo de elaborar una propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica la cual combine el conocimiento técnico-científico con el local y/o tradicional. Se aplicó la propuesta metodológica en conjunto con los comités locales de cuenca. De igual manera, se validó la propuesta con la ayuda de unidades de mapeos y el programa ArcView, aplicando el modelo propuesto, el método RAS (Recarga de Agua Subterránea) y comparando los resultados de las tres aplicaciones. Con base en el conocimiento local de comunitarios y técnicos, se propusieron estrategias y acciones para el manejo adecuado y sostenible de las zonas de recarga hídrica. En el cumplimiento de los objetivos se utilizaron talleres participativos donde a la vez se usaron herramientas participativas (trabajos grupales, lluvia de ideas, mapeo de recursos naturales y matriz de evaluación de los recursos naturales), revisión de literatura, diálogo semi-estructurado y visitas de campo. Los resultados muestran que: a) no existen diferencias significativas entre la opinión de comunitarios, técnicos y especialistas con relación a los criterios (pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y tipo de roca) a usar en la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica; por lo tanto, se logró integrar el conocimiento técnico-científico (modelo propuesto) con el local y/o tradicional (procedimientos para evaluar el modelo) en una metodología para identificar zonas potenciales de recarga hídrica. b) los actores locales disponen del conocimiento y experiencia para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica en su territorio. c) no existen diferencias significativas entre los resultados de aplicar la metodología con los comunitarios y los obtenidos de aplicar el modelo propuesto con la ayuda del programa ArcView. d) hay bastante similitud o concordancia entre los resultados del método RAS (mapa de recarga), con los resultados obtenidos al aplicar el modelo propuesto (mapa de potencial de recarga). e) se sugieren estrategias y/o acciones para el manejo adecuado y sostenible de zonas de recarga hídrica.

ABSTRACT

Matus Silva, OD 2007. Participatory development of a methodology for identifying potential areas of hydric recharge in hydrological sub-basins, applied to the Jucuapa river sub-basin, in Matagalpa, Nicaragua. Turrialba, CR. CATIE, Thesis Mag. Sc. 183 p.

Keywords: Hydric recharge, potential areas of hydric recharge, components and criteria for identifying areas of hydric recharge, infiltration.

The investigation was conducted in the Jucuapa river watershed in the Matagalpa province, Nicaragua. The objective was elaborate a methodological proposal for the identification of potential areas of hydric recharge combining technical and scientific knowledge with local and / or traditional knowledge. The proposed methodology was applied together with the local watershed committees. The proposal was also validated with the help of mapping units and the ArcView software applying the proposed model, the RAS method and comparing the results of the three applications; based on local knowledge (local people and technicians), strategies and actions were proposed for the adequate and sustainable management of hydric recharge areas. For the accomplishment of the objectives, participatory workshops, were implemented where participatory tools were used such as (group work, brainstorming, natural resource mapping and natural resource evaluation matrix), literature review, semi-structured interview and field trips were used. The results evidenced: a) no significant differences between the opinions of local people, technicians and specialists in relation to the criteria (slope, soil type, vegetation cover and rock type) used for identifying potential areas of hydric recharge. Therefore, technical and scientific knowledge (proposed model) was integrated with the local and / or traditional knowledge (procedures to evaluate the model) in a methodology to identify potential areas of hydric recharge. b) local actors have the knowledge and experience to identify potential areas of hydric recharge in the territory. c) not significant differences between the results when applying the methodology with the local actors and the results obtained from implementing the proposed model with the help of the ArcView software were found. d) there is enough similarity or concordance between the results of the RAS method (recharge map) and the implementation of the proposed model (potential recharge map). e) strategies and actions are suggested for a sustainable and adequate management, of hydric recharge zones.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto de la actividad antrópica sobre los acuíferos	28
Cuadro 2. Fracciones granulométricas de clases texturales	36
Cuadro 3. Criterios de geología	47
Cuadro 4. Criterios de infiltración	48
Cuadro 5. Criterios de recarga	48
Cuadro 6. Criterios de pendiente.....	48
Cuadro 7. Criterios de susceptibilidad de las áreas a ser consideradas críticas de recarga hídrica natural	49
Cuadro 8. Resumen de determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural en la cuenca del río Pensativo.....	51
Cuadro 9. Criterios de geología para determinar TFCRH.....	52
Cuadro 10. Criterios de capacidad de uso de la tierra para determinar TFCRH	53
Cuadro 11. Criterios de infiltración básica para determinar TFCRH	53
Cuadro 12. Criterios de recarga anual para determinar TFCRH	53
Cuadro 13. Categorías de clasificación de las TFCRH.....	53
Cuadro 14. Resumen de categorías de clasificación de las TFCRH subcuenca río los Vados .	54
Cuadro 15. Recarga Hídrica y Extensión de las categorías de TFCRH.....	54
Cuadro 16. Coeficientes tipos del suelo RAS	56
Cuadro 17. Coeficientes de pendientes RAS	56
Cuadro 18. Coeficientes de uso del suelo RAS	57
Cuadro 19. Coeficientes de infiltración para diferentes usos de la tierra	61
Cuadro 20. Necesidad de información para identificar las zonas de recarga hídrica	63
Cuadro 21. Precipitación media mensual y anual (mm) de 13 estaciones en la subcuenca del río Jucuapa	68
Cuadro 22. Temperatura media mensual y anual de 13 estaciones para la subcuenca del río Jucuapa.....	69
Cuadro 23. Evapotranspiración media mensual y anual en la subcuenca del río Jucuapa	70
Cuadro 24. Distribución del uso del suelo en la subcuenca del río Jucuapa	77
Cuadro 25. Distribución de la población por comunidad en la subcuenca del río Jucuapa.....	79
Cuadro 26. Fuentes de agua en la subcuenca del río Jucuapa	80

Cuadro 27. Comparación de opinión de comunitarios, técnicos y especialistas por cada elemento encontrado en la identificación de zonas de recarga hídrica.	98
Cuadro 28. Método de clasificación por importancia para determinar el peso relativo de cada variable a usar	101
Cuadro 29. Método de rateo para determinar el peso relativo de cada variable a usar.....	101
Cuadro 30. Peso relativo promedio final para cada variable a usar	101
Cuadro 31. Opinión de especialistas, técnicos y comunitarios acerca de los elementos a usar en la identificación de las zonas de recarga hídrica.....	103
Cuadro 32. Comparación de elementos y/o criterios de ambas metodologías	107
Cuadro 33. Comparación del orden de importancia de las tres principales variables para ambas metodologías	108
Cuadro 34. Métodos para el estudio de la recarga y zonas de recarga hídrica y sus elementos	109
Cuadro 35. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica de acuerdo al tipo de pendiente y microrelieve	119
Cuadro 36. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica del suelo según su textura	121
Cuadro 37. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca.....	123
Cuadro 38. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica de acuerdo al porcentaje de cobertura vegetal.....	125
Cuadro 39. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica de acuerdo al uso del suelo	127
Cuadro 40. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto	128
Cuadro 41. Evaluación de la pendiente por comunidad	139
Cuadro 42. Evaluación del tipo de suelo por comunidad	140
Cuadro 43. Evaluación capacidad de infiltración	141
Cuadro 44. Evaluación del tipo de roca por comunidad	143
Cuadro 45. Evaluación para la cobertura vegetal permanente por comunidad.....	144
Cuadro 46. Evaluación para determinar el uso del suelo por comunidad.....	145
Cuadro 47. Resumen de evaluación de cada elemento y posibilidad de recarga por cada sitio	147
Cuadro 48. Comparación de procedimientos entre la metodología propuesta y otros métodos	155

Cuadro 49. Comparación posibilidad de recarga de la subcuenca efectuada por comunitarios y la realizada con ayuda del programa ArcView (modelo propuesto)..... 159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Marco general para la GIRH.	11
Figura 2: Escalera de participación	13
Figura 3: Ciclo hidrológico y aguas subterráneas	16
Figura 4: Triángulo de textura del suelo	37
Figura 5: El ciclo de las rocas	43
Figura 6: Mapa de recarga acuífera del Salvador método RAS	58
Figura 8: Curva hipsométrica de la subcuenca del río Jucuapa	66
Figura 9: Mapa de distribución espacial de precipitación de la subcuenca río Jucuapa	68
Figura 10: Mapa de distribución espacial de evapotranspiración en la subcuenca del río Jucuapa	70
Figura 11: Mapa de pendiente de la subcuenca río Jucuapa	71
Figura 12: Mapa de tipos de suelo en la subcuenca del río Jucuapa	73
Figura 13: Mapa geológico de la subcuenca del río Jucuapa	74
Figura 14: Mapa uso del suelo en la subcuenca del río Jucuapa	78
Figura 15: Mapa fuentes de agua en la subcuenca del río Jucuapa	81
Figura 16: Flujograma para elaborar la metodología para identificar zonas de recarga hídrica	83
Figura 17: Flujograma para la aplicación y validación de la propuesta metodológica	86
Figura 18: Flujograma en la elaboración de estrategias y acciones para el manejo de zonas de recarga hídrica	89
Figura 19: Flujograma de los pasos para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica.	112
Figura 20: Mapa del balance hídrico climático de la subcuenca del río Jucuapa	133
Figura 21: Fuentes de agua seleccionadas en el río Jucuapa	137
Figura 22: Cálculo de la pendiente con el agronivel	139
Figura 23: Determinación del tipo de suelo al tacto	141
Figura 24: Determinación de la capacidad de infiltración del suelo	141
Figura 25: Determinación del tipo de roca	142
Figura 26: Evaluación de la cobertura y usos del suelo	144
Figura 27: Evaluación del uso del suelo	145

Figura 29: Mapa de potencial de recarga hídrica de la subcuenca del río Jucuapa (método propuesto)	157
Figura 30: Mapa de recarga hídrica subcuenca río Jucuapa (método RAS)	160

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

BHC	Balance Hídrico Climático
BID	Banco Interamericano de desarrollo
CSA	Conservación de Suelo y Agua
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CIGMAT	Centro de Información Geográfica de Matagalpa
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FOCUENCAS II	Programa Innovación, Aprendizaje y Comunicación para la Cogestión Adaptativa de Cuencas
FORGAES	Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador
ETP	Evapotranspiración
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
ITFCRH	Identificación de Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica
INAB	Instituto Nacional de Bosques
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INTA	Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria
INTEC	Instituto Tecnológico de Santo Domingo
IZPRH	Identificación de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica
MAG	Mini Acueductos por Gravedad
MAGFOR	Ministerio Agropecuario y Forestal
MARENA	Ministerio de Recursos Naturales y el Ambiente
MINSA	Ministerio de Salud
RAS	Recarga de Aguas Subterráneas
SIG	Sistemas de Información geográfico
SEH	Servicios Ecosistémicos Hídricos
TFCRH	Tierras Forestales de Captación y Regulación Hídrica
PSEH	Pagos por Servicios Ecosistémicos Hídricos
PASOLAC	Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central

UNAN	Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
ZPRH	Zonas Potenciales de Recarga Hídrica

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Caracterización del problema

Centroamérica, con sus 520.000 km², posee una enorme riqueza hídrica, tanto superficial como subterránea, aunque dicha agua no está distribuida equitativamente en los países de la región. El abuso en el uso de este recurso puede derivar en graves problemas de orden económico, político, social y ambiental, y su gestión solo puede ser sostenible en la medida en que esté abierta a la participación de todos los sectores que necesitan de ese recurso (González 2004).

El agua surge como el mayor conflicto geopolítico del siglo XXI, ya que se espera que en el año 2025, la demanda de este elemento tan necesario para la vida humana sea un 56% superior que el suministro actual, y quienes posean agua podrían ser blancos de un saqueo forzado. La pugna es entre quienes creen que el agua debe ser considerado un “commodity” o bien comerciable (como el café o el maíz) y por otro lado, quienes expresan que es un bien social relacionado con el derecho a la vida. Los alcances de la soberanía nacional y las herramientas legales son también parte de esta discusión. Lo nuevo del caso es que, desde hace una década, se acumulan las cifras que presagian que el planeta se encamina a una escasez cada vez más marcada (Faustino 2006).

Nicaragua es uno de los países de América Central más beneficiado en cuanto a recursos hídricos se refiere; tiene una disponibilidad per cápita de 37.484 m³/año, contando con uno de los lagos más grandes del continente y con numerosas cuencas hidrográficas que drenan hacia el Atlántico y el Pacífico como también numerosos acuíferos que cubren toda la Región del Pacífico. Hidrográficamente, el país ha sido dividido en 21 cuencas, de las cuales, 13 drenan hacia el Océano Atlántico y 8 hacia el Océano Pacífico. Sin embargo, la distribución espacial y temporal de las lluvias, la distribución natural de sus vertientes y acuíferos y el paulatino deterioro de sus fuentes de agua generado por el desarrollo de las ciudades, la industria y la actividad agrícola, ha significado una relativa reducción de sus disponibilidades de agua (MARENA 2001).

En la subcuenca del río Jucuapa históricamente se han dedicado a la producción de granos básicos, café, hortalizas y ganadería en pequeña escala; donde las malas prácticas agropecuarias y forestales (cultivo de granos básicos en áreas de altas pendientes,

deforestación especialmente a orillas de ríos y fuentes de agua, quemas, uso excesivo de agroquímicos, sobrepastoreo, lavado de ropa en el río y beneficiado de café) desarrolladas a través del tiempo, han provocado un desequilibrio ambiental, degradación de los recursos naturales (suelo, agua y bosque) y problemas sociales en las comunidades de la subcuenca (inseguridad alimentaria, problemas de salud pública, emigración en busca de mejores condiciones de vida, disputa entre las partes altas y medias con los de la parte baja de la subcuenca por los derechos del agua).

El deterioro de las zonas de recarga hídrica de las cuencas hidrográficas, la baja eficiencia del uso del recurso, la contaminación de ríos, fuentes, zonas de recarga y reservorios de agua, están causando una acelerada reducción de la disponibilidad de las fuentes de agua para usos múltiples. El grado de deterioro de las zonas de recarga está determinado por el grado de erosión de los suelos, compactación y la deforestación, sobretodo en zonas de pendientes muy inclinadas que favorecen la escorrentía. Esta situación está siendo causada por la intervención del ser humano para desarrollar actividades agrícolas, industriales, extracción de leña, construcción de viviendas y actividades pecuarias, en sitios no apropiados (Faustino 2006). En la subcuenca del río Jucuapa se está presentando este escenario donde por acciones antrópicas de mal uso de la tierra, un pobre manejo ambiental y un deficiente manejo del agua a causa de la ineficiencia de las autoridades y la creciente competencia por el recurso hídrico, está resultando en el acelerado deterioro de las áreas de recarga hídrica y en la disminución de la oferta de agua en la subcuenca.

Es de importancia destacar que parte del problema de deterioro de las zonas de recarga hídrica se debe al desconocimiento de las áreas o zonas por donde principalmente se está efectuando la recarga hídrica en la subcuenca, de contar con dicha información se estaría orientando el manejo adecuado de estas áreas. Es decir que en la subcuenca del río Jucuapa no se dispone de este tipo de información, no se han realizado estudios profundos, ni hay documentos técnicos que permitan identificar dichas áreas.

1.2 Importancia y justificación de la investigación

“El agua es el gran tema del siglo XXI, es nuestro futuro común. Juntos, sociedades y gobiernos del mundo debemos impulsar acciones decididas que nos permitan preservar y garantizar este capital natural.” “El agua es un asunto de seguridad y de sobrevivencia para todas las naciones y solamente podrá ser abordado y resuelto en una lógica global. Trabajemos con el ideal de incrementar el patrimonio de las próximas generaciones. Nunca es demasiado tarde, podemos sembrar hoy para cosechar grandes frutos el día de mañana” (Fox 2003).

La disponibilidad de un adecuado suministro de agua es considerada crítica para las áreas de salud pública, desarrollo económico y para un ambiente saludable, siendo uno de los desafíos más urgentes a ser confrontados por la comunidad internacional (Ferretti 2003).

Actualmente, es reconocida la gran importancia del recurso hídrico para los ecosistemas y la subsistencia de la población humana, por lo que es necesario conocer su funcionamiento integral, analizar la interacción que existe entre agua subterránea y agua superficial a cualquier escala espacio temporal y la influencia de la actividad humana en los cambios del régimen hidrológico, con el fin de proponer estrategias de planeamiento y metodologías de valoración que tengan por objetivo un desarrollo con vista a llegar a un manejo sustentable (más que intensivo) del recurso hídrico a la vez que se impulsan diferentes esquemas de protección ambiental (Perevochtchikova et ál 2004).

Un aspecto importante en el proceso de planificación y métodos de valoración del recurso hídrico, es lo necesario de contar con la información exacta y confiable de las áreas que mayormente están facilitando la infiltración del agua (zonas de recarga) que permite la recarga hídrica, con el propósito de incentivar a los productores que poseen estas zonas (de recarga), en la adopción de tecnologías y la aplicación de prácticas adecuadas que favorezcan la recuperación, conservación y aprovechamiento del recurso hídrico, así como la protección ambiental y la biodiversidad.

La planificación y el manejo de los recursos hídricos subterráneos, implica tomar decisiones que modifican el estado del sistema. Para esto, el conocimiento de las características del acuífero, su ocurrencia y dinámica, así como la evaluación de su potencial, es de vital importancia en la toma de decisiones concerniente al uso racional del agua; principalmente cuando revisten importancia económica nacional (Flores 2004).

La relevancia e importancia que se atribuye a los procesos de recarga y descarga de agua subterránea, se debe a que ello constituye una de las alternativas más importante en el manejo del agua; gran parte del agua que se pueda infiltrar recarga los acuíferos, la que puede ser posteriormente captada por medio de perforaciones u ojos de agua. La recarga de los acuíferos y su explotación adecuada, permite mejorar la circulación del agua y su calidad (UNESCO 1986).

Ante todo, es evidente que no se podrá obtener del subsuelo mayor cantidad de agua de la que se haya infiltrado a partir de las precipitaciones atmosféricas y esté acumulada en la cuenca hidrológica subterránea. Por esta razón es importante establecer previamente cuanto se está infiltrando y delimitar las cuencas subterráneas donde se acumula el agua, solo entonces se debe proceder al alumbramiento de las aguas existentes en el subsuelo. (Meléndez y Fuster 1973).

La recarga artificial de acuíferos se ha configurado en los últimos años como una herramienta de gestión hídrica económica y de gran efectividad con respecto a las grandes obras hidráulicas, resultando una actividad de primer orden en varios países del mundo, como pueden ser Holanda, USA, Austria, etc. En España está infrautilizada, en un estadio incipiente o experimental, y hasta la fecha, apenas ha recibido consideración por parte de la administración hidráulica del país (ECOSISTEMA 2005).

En este marco general, las aguas subterráneas están adquiriendo cada vez una importancia estratégica para atender la demanda del recurso, principalmente para el consumo humano. Sin embargo, no siempre se tiene la información de donde se encuentran las fuentes de agua subterránea, cuál es su disponibilidad y muy frecuentemente se tiene información que estas también se están contaminando (Faustino 2006).

Así mismo desconocemos los sitios precisos por donde mayormente se está realizando la recarga hídrica, por la falta de elementos o criterios que faciliten de una forma práctica su identificación, lo que dificulta que se les brinde un mejor uso y protección.

Por otro lado, tenemos que el programa Innovación, aprendizaje y comunicación para la cogestión adaptativa de cuencas FOCUENCAS II es un Programa estratégico que responde a la necesidad de desarrollar y compartir herramientas e instrumentos para la cogestión adaptativa de cuencas que se requieren para la región centroamericana.

Cuyo objetivo a cuatro años es: “Modelos de cogestión adaptativa y sostenible de cuencas, aplicables a condiciones biofísicas, socioeconómicas e institucionales representativas de América Central, han sido diseñados y están siendo validados y apropiados por instancias locales y nacionales de Honduras y Nicaragua”.

Dicho programa definió como prioridad trabajar en función de identificar, ordenar y manejar las zonas de recarga hídrica en las cuatro cuencas donde trabaja (dos en Nicaragua y dos en Honduras, siendo una de ellas la subcuenca del río Jucuapa), debido a que es un área pequeña, fácilmente manejable, es más rápido llegar a consenso y/o acuerdo con los dueños de dichas áreas para brindarles un mejor manejo, menos costos y mayores impactos.

Lo anterior evidencia las razones que justifican el desarrollo del presente trabajo de tesis, el cual pretende contribuir con el aporte de una metodología que contenga los elementos prácticos de fácil aplicación en campo por los actores locales en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, lo que permite orientar el ordenamiento de dichas áreas en cuanto a sus usos, la toma de decisiones en torno a la protección, conservación y manejo sostenible de dichas zonas, en función de mejorar la disponibilidad y calidad de las aguas, especialmente para consumo humano, así como para otros usos (agricultura, ganadería, industria, etc.).

El estudio trató de buscar y encontrar un equilibrio entre lo técnico de los diferentes métodos para analizar y evaluar cada elemento o criterio en la identificación de las zonas de recarga hídrica y lo práctico del conocimiento tradicional de los comunitarios en relación de encontrar o identificar las zonas de mayor infiltración del agua de lluvia en la subcuenca, para elaborar la metodología práctica que permita identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, es decir, que una vez que se integraron los elementos de la metodología, se buscaron e identificaron las formas o métodos que resultaran prácticos y comprensibles para ser aplicados por los diferentes actores de la comunidad, manteniendo el carácter técnico para analizar y evaluar cada elemento de la metodología.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Contribuir al desarrollo de una metodología práctica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, integrando el conocimiento local con el técnico y científico.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Desarrollar un proceso participativo que integre los elementos técnicos y locales en la formulación de un marco metodológico para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.
- b) Validar la metodología propuesta en la elaboración de un mapa que identifique las zonas potenciales de recarga hídrica para la subcuenca del río Jucuapa.
- c) Proponer estrategias y acciones concretas para el manejo adecuado de las áreas de recarga hídrica en la subcuenca del río Jucuapa.

1.4 Preguntas orientadoras

El estudio se ha guiado en función de las siguientes preguntas:

- ? ¿Cuáles son los elementos técnicos a usar en la metodología que se pueden tomar de otros métodos existentes?
- ? ¿Cuáles son los elementos del conocimiento tradicional que se pueden utilizar en la metodología?
- ? ¿Cuál es la mejor forma de combinar los elementos técnicos y del conocimiento tradicional para elaborar la metodología?
- ? ¿Cuál es la información necesaria y que debe estar disponible para aplicar la metodología?
- ? ¿Cuál es el procedimiento a seguir en caso de no disponer de la información suficiente para aplicar la metodología?
- ? ¿Cuál es el procedimiento para aplicar la metodología en forma participativa?

- ? ¿Cuál es el resultado de la aplicación de la metodología?
- ? ¿Cuáles son las estrategias y acciones que permiten el manejo adecuado de las áreas de recarga hídrica?
- ? ¿Cuentan los actores locales con los recursos y/o condiciones necesarias para aplicar las estrategias y acciones que orientan el manejo de las zonas de recarga hídrica?

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Cuenca hidrográfica

Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (Visión Mundial 2004).

En la cuenca hidrográfica se encuentran los recursos naturales, la infraestructura que el hombre ha creado, allí el hombre desarrolla sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano. No existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica (Visión Mundial 2004).

2.1.1 Cuenca hidrológica

Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas constituidas por la cuenca hidrográfica y las aguas subterráneas. Cuando el relieve y fisiografía, tienen una forma y simetría diferente a la configuración geológica de la cuenca, se puede decir que existe una cuenca subterránea, que cambia la dirección del flujo subsuperficial para alimentar a otra cuenca hidrográfica. A esta configuración se denomina “cuenca hidrológica”, la cual adquiere importancia cuando se tenga que realizar el balance hidrológico. Es muy importante conocer esta característica interna de la cuenca, porque en algunos casos se realiza el balance hidrológico sin considerar los aportes o fugas de una cuenca vecina a otra (Visión Mundial 2004).

Sánchez (2004) plantea que una cuenca hidrográfica constituirá también una cuenca hidrogeológica cuando no existan trasvases apreciables de aguas subterráneas de una cuenca a otra, es decir, que podamos considerar que las divisorias topográficas que dividen a la escorrentía superficial constituyen también divisorias de la escorrentía subterránea entre cuencas adyacentes. Esto se cumple en general para cuencas grandes de más de 1000 o 2000 km².

2.1.2 Manejo de cuencas

Es un proceso interactivo de decisiones sobre los usos y las modificaciones a los recursos naturales dentro de una cuenca. Este proceso provee la oportunidad de hacer un balance entre los diferentes usos que se le pueden dar a los recursos naturales y los impactos que éstos tienen en el largo plazo para la sustentabilidad de los recursos. Implica la formulación y desarrollo de actividades que involucran a los recursos naturales y humanos de la cuenca. De ahí que en este proceso se requiera la aplicación de las ciencias sociales y naturales. Así mismo, conlleva la participación de la población en los procesos de planificación, concertación y toma de decisiones. Por lo tanto el concepto implica el desarrollo de capacidades locales que faciliten la participación (Jiménez 2006a).

En forma resumida se puede decir que manejo de cuencas hidrográficas son todas las acciones técnicas coordinadas, integrales y participativas para manejar, aprovechar y conservar los recursos naturales en las cuencas hidrográficas en función de las necesidades humanas, buscando un balance entre equidad social, sostenibilidad de los ecosistemas y desarrollo económico (Jiménez 2006a).

2.1.3 Gestión de cuencas

Según Dourojeanni (1994), es un proceso donde el hombre realiza un conjunto de acciones planificadas, coordinadas, organizadas y consensuadas, para administrar y manejar adecuadamente la unidad hidrológica, considerando su efecto y que la dinámica de dicho sistema, tienen diferentes connotaciones. En general el proceso en el cual se efectúa este conjunto de acciones ha sido catalogado como acciones de gestión a nivel de cuencas o simplemente de gestión de cuencas. Estas actividades de gestión tienen diferentes objetivos por lo cual reciben diferentes nombres. Los objetivos más conocidos son:

- Desarrollo de cuencas, desarrollo integrado de cuencas.
- Manejo de cuencas, ordenamiento de cuencas.
- Desarrollo de recursos hídricos, administración del agua.
- Protección de cuencas, recuperación de cuencas.

En todas las cuencas hidrográficas el hombre ejecuta diariamente miles de acciones. El hecho que ejecute dichas acciones no implica que se constituyan automáticamente en parte de

un proceso de gestión a nivel de cuencas y menos de que sean integradas. **Para que formen parte de un proceso de gestión de cuencas deben ser previamente planificadas, organizadas, consensuadas y coordinadas entre sí, considerando su efecto conjunto en la dinámica de la cuenca y en sus pobladores** (Dourojeanni 1994).

Para que el proceso de gestión a nivel de cuencas sea **“integrado”** deben ejecutarse acciones que permitan obtener beneficios, tanto en el aspecto **productivo** como en el aspecto **ambiental**, considerando el comportamiento de la cuenca. Además es necesario que el sistema de gestión permita que los usuarios participen en las decisiones con el fin de tender a la **equidad** (Dourojeanni 1994).

La **gestión de una cuenca** se sustenta en la conjugación de dos grupos de acciones complementarias:

Un grupo de acciones orientadas a **aprovechar** los recursos naturales (usarlos, transformarlos, consumirlos) presentes en la cuenca para asistir al crecimiento económico, y otro grupo de acciones orientadas a **manejarlos** (conservarlos, recuperarlos, protegerlos) con el fin de tratar de asegurar una sustentabilidad del ambiente (Dourojeanni 1994).

2.1.4 Cogestión de cuencas hidrográficas

La cogestión de cuencas se conceptúa como la gestión conjunta, compartida y colaborativa, mediante la cual, diferentes actores locales como productores, grupos organizados, gobiernos locales, empresa privada, organizaciones no gubernamentales, instituciones nacionales, organismos donantes y cooperantes integran esfuerzos, recursos, experiencias y conocimientos para desarrollar procesos dirigidos a lograr impactos favorables y sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales y el ambiente en las cuencas hidrográficas, en el corto, mediano y largo plazo (Jiménez et ál 2006b).

2.1.5 Gestión integrada del recurso hídrico

Es un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

Elementos importantes; El marco y enfoque del GIRH reconocen que los elementos complementarios de un sistema de manejo de recursos de agua efectivo debieran desarrollarse y fortalecerse concurrentemente. Estos elementos complementarios incluyen (Figura 1):

- El ambiente propicio, el marco general de las políticas nacionales, legislaciones y regulaciones y la información del manejo de los recursos de agua para los interesados.

- Los roles institucionales y las funciones de los varios niveles administrativos y los interesados.

- Los instrumentos de manejo, incluyendo instrumentos operacionales para una regulación efectiva, monitoreo y cumplimiento que permite a los gestores de política realizar elecciones informadas entre distintas alternativas de acción. Estas elecciones deben basarse en políticas acordadas, recursos disponibles, impactos medioambientales y consecuencias sociales y económicas (Astorga 2006 curso GIRH).

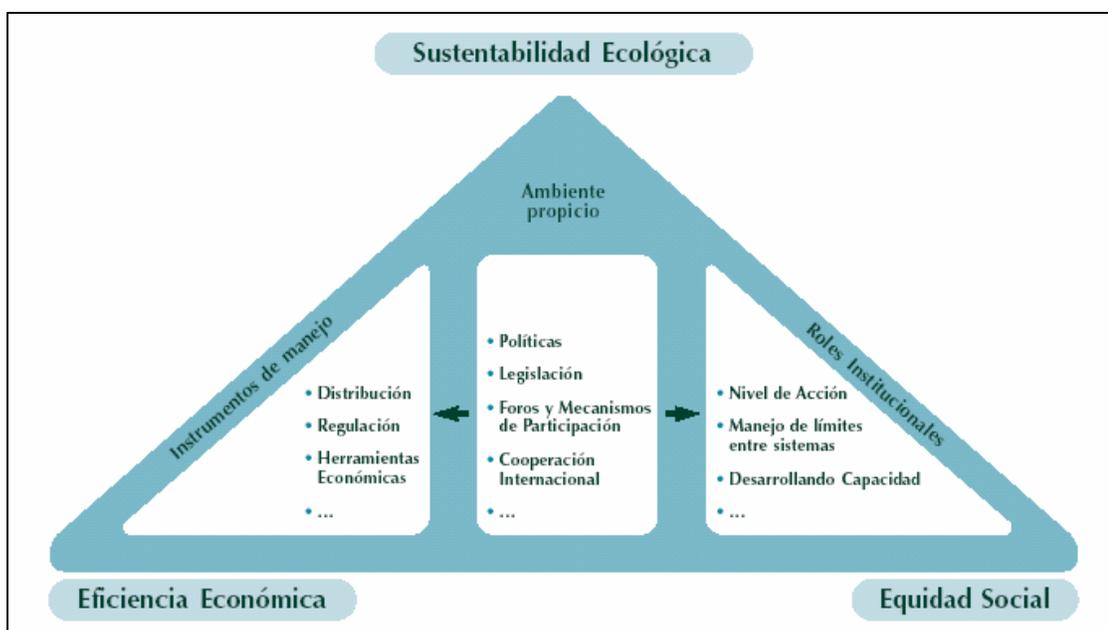


Figura 1: Marco general para la GIRH.

Fuente: Astorga 2006.

2.2 Participación

La participación, es toda situación, relación, clima o ambiente que permite individual o colectivamente decidir iniciativas, implementarlas o concretizarlas, ya sea como, opinión, punto de vista, demanda, formulación de propuestas, proyectos, planes o estrategias, como

respuesta ante una necesidad o problemática que atañe a los diferente individuos implicados, de tal forma que la comunidad pueda funcionar efectivamente, concertadamente y cotidianamente, al partir de una dinámica de interés común de los individuos o actores involucrados (INTEC de Santo Domingo 2001).

Camps (2000) entiende por participación ciudadana, como un proceso abierto transformativo, en el que se lleva a cabo una política específica orientada a capacitar y empoderar a la ciudadanía, y a impulsar su papel en el fortalecimiento del desarrollo comunitario. Para ello se ha de potenciar la capacidad de incidir realmente y directamente en los procesos de la comunidad en la que se participa, en el proceso de toma de decisiones y en la implementación o aplicación de las políticas que afectan a la comunidad en la búsqueda de una igualación de oportunidades entre los diferentes actores sociales.

Según Geilfus (2005), la participación no es un estado fijo, es un proceso mediante el cual la gente puede ganar más o menos grados de participación en el proceso de desarrollo y muestra la escalera de la participación (Figura 2), la cual indica como es posible pasar gradualmente, de una pasividad casi completa (ser beneficiario) al control de su propio proceso (ser actor del auto-desarrollo).

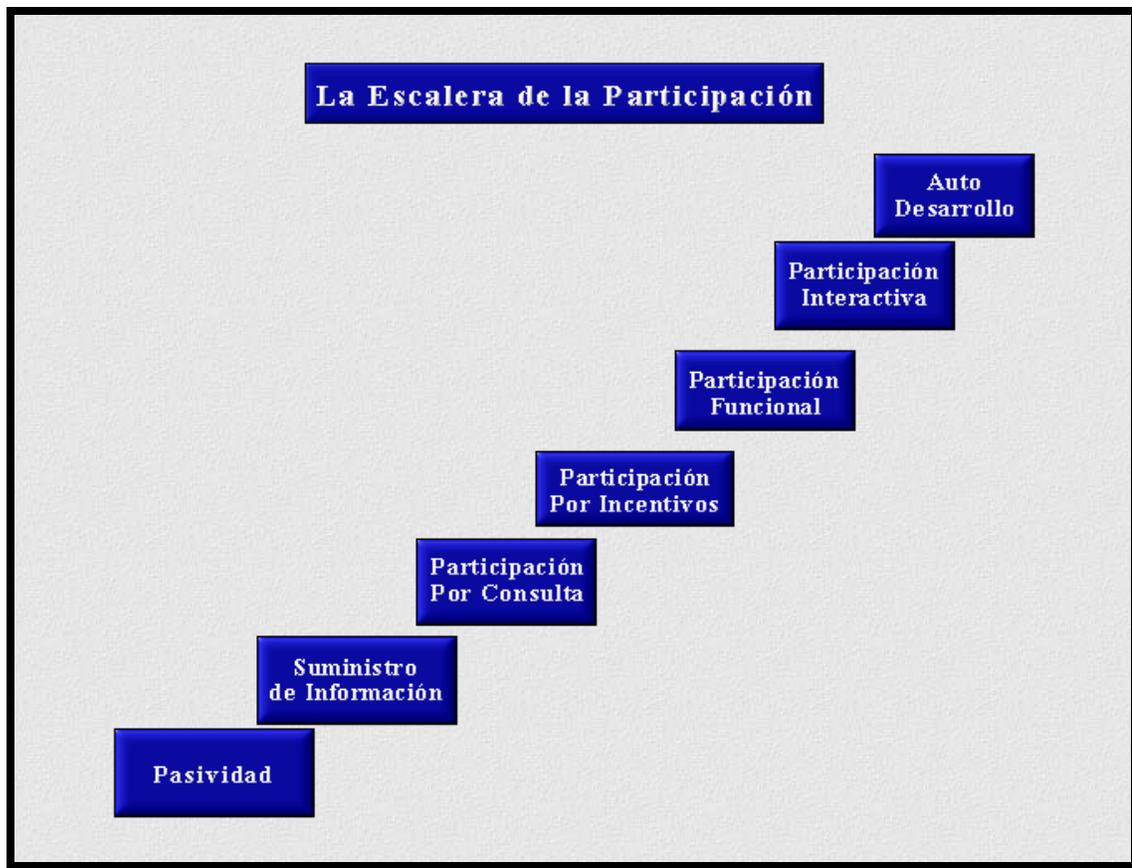


Figura 2: Escalera de participación

Fuente: Geilfus 2005.

Pasividad: las personas participan cuando se les informa; no tienen ninguna incidencia en las decisiones y la implementación del proyecto.

Suministro de información: las personas participan respondiendo a encuestas; no tienen posibilidad de influir ni siquiera en el uso que se va a dar de la información.

Participación por consulta: las personas son consultadas por agentes externos que escuchan su punto de vista; esto sin tener incidencia sobre las decisiones que se tomarán a raíz de dichas consultas.

Participación por incentivos: las personas participan proveyendo principalmente trabajo u otros recursos (tierra para ensayos) a cambio de ciertos incentivos (materiales, sociales, capacitación); el proyecto requiere su participación, sin embargo no tienen incidencia directa en las decisiones.

Participación funcional: las personas participan formando grupos de trabajo para responder a objetivos predeterminados por el proyecto. No tienen incidencia sobre la formulación, pero se los toma en cuenta en el monitoreo y el ajuste de actividades.

Participación interactiva: los grupos locales organizados participan en la formulación, implementación y evaluación del proyecto; esto implica procesos de enseñanza-aprendizaje sistemáticos y estructurados, y la toma de control en forma progresiva del proyecto.

Auto-desarrollo: los grupos locales organizados toman iniciativas sin esperar intervenciones externas; las intervenciones se hacen en forma de asesoría y como socios.

El BID (2003) señala que la participación comunitaria puede variar desde la simple recolección de información sobre las partes involucradas al empoderamiento de las comunidades; en ese sentido habla de los niveles de la participación comunitaria donde considera que la participación de la comunidad es un continuo que define su forma y calidad. Así mismo se refiere a los distintos niveles de la participación que se describen a continuación:

En el **nivel inferior del continuo**, los planificadores y diseñadores del proyecto pueden limitarse a entrevistar y recolectar información de los actores estratégicos de la comunidad, para luego desarrollar sus propios planes sin someterlos a los comentarios o aprobación específica de la comunidad. Se trata de un enfoque mínimo, de carácter paternalista y centralista, que fue el más común en los años 60 y 70.

En el siguiente nivel de participación comunitaria se encuentra la **modalidad de consulta**, en la cual se pueden presentar diversas opciones a la comunidad, solicitándole su opinión y preferencias, que pueden ser tenidas o no en cuenta. No obstante, en la práctica, las opciones propuestas que son recibidas con una fuerte oposición por un amplio sector de la comunidad suelen ser descartadas por los planificadores sociales, al evidenciarse impracticables.

El tercer nivel involucra a la modalidad de **participación activa**, la comunidad y/o sus residentes delimitan las intervenciones y participan en la ejecución de las mismas. El grado de participación y control puede variar desde soluciones concebidas a medida hasta un paquete limitado de propuestas aplicable en un conjunto de comunidades.

En la **modalidad de empoderamiento**, no sólo se permite la participación de las comunidades en la configuración de las intervenciones y la asignación de recursos, sino que

también se les proporciona formación y estímulo para que en el futuro puedan actuar de forma independiente. Se les capacita para el desarrollo de propuestas, la elaboración de presupuestos, la captación de fondos y la negociación e interrelación con los representantes de las instancias oficiales. En resumen, **se les forma para convertirse en agentes autónomos de cambio.**

2.2.1 Informantes claves

Según Geilfus (2005) los informantes claves son personas bien informadas sobre la comunidad donde se pueden obtener informaciones pertinentes en forma rápida para orientar el trabajo. Estos deben ser representativos de las diferentes categorías (sociales, género, etc.) de la población con la que se va a trabajar, también deben ser seleccionados en función del tema de investigación, es decir deben representar todas las categorías implicadas en la problemática estudiada.

Lo anterior quiere decir que el informante clave es una persona que pueda brindar información precisa o detallada de su comunidad o localidad basada en su experiencia, vivencias o conocimientos sobre temas específicos.

2.3 Ciclo hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico (Figura 3), al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.).

Como todo ciclo, su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre, ríos, lagos y mares, se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento. En determinadas condiciones, el vapor se condensa formando las nubes, que a su vez, pueden ocasionar precipitaciones que caen a la tierra. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse, o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes, o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otras forman grandes masas de agua como los lagos. El agua que se infiltra satisface la humedad del suelo y abastece los depósitos subterráneos, de donde puede fluir

hacia las corrientes de los ríos, o bien descargar en los océanos, la que queda detenida en la capa vegetal del suelo es regresada a la atmósfera por transpiración (Villón 2004).

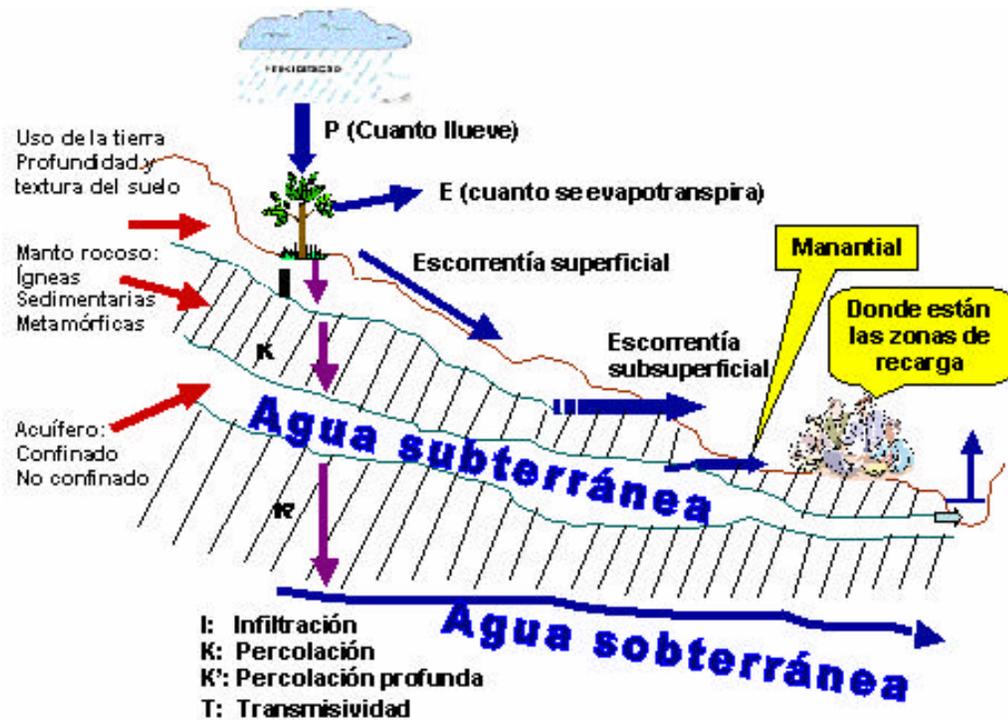


Figura 3: Ciclo hidrológico y aguas subterráneas

Fuente: Faustino 2006.

2.3.1 Precipitación

La precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua (Aparicio 1997).

La precipitación es la cantidad de agua meteórica total, líquida o sólida, que cae sobre una superficie horizontal determinada, llamada sección pluviométrica. En general, es la superficie colectora del pluviómetro. Las precipitaciones agrupan todas las aguas meteóricas recogidas en una cuenca vertiente o una zona determinada. Se presenta en forma líquida (lluvia, niebla, rocío) o sólida (nieve, granizo, escarcha). La lluvia es la pluviosidad y la nieve, la nubosidad (Castany 1971).

Según Villón (2004), las precipitaciones se clasifican en relación al factor que provoca la elevación del aire en la atmósfera en:

Precipitación convectiva. En tiempo caluroso, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie del agua, formando grandes masas de vapor de agua, que por estar más calientes, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo a la adiabática seca o húmeda. Generalmente viene acompañada de rayos y truenos, propias de las regiones tropicales, donde las mañanas son muy calurosas, el viento es calmo y hay una predominancia de movimiento vertical del aire. **Precipitación orográfica.** Se producen cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujada por el viento hacia las montañas, aquí las nubes siguen por las laderas de las montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación. **Precipitación ciclónica.** Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación. Están asociadas con el paso de ciclones o zonas de baja presión.

La **precipitación efectiva** según Linsley (1988) citado por INAB (2003) es la porción de la precipitación que puede infiltrarse en el perfil del suelo y estar de forma disponible para ser aprovechada por las raíces de las plantas o bien alcanzar estratos más profundos como los acuíferos. Para Calvo (2005) la precipitación efectiva es la porción de lluvia que puede llegar a estar disponible en la zona ocupada por las raíces de las plantas, por lo que el aprovechamiento de la lluvia depende de factores tales como, la intensidad, duración y distribución de las lluvias, la velocidad de infiltración del suelo, la cobertura vegetal y la topografía de la superficie. Para efectos del estudio entenderemos por precipitación efectiva la cantidad de lluvia que infiltra y pueda efectuar una recarga hídrica o acuífera.

2.3.2 Evapotranspiración

Es un proceso que resulta del efecto combinado de la evaporación del agua de un suelo húmedo y la transpiración correspondiente de las plantas. La transpiración es la pérdida de agua por la planta, fundamentalmente a través del sistema foliar. El agua es captada del suelo a través del sistema radicular y circula por la estructura de la planta hasta salir al exterior. No se

debe confundir con el agua que cae al follaje por intercepción y vuelve a la atmósfera por evaporación (Velásquez y Chang 1992).

La evaporación es una etapa permanente del ciclo hidrológico. Hay evaporación en todo momento y en toda superficie húmeda. Considerada un fenómeno puramente físico, la evaporación es el paso del agua del estado líquido al estado gaseoso (Villón 2004).

2.3.3 Escorrentía

El agua de lluvia satisface inicialmente las demandas hídricas del suelo y el ambiente atmosférico que rodea los cultivos: la temperatura, humedad relativa, lluvia, radiación solar y viento. Por efecto de estas cinco variables, se produce la transpiración de las plantas vía estomas y la evaporación del agua de la superficie del suelo. Simultáneamente, ocurre infiltración de agua en el suelo, parte de la cual se almacena en sus horizontes y otra recarga los acuíferos subterráneos, dependiendo de la textura, estructura, tipos de poros y contenido de materia orgánica del suelo. Cuando la precipitación pluvial ha cubierto todas las demandas, ocurre la escorrentía superficial.

La escorrentía es la cantidad del agua de lluvia que excede la capacidad de infiltración del suelo. Cuando el exceso de lluvia supera la capacidad de almacenamiento del suelo, el agua fluye en sentido longitudinal de la pendiente (aguas abajo), el exceso de agua escurre hacia los arroyos, quebradas, ríos, lagos y océanos (Núñez 2001).

Según Villón (2004), el escurrimiento se clasifica en tres tipos:

Escurrimiento superficial: es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato y existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine.

Escurrimiento subsuperficial: es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento total, puede ser inmediato o retardado. Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que al escurrimiento superficial, en caso contrario, como escurrimiento subterráneo.

Escurrimiento subterráneo: es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra, una vez que el suelo se ha saturado.

2.3.4 Infiltración

Es el ingreso vertical descendente del agua de lluvia a través de la superficie de un suelo no saturado con agua. Decece con el tiempo de registro de una tormenta. Es influenciada por las propiedades físicas del suelo: textura, estructura, contenido de materia orgánica, grado de humedad inicial y presencia de grietas causadas por la condición mineralógica de suelo que tiene arcillas 2:1 expandibles. También es influenciada por la presencia de canaliculos remanentes a causa de raíces muertas, cuya mineralización y humificación deja espacios huecos en el suelo -usualmente macroporos (Núñez 2001).

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. La conductividad hidráulica, la porosidad del suelo, la condición de la superficie y la capa vegetal son factores que afectan la tasa de infiltración (Faustino 2006).

Maderey (2005) señala que la infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo; el agua infiltrada provee casi a todas las plantas terrestres y muchos animales, alimenta al agua subterránea y a la vez a la mayoría de las corrientes en el período de estiaje, reduce las inundaciones y la erosión del suelo. En el proceso de infiltración se pueden distinguir tres fases: a) intercambio. Se presenta en la parte superior del suelo, donde el agua puede retornar a la atmósfera a través de la evaporación debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas; b) Transmisión. Ocurre cuando la acción de la gravedad supera a la de la capilaridad y obliga al agua a deslizarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable; c) Circulación. Se presenta cuando el agua se acumula en el subsuelo debido a la presencia de una capa impermeable y empieza a circular por la acción de la gravedad, obedeciendo las leyes del escurrimiento subterráneo.

La proporción de infiltración respecto al total de las precipitaciones depende de varios factores. La litología (la naturaleza del material geológico que aflora la superficie) influye a través de su permeabilidad, la cual depende de la porosidad, del diaclasamiento (agrietamiento) y de la mineralogía del sustrato. Por ejemplo, los minerales arcillosos se hidratan fácilmente, hinchándose siempre en algún grado, lo que da lugar a una reducción de la porosidad que termina por hacer al sustrato impermeable. Otro factor desfavorable para la infiltración es una pendiente marcada. La presencia de vegetación densa influye de forma compleja, porque reduce el agua que llega al suelo (interceptación), pero extiende en el tiempo el efecto de las precipitaciones, desprendiendo poco a poco el agua que moja el follaje,

reduciendo así la fracción de escorrentía y aumentando la de infiltración. Otro efecto favorable de la vegetación tiene que ver con las raíces, especialmente las raíces densas y superficiales de muchas plantas herbáceas, y con la formación de suelo, generalmente más permeable que la mayoría de las rocas frescas (Faustino 2006).

2.4 Balance hídrico

La evaluación de los recursos hídricos requiere una correcta estimación del balance hidrológico o de la repartición de la precipitación entre evapotranspiración, escorrentía y recarga de los acuíferos (Faustino 2006).

La ecuación de continuidad, o de balance hidrológico, es la ley más importante en Hidrología, y aunque su expresión es muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca. En respuesta a estas dificultades, generalmente se admiten dos asunciones, la primera supone que **las pérdidas profundas son despreciables** (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable), y la segunda admite que **las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables** para un período suficientemente largo (normalmente un año) (Faustino 2006).

El balance hídrico es una representación teórica de los intercambios de agua entre las plantas, el suelo y la atmósfera, este nos permite cuantificar los recursos hídricos a diferente escala como parcela, finca, cuenca, región y las modificaciones del mismo por influencia de las técnicas de manejo de la agricultura y de las actividades del hombre en general (Jiménez 2006c).

El balance hídrico permite establecer en áreas determinadas las ganancias y pérdidas de agua, siendo su aplicación de enorme trascendencia en diferentes áreas (Jiménez 2006c):

- ? El manejo del riego (dosis y frecuencias).
- ? La elaboración de calendarios agrícolas.
- ? Estimación de la pérdida de suelo (erosión) y nutrientes en el proceso de escorrentía superficial.
- ? Comparar la eficiencia en el uso de agua por diferentes combinaciones árbol-cultivo.

- ? La planificación y evaluación de los recursos hídricos de una cuenca, una región, una zona bajo riego, etc., así como las modificaciones por influencia de las actividades del hombre.
- ? La elaboración de zonificaciones climáticas y agroclimáticas.

La demanda de agua en cantidad y calidad está estrechamente relacionada con los usos que le deseamos dar, ya sea para satisfacer las necesidades básicas humanas (beber, lavar, cocinar) y garantizar la salud, necesidades de los ecosistemas, para la producción de alimentos (regadíos), para la industria, generación de energía, transporte, actividades recreativas, componente importante el proceso de desarrollo económico, social y ambiental.

El balance hidrológico nos proporciona información acerca de la oferta hídrica, es decir con cuanto disponemos de agua para las diversas actividades; mientras que la demanda hídrica está condicionada por el consumo en metros cúbicos necesarios para satisfacer los diferentes usos, esto nos dimensiona la importancia de contar con balance hídrico; ya que nos brinda los elementos precisos en la toma de decisiones en torno al aprovechamiento de los recursos hídricos de una forma racional y sostenible (Jiménez 2006c).

2.4.1 Ecuación general del balance hídrico

El balance hídrico esta sustentado en la aplicación del principio de conservación de masa, conocida como ecuación de la continuidad. Esta expresa la equivalencia entre los aportes de agua que entran al volumen de control y la cantidad de agua que sale considerando además las variaciones internas en el almacenamiento de humedad ocurrida durante un período de tiempo determinado (Faustino 2006).

La ecuación del balance hídrico se expresa de la siguiente forma:

Precipitación (+ agua de otras cuencas) = evapotranspiración + escorrentía superficial + escorrentía subterránea (+ agua de otras cuencas) +/- almacenamiento

2.5 Aguas subterráneas

El agua subterránea es la que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático. Es de gran importancia especialmente en aquellos lugares secos, donde el escurrimiento se reduce mucho en algunas

épocas del año. Esta agua proviene de la infiltración directa en el terreno de las lluvias o nieves, o indirectas de los ríos o lagos (Villón 2004).

El agua procedente de las precipitaciones atmosféricas penetra en el terreno por gravedad, favorecida por la existencia de grietas o fisuras en las rocas, y por la misma porosidad de los materiales que forman el subsuelo, constituyendo así el agua subterránea también llamada “freática” (Meléndez y Fuster 1972).

Las aguas subterráneas no son más que una de las fases o etapas del ciclo del agua, no tienen necesariamente un origen magmático o profundo. A veces se olvida esta obviedad y se explotan las aguas de una cuenca hidrológica como si nada tuviera que ver con las precipitaciones o la escorrentía superficial, con resultados indeseables (Faustino 2006).

2.5.1 Acuífero

Es aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (Custodio 1998).

Se denomina **acuífero** a una masa de agua existente en el interior de la corteza terrestre debido a la existencia de una formación geológica que es capaz de almacenar y transmitir el agua en cantidades significativas, de tal forma que permiten extraer cantidades de agua, de una forma que es económicamente rentable (Faustino 2006).

Como acuífero se entiende la parte saturada del perfil del suelo y que tiene la facilidad de almacenar y transmitir el agua. El perfil del suelo está formado de sedimentos no consolidados o débilmente consolidados, depositados horizontalmente o simplemente estructurados, en capas mejor o peor definidas. Una característica común de estas capas es la de ser de poco espesor en relación con su extensión horizontal. Estas capas se clasifican en (Villón 2004): permeables, semipermeables e impermeables.

Capa permeable. Se dice que una capa es permeable cuando sus propiedades transmisoras de agua son favorables o, al menos favorables en comparación con los estratos superiores o inferiores. En una capa de este tipo la resistencia al flujo vertical es pequeña y puede ser generalmente despreciada de forma que únicamente deben tenerse en cuenta las pérdidas de energía causadas por el flujo horizontal.

Capa semipermeable. Una capa se considera semipermeable si sus propiedades transmisoras de agua son relativamente desfavorables. El flujo horizontal a lo largo de una distancia significativa es despreciable, pero el flujo vertical no puede despreciarse ya que la resistencia hidráulica del flujo es pequeña debido al espesor relativamente pequeño de las capas. Por consiguiente el flujo de agua en las capas semipermeables se considera esencialmente vertical.

Capa impermeable. Una capa se considera impermeable si sus propiedades transmisoras de agua son tan desfavorables que solamente fluyen a través de ella, sea vertical u horizontal, cantidades de agua despreciables. Capas completamente impermeables son poco frecuentes cerca de la superficie del suelo, pero son comunes a mayores profundidades, donde han tenido lugar la compactación, cementación y otros procesos de consolidación.

De acuerdo a la combinación que tengan las capas del perfil del suelo que contienen aguas subterráneas los acuíferos pueden ser (Villón 2004):

Acuífero libre: llamado también acuífero freático o capa freática, es una formación permeable saturada limitada en su parte inferior por una capa impermeable. El límite superior está formado por la tabla de agua, la que se encuentra en equilibrio con la presión atmosférica. El agua en un acuífero libre se llama agua freática o libre.

Acuífero confinado: es una formación permeable completamente saturada de agua y cuyos límites superior e inferior son capas impermeables. En los acuíferos confinados, la presión del agua en ellos, es generalmente mayor que la atmosférica, por tal razón, el agua en pozos que penetran en tales acuíferos permanecen por encima del nivel superior de las capas permeables. El agua de un acuífero confinado se denomina agua confinada o agua artesisiana.

Acuífero semiconfinado: es una formación permeable saturada, cuyo límite superior está constituido por una capa semipermeable y cuyo límite inferior puede ser una capa impermeable o semipermeable. En la capa superior se encuentra la tabla de agua, cuya altura difiere a menudo a la carga piezométrica y al agua confinada en la capa permeable.

Acuífero semilibre: es en realidad una formación casi semiconfinada, en la cual la conductividad hidráulica de la capa semipermeable es tan grande que el componente horizontal de flujo de esta capa no puede ser despreciada. Este tipo de acuífero es una forma intermedia entre el tradicional, acuífero semiconfinado y el acuífero libre.

2.5.2 Manantiales

Para Faustino 2006, manantial es la salida natural de agua de un acuífero a la superficie terrestre en un punto localizado. Estos se localizan en una discontinuidad del estrato impermeable, ladera, cauce de río, falla o diaclasa, dando origen a manantiales cuyo nombre recoge la situación: manantiales de ladera, de falla, de diaclasa, etc.

Custodio y Llamas (2001), citado por INAB (2003), define los manantiales como zonas de la superficie del terreno en la que, de modo natural, fluye a la superficie una cantidad apreciable de agua, procedente de los acuíferos o embalses subterráneos. Es decir que los manantiales son desagües o aliviaderos por los cuales sale la infiltración o recarga que reciben los embalses subterráneos y pueden ser locales o regionales. Así mismo para RAMSAR (2005), los manantiales superficiales que brotan de acuíferos son la fuente visible de agua de muchos ríos y otros tipos de humedales.

2.5.3 Recarga y zonas de recarga

Para Benfelt (2000) citado por INAB (2005b) recarga es el nombre que se le da al proceso que permite que el agua alimente un acuífero. Este proceso ocurre de manera natural cuando la lluvia se filtra hacia un acuífero a través del suelo o roca. El área o zona donde ocurre la recarga se llama **zona de recarga**.

La recarga es el proceso de incorporación de agua a un acuífero producido a partir de diversas fuentes: de la precipitación, de las aguas superficiales y por transferencias de otro acuífero o de un acuitardo. Los métodos para estimarla son de variada naturaleza entre los que se destacan los balances hidrológicos, el seguimiento de trazadores ambientales o artificiales (químicos e isotópicos), las mediciones directas en piezómetros, la cuantificación del flujo subterráneo y las fórmulas empíricas entre los más comunes. Los resultados son inseguros debido a la incertidumbre de los componentes considerados en las ecuaciones, la naturaleza empírica o semiempírica de las fórmulas utilizadas, la simplificación de las variables y de los procesos y errores en las mediciones de calibración (Carrica et ál 2004).

En términos generales se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero agua procedente del exterior del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (la más importante en general) y de las aguas

superficiales (importantes en climas poco lluviosos), hasta la transferencia de agua desde otro acuífero, si los mismos son externos al acuífero o sistema acuífero en consideración (Custodio 1998).

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 explotados (Losilla 1986).

Los fenómenos más importantes concernientes a los acuíferos desde el punto de vista de la hidrología son la **recarga y descarga** de ellos. Normalmente los acuíferos se van recargando de forma natural con la precipitación que se infiltra en el suelo y en las rocas. En el ciclo geológico normal el agua suele entrar al acuífero en las llamadas zonas de recarga, atraviesa muy lentamente el manto freático y acaba saliendo por las zonas de descarga, formando manantiales y fuentes que devuelven el agua a la superficie (Faustino 2006).

La descarga de un acuífero a un río es un fenómeno habitual como también es normal el contrario, la recarga de un acuífero por un río. Existiendo una relación acuífero-río-acuífero muy importante en la cual el sentido del flujo depende básicamente de los niveles de agua en el río y en el acuífero así como de la geomorfología de la zona (Faustino 2006).

Por otra parte la recarga natural tiene el límite de la capacidad de almacenamiento del acuífero de forma que en un momento determinado el agua que llega al acuífero no puede ser ya almacenada y pasa a otra área, superficie terrestre, río, lago, mar o incluso a otro acuífero. La capacidad de almacenamiento de un acuífero dependerá del espesor y profundidad, esto se refiere a la “geometría de los acuíferos solos, en conjunto o interconectados” (Faustino 2006).

La cantidad de recarga de un acuífero, depende en cierto modo de la extensión del área de entrada o de captación. De hecho, los acuíferos más productivos son los lechos permeables situados en áreas extensas. Así mismo, también tenemos que la infiltración es mayor cuando en la zona de recarga o entrada se da además de la precipitación local el escurrimiento superficial de alguna área tributaria. Esto sucede principalmente en pendientes aluviales que reciben aguas superficiales provenientes de áreas montañosas con fuerte precipitación (INAB 2003).

Las áreas de mayor recarga son las que más nos interesa conservar, tanto en sus características físicas de permeabilidad, que afectan la magnitud de la recarga como en

actividades que produzcan contaminación que fácilmente se puedan infiltrar al acuífero afectando la calidad de sus aguas. Debido a que gran parte de la precipitación es de origen orogénico, las montañas y zonas altas, principalmente si su suelo y subsuelo son permeables, debido a su mayor constancia de precipitación son por lo general áreas de recarga importantes (Losilla 1986).

2.5.4 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 mismo varía o depende de acuerdo a 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 las muy inclinadas favorecen la escorrentía superficial y, si son menos fuertes, retienen por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración (INAB 2003).

Los acuíferos recargan en cualquier área en que: a) exista suelo o roca permeable en superficie, b) que esté en comunicación hidráulica con los acuíferos, y c) que esté temporalmente en contacto con agua. Todos estos factores definen la recarga, ocurren en diferentes grados relativos en las capas que sobreyacen a los acuíferos. Para conocer y delimitar las principales zonas de recarga de un acuífero y su mecánica de funcionamiento, se necesitan muy variados y específicos estudios hidrogeológicos (Losilla 1986).

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

- ☞ **El clima**, dentro de este los factores que afectan la recarga hídrica son, la evapotranspiración, debido a las pérdidas de agua por la transpiración de las plantas y la evaporación del agua y la precipitación pluvial.
- ☞ **El suelo**, debido a que suelos impermeables o compacto impiden o dificultan la infiltración o recarga hídrica, mientras que suelos permeable facilitan a garantizan la recarga en los acuíferos. Las características del suelo que influyen en la recarga son, la textura, la densidad aparente, grado de saturación del suelo (contenido de humedad) y la capacidad de infiltración.
- ☞ **Topografía**, esta influye debido al tiempo de contacto que permite entre el agua con la superficie, pendientes fuertes favorecen la escorrentía superficial, disminuyen el tiempo

de contacto del agua con la superficie y reducen la infiltración del agua o recarga de los acuíferos.

- ✍ **Estratigrafía geológica**, es muy importante estudiar la estratigrafía de la zona, es decir conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos en los distintos estratos o capas del suelo hasta llegar a la zona saturada (agua subterránea), ya que estos pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica.
- ✍ **Cobertura vegetal**, esta disminuye la escorrentía superficial, permitiendo mayor contacto del agua con la superficie y facilitando el proceso de infiltración del agua, por otro lado gran parte de la lluvia que cae es depositada en la cobertura vegetal como intersección; en este factor es necesario considerar la profundidad radicular y la capacidad de retención vegetal.
- ✍ **Escurrimiento**, el agua que cae proveniente de las precipitaciones forma flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos los cuales son captados por los cauces de los ríos.

2.5.5 Clasificación de las zonas de recarga hídrica

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

Zonas de recarga hídrica superficial: prácticamente es toda la cuenca hidrográfica, excluyendo las zonas totalmente impermeables, esta es la que se humedece después de cada lluvia, originando escorrentía superficial, según las condiciones de drenaje (relieve del suelo y su saturación). La medición de este 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: es la que corresponde a las zonas de la cuenca con suelos con capacidad de retención de agua o almacenamiento superficial sobre una capa impermeable que permite 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, también dependen de la cantidad de precipitación y el efecto “esponja” del suelo (libera lentamente el agua en su movimiento horizontal). Este caudal se mide igual que en el caso anterior y puede ocurrir después de las lluvias y en épocas secas, cuando el agua

proveniente es de bosques. En esta evaluación, cuando se determina la infiltración en el movimiento del agua en el suelo o subsuelo, el flujo horizontal corresponde a esta zona de recarga y el flujo vertical corresponde a la escorrentía subterránea.

Zonas de recarga hídrica subterránea: es la que corresponde a las zonas de la cuenca (sitios planos o cóncavos, y rocas permeables) en el cual el flujo vertical de la infiltración es significativa, ésta 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, bombeos y prospección geofísica), indirecto (mediante el balance hidrogeológico).

Zonas de recarga hídrica subterránea: es la que corresponde a zonas de la cuenca que presentan fallas geológicas profundas o cuando en el balance hidrogeológico se identifica una pérdida por percolación profunda. Generalmente coincide con las zonas de recarga subterránea.

El mal manejo de los recursos naturales consecuentes del desarrollo, el crecimiento demográfico, urbanístico, industrial y la expansión de las fronteras agropecuarias conducen a los siguientes efectos e implicaciones en los acuíferos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la actividad antrópica sobre los acuíferos

Actividades	Implicaciones en el acuífero
Mayor explotación de las aguas subterráneas.	<p>Descenso de niveles de agua.</p> <p>Mejoramientos del drenaje en tierras bajas (control de inundaciones).</p> <p>Aumento en costos de bombeo.</p> <p>Intrusión de aguas salinas en zonas costeras (degradación).</p> <p>Disminución de descargas naturales (manantiales, flujos base).</p>
<p>Impermeabilización de suelos (zonas de recarga).</p> <p>Deforestación (compactación de los suelos</p>	<p>Menor recarga (menor potencial de los acuíferos, aumento de la escorrentía superficial y erosión en zonas de recarga).</p>

por lluvia y erosión por mayor escorrentía superficial). Construcciones (urbanizaciones, carreteras).	
Intensificación de actividades humanas.	Contaminación de agua y suelo.

Fuente: Losilla 1986.

En párrafos anteriores se ha hecho mención de recarga acuífera y recarga hídrica, para efectos del presente trabajo trataremos de hacer una mezcla de ambos al considerar elementos que definen tanto la recarga hídrica como la recarga acuífera.

2.5.6 Recarga artificial

La recarga artificial de los acuíferos data por lo menos, de la época en que se comenzó a regar el agua sobre el terreno, siendo el volumen de agua excesivo en relación a las necesidades de las plantas, una parte no despreciable de aquel que se infiltraba en el acuífero, provocando una recarga no natural del mismo (Pierre 1971).

Las captaciones de agua en el borde de los ríos, mediante pozos o galerías provoca un gradiente hidráulico entre el río y el acuífero, o bien aumentando el gradiente ya existente, creando condiciones de recarga artificial, sin que el hombre en ello tenga una intervención directa (Pierre 1971).

La recarga artificial consiste en hacer penetrar en el terreno el máximo caudal de agua para el mínimo costo de inversión y explotación. Se emplean dos obras básicas, el estanque de infiltración y el pozo o sondeo de inyección, dependiendo la elección sobre todo de los factores hidrodinámicos inherente al acuífero utilizado (Pierre 1971).

La recarga artificial es una herramienta de la gestión hídrica planificada en la que aguas superficiales ocasionales, sobrantes o especialmente destinadas se almacenan en los acuíferos para incrementar los recursos hídricos y para mantener o constituir una reserva disponible para situaciones de escasez estacional o para sequías (Custodio 2000).

El uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas necesita el empleo de las técnicas de recarga artificial, dichas técnicas nos permiten usar el sistema natural “suelo - acuífero”, lo cual contribuye a aumentar la capacidad de almacenamiento, regular e incrementar la garantía

de los recursos hídricos y a disponer de dispositivos de depuración y eliminación de aguas residuales. Los aspectos más relevantes que ofrece esta técnica al usuario y al gestor de los recursos hídricos se resumen en (Faustino 2006):

- Mejora e incremento de los recursos disponibles.
- Elimina o reduce el descenso de nivel del agua subterránea producido por bombeo no programado.
- Utilización del acuífero como embalse regulador o depósito, haciendo uso de la capacidad de almacenamiento de éstos.
- Modifica la calidad de las aguas.
- Mejora la situación de los acuíferos costeros creando barreras hidráulicas contra la intrusión marina.
- Evita que aguas de peor calidad en el acuífero se desplacen hacia las captaciones de buena calidad.

2.5.7 Condiciones para la recarga artificial

La recarga artificial está condicionada primordialmente por las características del terreno que permitan tal operación (conductividad hidráulica, permeabilidad, porosidad, textura, estructura), por lo tanto todas aquellas actividades que tiendan a disminuir la permeabilidad del terreno en las inmediaciones de las obras de inyección tendrán una influencia negativa sobre el resultado de la recarga. Así mismo las características de los acuíferos influyen en su recarga artificial, ya que un acuífero poco permeable dificulta tal actividad, de modo que solo se les pueden inyectar pequeños caudales y no se consigue extraer más que pequeños volúmenes de agua, aún a pesar de que el volumen almacenado sea grande (Pierre 1971).

La recarga artificial se puede practicar, en principio, en cualquier tipo de formación permeable que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua. Ahora bien, no todos los acuíferos son adecuados para realizar una recarga artificial. La efectividad de la misma está estrechamente ligada a las características hidrogeológicas, hidrodinámica y de almacenamiento del acuífero receptor, así como al régimen de explotación al que se encuentra sometido. En este sentido debe precisarse que el agua recargada tiene que permanecer en el acuífero el tiempo suficiente para permitir su utilización posterior. Así mismo, su calidad final debe ser la adecuada para los usos a los que se destine (Faustino 2006).

2.5.8 Contaminación de aguas subterráneas

El agua lleva disuelta y en suspensión, todas las sustancias que adquiere durante su recorrido en el ciclo hidrológico; por lo que se entenderá por contaminación la presencia de elementos o sustancias en concentraciones no deseadas, tales que puedan afectar a la salud o el bienestar del hombre o ser una amenaza para la naturaleza (Mora y Valverde 2005).

Los cambios en la calidad de las aguas subterráneas son causadas, bien por la introducción de sustancias químicas o biológicas en el medio ambiente subterráneo debido a la actividad humana, por la interferencia cuantitativa con los esquemas naturales de circulación, por procesos completamente naturales, o por las diversas combinaciones posibles entre todos ellos (FAO 1981).

Según Mora y Valverde (2005), los componentes y características que sirven para definir la calidad del agua, son los mismos agentes involucrados tanto en la contaminación subterránea como en la superficial. Estos son las sales de iones de cloruro, sulfato, calcio, sodio, magnesio, potasio. Compuestos nitrogenados, como los nitratos, nitritos o amoníaco, materia orgánica (biodegradable o no); compuestos tóxicos o inorgánicos como arsénico, mercurio, antimonio o plomo. Los elementos radiactivos y los microorganismos patógenos, también pueden ser agentes contaminantes.

Las contaminaciones de los acuíferos raramente se producen de forma natural y espontánea, detrás siempre está la actividad humana: las actividades mineras y de rocas industriales, las construcciones subterráneas, los colectores de aguas residuales de las urbanizaciones, la nula protección sanitaria de las áreas de recarga, los vertidos de desechos urbanos e industriales, la inyección de líquidos nocivos al medio permeable (fosas sépticas), etc, son los principales focos contaminantes (Faustino 2006).

Las contaminaciones de un acuífero subterráneo son de tres tipos según su distribución espacial (Faustino 2006):

Contaminaciones puntuales: la mayoría están relacionadas con la eliminación de aguas residuales, los desperdicios urbanos (basureros) y los residuos industriales y mineros.

Contaminaciones lineales: los ríos y canales de riego con aguas contaminadas pueden pasar de efluentes a influyentes por inversión causada por la sobreexplotación de los acuíferos.

Este fenómeno puede considerarse generalizado en los acuíferos lineales de los aluviales conectados al río.

Contaminaciones dispersas: por ejemplo ciertas actividades agrícolas como abonar los cultivos, el empleo de productos fitosanitarios, plaguicidas, insecticidas y herbicidas.

Según FAO (1981), existen seis propiedades o características hidráulicas del transporte de masa que influyen en el grado de desplazamiento de los contaminantes:

1. La conductividad hidráulica del suelo, junto con el gradiente hidráulico entre la superficie del terreno y la superficie piezométrica, determinan el movimiento del agua. Si la conductividad hidráulica del suelo es bastante alta, puede producirse una fuerte evaporación, y el movimiento ascendente de las sales debido a este fenómeno es probable que también sea importante, teniendo lugar la acumulación de sales en la superficie.
2. El contenido en humedad de un suelo representa el volumen relativo del mismo ocupado por el agua. Cuando el suelo está saturado, todos los huecos están rellenos de agua y el contenido en humedad es igual a la porosidad. El movimiento descendente de los solutos, está particularmente influido por este contenido en humedad. Generalmente los contenidos bajos en humedad, como ocurre en los suelos arenosos, favorecen una mayor velocidad descendente del soluto.
3. El volumen poroso activo en relación con el inactivo, influye también en el movimiento, constituyendo un problema particular en terrenos no saturados o consolidados, donde junto a grandes poros que dejan pasar el agua con facilidad, existen otros más pequeños y aislados que admiten el soluto fundamentalmente por difusión molecular. En consecuencia, el soluto se desplaza a través del terreno más rápidamente, debido a la disminuida actividad del contenido en humedad; sin embargo, y al mismo tiempo, parte del soluto se queda (atrás), atrapado en los mencionados poros inactivos.
4. El grado de heterogeneidad del suelo tiene una influencia doble. Por un lado, la distribución del tamaño de los poros, produce o puede producir el efecto de “callejón sin salida”; por otro, una estratificación sedimentaria ocasiona una variación especial de la humedad y de la conductividad hidráulica, que a su vez influyen en la velocidad de desplazamiento del soluto.

5. Las condiciones en los límites de la zona no saturada influyen en la cantidad de humedad disponible para percolación y/o evapotranspiración. En consecuencia, son las condiciones en los límites las que determinan el movimiento ascendente o descendente del agua y el soluto, en un suelo determinado y en un momento dado.
6. Según va atravesando la zona no saturada, el soluto se va extendiendo. Este hecho puede ser debido en parte al efecto de “callejón sin salida”.

2.6 Uso de la tierra

El uso de la tierra puede definirse como cualquier aplicación humana del recurso tierra. El manejo del uso de la tierra es básicamente un asunto de gobierno e incluye la administración, definición y hasta cierto punto el establecimiento de determinados usos dentro de ciertos límites de la tierra. Esto incluye dar licencias para usar la tierra de cierta manera y tal vez cierto tiempo, y puede incluir en alguna forma el control sobre la aplicación de las políticas de uso de la tierra dentro de un contexto legal (Richters 1985a).

La necesidad del manejo de la tierra se explica mediante dos factores: la apremiante escasez del recurso tierra per cápita y los efectos negativos de los usos de la tierra más allá de un potencial sostenible fuera de su propio ambiente en tiempo y espacio (Richters 1985a).

El manejo del uso de la tierra es la actividad que tiene como meta, la determinación, el establecimiento y el mantenimiento de una combinación de usos de la tierra hasta un potencial sostenible, lo cual está determinando una y otra vez en un proceso más o menos cíclico de (re) evaluación, (re) definición de factores y procesos contribuyentes, en un contexto físico, biológico, social, político y económico (Richters 1985b).

2.7 Relieve o topografía

El relieve es la configuración física de la superficie de la tierra, incluyendo las irregularidades (elevaciones y depresiones de la tierra) al considerarlas en conjunto. El relieve es consecuencia de los procesos geológicos y de meteorización actuando sobre los materiales geológicos, y es considerado como factor formador del suelo. Una de las varias características del relieve es la pendiente, que modifica las condiciones del suelo como son el drenaje, la infiltración, la profundidad, la susceptibilidad a la erosión, el cúmulo de materiales etc.,

afectando por lo tanto el desarrollo y la evolución del perfil en el tiempo, su grado de utilidad agrícola y su clasificación (Núñez 1981).

UNESCO (1986) identifica los principales elementos que nos ofrece el relieve (y su relación con el ciclo hidrológico), tales como:

Energía del relieve: el agua se desplaza por la superficie del terreno con mayor o menor velocidad, donde lo hace con mayor velocidad muestra que la energía del relieve es mayor esto coincide con los lugares en donde la inclinación del terreno también es mayor. En consecuencia la llamada energía del relieve queda expresada por las pendientes y la longitud de ella, mediante la dirección en que se mueve el agua y la posición relativa (alta, intermedia y baja), de cada lugar del paisaje.

Formas del relieve: en el relieve podemos identificar superficies planas, cóncavas y convexas. Las superficies de las formas señaladas pueden estar en posición horizontal o bien inclinada. En las superficies convexas, el agua se ha movido dispersándose hacia distintas direcciones, en las superficies planas inclinadas la trayectoria del agua ha seguido direcciones casi paralelas y las cóncavas se ha desplazado concentrándose en el lugar más bajo.

Escurrimiento: cuando el agua está moviéndose sobre el relieve, se dice que escurre. Por la combinación de las distintas formas del paisaje se producen cauces naturales, los que pueden profundizarse por el propio escurrimiento y en este caso se dice que el **escurrimiento es encausado**. El agua también se mueve sin formar cauces, como si fuera una delgada lámina de agua entonces se dirá que es un **escurrimiento no encausado** o escurrimiento en manto. El agua no solo se desplaza o mueve por la superficie del terreno, también puede escurrir en forma subterránea por los poros, grietas y fisuras del suelo y las rocas, a lo que se llama **escurrimiento subterráneo**.

Macro infiltración: si observamos detenidamente el paisaje con toda su representación del relieve advertimos que cuando llueve una parte de agua se infiltra y que otra escurre por la superficie del terreno. Hay fenómenos naturales que permiten ver esta infiltración en forma más notoria. Tal vez los campesinos del lugar conozcan zonas arenosas o de rocas muy fracturadas donde se puede observar este fenómeno. Como esto ocurre en lugares muy extensos, en superficies muy grandes, se le denomina macro infiltración. Las áreas donde

ocurre esta infiltración son llamadas zonas de recarga pues el agua infiltrada allí no se pierde, sino que generalmente, se suma al escurrimiento subterráneo.

Macro acumulación: en la superficie de la tierra se forman algunas lagunitas o charcos de agua, ya que el agua escurre hacia los lugares más bajos acumulándose en éstos. Toda el área que aporta agua a estos lugares bajos se denomina cuenca de aporte y como el agua queda allí en el bajo sin continuar su curso se dice que es una cuenca cerrada la cual corresponde a una acumulación.

2.8 Características del suelo

El suelo es el material no consolidado sobre la superficie de la tierra, que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas “...” y que ha estado sujeto e influenciado por factores genéticos y del medio ambiente que son: el material parental, el clima (incluyendo humedad y efecto de temperatura), organismos y topografía, actuando dentro de un período de tiempo y originando un producto (suelo) que difiere del material del cual se deriva, en muchas propiedades y características físicas, químicas, biológicas y morfológicas (Núñez 1981).

Las características del suelo constituyen una herramienta de gran importancia, para la comprensión y entendimiento de los procesos dinámicos que ocurren en el, lo que nos da las pautas para un manejo más adecuado que nos permite no solo su protección si no también su mejoramiento especialmente cuando este ha sido manejado inadecuadamente (Henríquez y Cabalceta 1999).

Cuando nos referimos a las zonas de mayor recarga hídrica de los acuíferos subterráneos es importante conocer y entender cuales son las principales características del suelo que pueden favorecer o no la mayor recarga de los acuíferos, entre estas características podemos referirnos a la infiltración, permeabilidad, conductividad hidráulica, capacidad de campo las que a su vez están influenciadas por la textura, porosidad y contenido de materia orgánica presente en los suelos.

2.8.1 Textura

Está determinada por la conformación granulométrica o composición mecánica del suelo e indica la proporción que existe entre las diferentes fracciones granulométricas como arena, limo y arcilla (Cuadro 2). Para determinar la clase textural de los suelos, se realizan análisis mecánicos de laboratorio y los resultados se interpretan a través del triángulo (Figura 4) de la textura (Vásquez y Chang 1992).

Cuadro 2. Fracciones granulométricas de clases texturales

Textura	Diámetro de las partículas (mm)
Arenosas	2 – 0.05
Limosas a francas	0.05 – 0.002
Arcillosas	< 0.002

Fuente: Vásquez y Chang (1992)

La textura del suelo es una de las características básicas del suelo. Influencia otras propiedades como las relaciones hídricas, la fuerza o succión con que es retenida el agua por los coloides o arcillas del suelo y el rango de disponibilidad de agua (en porcentaje), para las plantas. Determina parcialmente el grado de aireación del suelo, ya que dependiendo del tipo de textura predominante dominan macroporos (rango 60 – 100 u) o microporos (menores de 60 u) y el aire se desplaza más fácilmente en los macroporos (Núñez 1981).

La infiltración o velocidad con que el agua penetra en la superficie del suelo, es siempre mayor en suelos de textura gruesa (arenosa, franco arenosa, arenosa franca) que en suelos de textura fina o pesados, como los arcillosos (Núñez 1981).

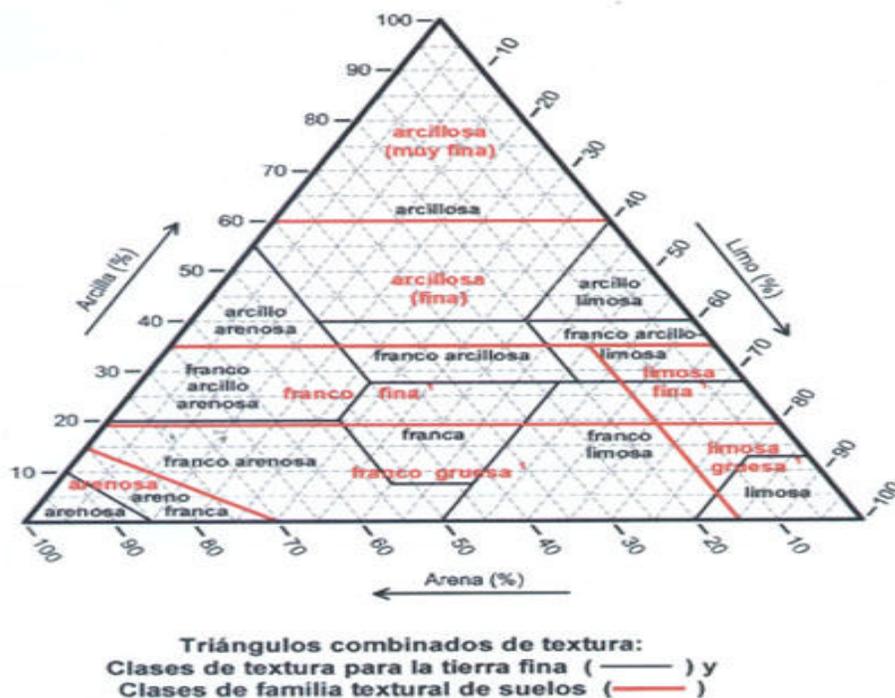


Figura 4: Triángulo de textura del suelo

2.8.2 Estructura

Es el producto de la combinación de los tres componentes primarios arenas, limos y arcillas y otros más grandes (tanto de naturaleza mineral como orgánica), los que por acción directa de materiales cementantes, se agregan y forman lo que se conoce como pedos. Entre los materiales cementantes más importantes se encuentran los minerales arcillosos, la materia orgánica, los óxidos de hierro y aluminio, los carbonatos, etc. El proceso de formación de estructura se llama agregación (floculación) y es lo contrario a dispersión (desfloculación), (Henríquez y Cabalceta 1999).

Una característica importante de la estructura del suelo, es la capacidad que tienen los granos de retener su forma cuando se humedecen y de permitir el paso del agua a través del suelo. A esta propiedad se le llama estabilidad estructural. Los granos del suelo deben tener suficiente estabilidad para permitir el libre paso del agua y la entrada de aire conforme sale el agua (Gavande 1972).

La estructura del suelo influye en las relaciones suelo-agua-planta, el régimen de aireación del suelo, el grado de porosidad, la velocidad de infiltración del agua en el suelo y su correspondiente movimiento dentro de este (Vásquez y Chang 1992).

2.8.3 *Materia orgánica*

La fracción orgánica del suelo incluye los residuos provenientes de las plantas y animales que se encuentran en el suelo en diferentes etapas de descomposición, conteniendo residuos frescos, parcialmente descompuestos y totalmente descompuestos (humus), llamándose, en forma genérica materia orgánica (Núñez 1981).

La materia orgánica mejora las propiedades físicas y químicas de los suelos y contribuye a la formación de horizontes (procesos pedogenéticos) o contribuye con otros procesos formadores del suelo. También es la base de la actividad biológica del suelo (Núñez 1981).

La materia orgánica favorece tanto el movimiento de agua y aire como la retención de agua en el suelo debido a que distribuye en forma equilibrada los tipos de poros, también disminuye la densidad aparente ya que incorpora materiales menos densos dentro de un mismo volumen de suelo. La consistencia de los suelos también se ve afectada, ya que en suelos muy arcillosos disminuye la plasticidad y la cohesión, en tanto que en suelos muy arenosos o sueltos, ayuda a mantener su agregación y cohesión.

2.8.4 *Porosidad*

La porosidad está formada por la suma de los porcentajes de poros de diferentes tamaños que actúan de la siguiente manera: los poros grandes sirven para la aireación e infiltración, los poros medianos para la conducción de agua, y los poros pequeños para el almacenamiento del agua disponible para las plantas (Gavande 1972).

En función de las dimensiones de los poros la porosidad del suelo puede ser (Vásquez y Chang 1992):

Capilar: cuando los poros tienen un diámetro menor de 0,1 a 0,2 mm, éstos se encuentran en el interior de los agregados estructurales y tienen la capacidad de retener el agua en el suelo.

No capilar: en este caso los poros son mayores de 0,2 mm de diámetro se encuentran ubicados entre los agregados estructurales, esta porosidad tiene la propiedad de mantener la aireación del suelo.

La porosidad capilar y no capilar constituyen la porosidad total del suelo (P_t) que se define como la relación existente entre el volumen de poros del suelo (V_v) que ocupa el agua y el aire del suelo y el volumen total del suelo (V_t).

2.8.5 Permeabilidad

Al aplicar agua a un suelo seco inicialmente, sea por la lluvia o por el riego, los horizontes superficiales absorben el agua y estos penetran a la superficie, infiltra formando un frente de mojadura al descender el agua a través del perfil percola, llega hasta el nivel freático, donde se incorpora al agua donde se encuentre subsuperficialmente. Pero puede también que se desplace en cualquier dirección en el suelo lo que dependerá de un valor intrínseco característico llamado Conductividad Hidráulica. Este proceso de desplazamiento se conoce como **permeabilidad**, cuando ocurre en suelos no saturados con agua (Núñez 1981).

El valor de la conductividad hidráulica del suelo sirve como un indicador cuantitativo de la permeabilidad del suelo, a mayor valor de la conductividad hidráulica mayor permeabilidad de los suelos y viceversa. La permeabilidad del suelo está íntimamente relacionada con el tamaño de los poros (macroporos, microporos) y la estabilidad de las unidades estructurales del suelo (Vásquez y Chang 1992).

2.8.6 Conductividad hidráulica

La habilidad de un suelo de permitir el flujo de agua en condiciones de suelo saturado, donde la presión hídrica es mayor que la presión atmosférica se define como conductividad hidráulica (Núñez 1981).

La conductividad hidráulica en suelo no saturado es función del contenido de humedad del suelo y cuyo valor para un mismo suelo, va disminuyendo a medida que el suelo va secándose (Vásquez y Chang 1992).

Según Núñez (1981), la conductividad hidráulica es afectada por: la textura del suelo y tipos de poros predominantes, la presencia de grietas y canículas de raíces, la actividad de insectos; la estructura del suelo y el contenido de materia orgánica.

2.8.7 Capacidad de campo

Es la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se le deja drenar libremente. En un suelo bien drenado, por lo general se llega a este punto, aproximadamente 48 horas después del riego (Gavande 1972).

La capacidad de campo se define como la máxima capacidad de retención de agua de un suelo sin problemas de drenaje, y que se alcanza según la textura del suelo entre 12 y 72 horas después de un riego (Vásquez y Chang 1992).

2.9 Movimiento del agua en el suelo

El movimiento del agua ocurre cuando hay diferencias de potencial entre diferentes puntos del sistema; el agua tiende a moverse de alto a bajo potencial. Ya que el componente de succión (consistente sobre todo de gradiente matricial, osmótico o termal) puede exceder el componente gravitacional, el agua puede moverse verticalmente hacia arriba y hacia abajo o permanecer sin movimiento, cuando la gradiente de succión balancea la fuerza de gravedad (Gavande 1972).

Según (Vásquez y Chang 1992), los factores más importantes que influyen en el movimiento del agua en el suelo son los siguientes:

El gradiente hidráulico o fuerza motriz, que es igual a la diferencia de potencial del agua entre dos puntos del suelo, dividida por la diferencia entre los puntos mencionados.

El grado de facilidad con que el suelo permite el flujo de agua (conductividad hidráulica).

2.9.1 Movimiento del agua en suelo no saturado

Las leyes que gobiernan el movimiento del agua en suelos no saturados fueron desarrolladas a inicios del siglo XX. La ley de Darcy, con pequeñas modificaciones, se puede utilizar para analizar el movimiento del agua en los suelos no saturados y se expresa mediante la relación (Vásquez y Chang 1992):

$$V = i * kc$$

V = Velocidad media del flujo de agua en cm/seg, mm/h, m/día, o cm/día

Kc = Conductividad hidráulica no saturada, que depende del contenido de humedad del suelo en cm/seg, mm/h o m/día

i = Gradiente hidráulica o fuerza motriz del agua en suelos no saturados.

El gradiente hidráulico se define como el cociente entre la diferencia de carga entre dos puntos y la distancia medida a lo largo de la línea de corriente del flujo entre esos dos puntos (Máximo Villón 2004).

$$I = \frac{h_1 - h_2}{d}$$

2.9.2 Movimiento del agua en suelo saturado

En 1856 se establecieron las leyes del movimiento del agua en los suelos saturados; el investigador Darcy encontró que la velocidad de movimiento del agua que fluye a través de una muestra de suelo de longitud “L” puede ser expresada mediante la relación (Vásquez y Chang 1992):

$$V = \frac{H * K}{L}$$

V = Velocidad de flujo en cm/s, cm/h o mm/h

H = Diferencia de presión hidráulica entre dos puntos en cm

L = Distancia entre los puntos considerados en cm

K = Conductividad hidráulica

La ley de Darcy establece que la velocidad del flujo (V) del agua en suelos saturados es directamente proporcional al gradiente hidráulico (H) y el área transversal e inversamente proporcional a la longitud de la muestra (L) (Núñez 1981).

Núñez (1981) menciona que la conductividad hidráulica (K) varía en los suelos dependiendo de la textura, estructura y la actividad biológica de organismos que abren macroporos.

2.10 Geología

La geología es la ciencia que estudia la tierra, su composición, su estructura, los fenómenos de toda índole que en ella tienen lugar, y su pasado, mediante los documentos que de él han quedado en las rocas (Meléndez y Fuster 1973).

Según Escobar (2003), la geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años.

2.10.1 Roca

Las rocas son agregados naturales que están formadas por minerales que en su estado sólido presentan un patrón atómico y/o molecular ordenado y tridimensional. Los minerales son sustancias inorgánicas con características definidas de color, brillo, dureza, estructura cristalina, composición química, simetría espacial, relación tridimensional de ejes, etc (Núñez 1981).

El ciclo de las rocas (Figura 5): el magma se transforma en rocas ígneas y de éstas pueden generarse sedimentos, rocas sedimentarias o rocas metamórficas. Las rocas ígneas y sedimentarias dan origen a las rocas metamórficas y éstas al magma (Escobar 2003).

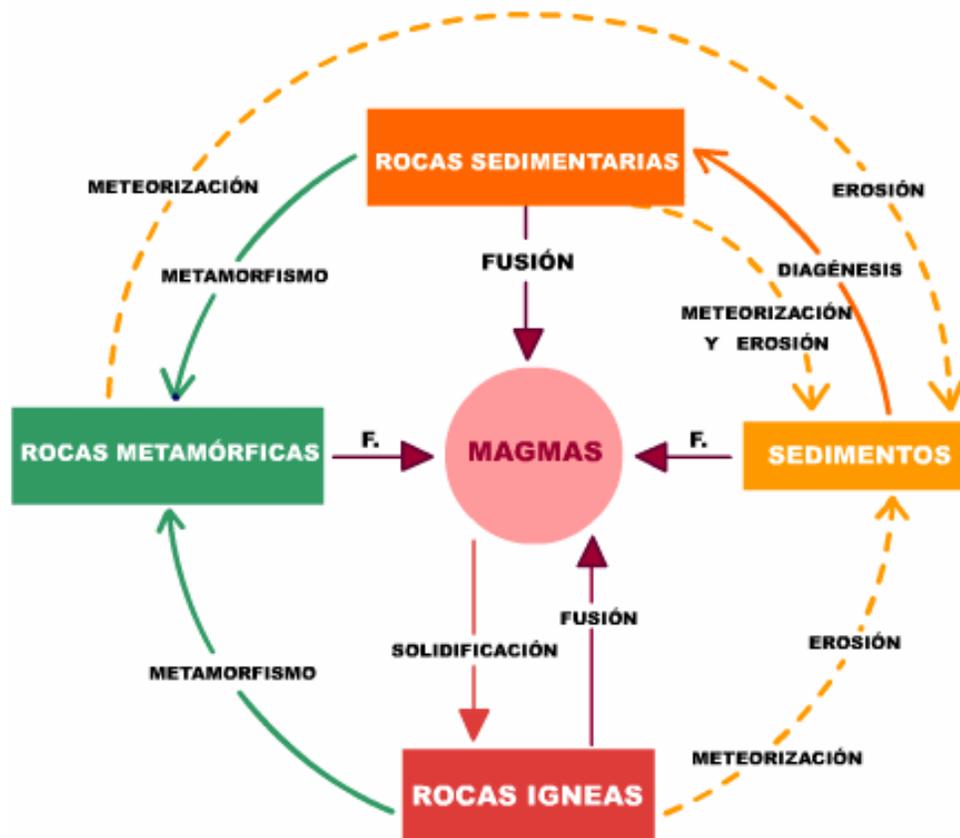


Figura 5: El ciclo de las rocas

2.10.2 Tipos de rocas

En general las rocas por su origen se clasifican en: ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Rocas ígneas: son el fruto de la solidificación del magma, fragmentado o compacto, sobre o en el interior de la corteza terrestre. Esas temperaturas de cristalización oscilan así: para los magmas riolíticos 1000 °C, para los andesíticos 1150 °C y para los basálticos 1250 °C. La composición mineralógica promedio de las rocas ígneas es: 59% feldespatos, 12% cuarzo, 17% anfíboles y piroxenos, 4% micas y 8% otros minerales (Escobar 2003).

Según Núñez (1981), las rocas ígneas pueden ser **volcánicas (efusivas)**, cuando han salido al medio exterior y endurecen como el basalto, la ceniza volcánica, el lapilli. **Platónicas (intrusivas):** se forman por enfriamiento lento, por esta razón forman cristales (minerales) de granos gruesos o texturas más gruesas. **Hipoabisales:** son las que se forman por enfriamiento rápido, son rocas que cristalizan cerca de la superficie. A causa de este enfriamiento rápido, presentan cristales más finos.

Rocas sedimentarias: se originan a partir de la erosión, remoción y deposición (producto disuelto e hidrolizado) de fragmentos de rocas ígneas y metamórficas, a través de procesos diagenéticos. Geológicamente, esto significa que ocurre transformación de los materiales depositados, lo cual produce rocas sedimentarias de características definidas que se consolidan y se compactan por desecamiento, presión y/o por cementación de sustancias en el medio (Núñez 1981). Según Escobar (2003), estas rocas se han formado por la consolidación o litificación de sedimentos. Los factores que determinan el tipo de roca son fundamentalmente la fuente de los sedimentos, el agente que los erosiona y transporta, y el medio de deposición y forma de litificación.

Las rocas sedimentarias se clasifican por su origen en: **clásticas**, formadas de residuos de otras que se consolidan por procesos físicos, éstas se subdividen en, consolidadas (coherentes) y no consolidadas (incoherentes). No **clásticas (rocas químicas)**, éstas se originan por cristalización de sales disueltas dentro de la corteza terrestre o en los fondos marinos parálíticos (poco profundos), éstas se subdividen en, fosfáticas, carbonatadas, silíceas y salinas (Núñez 1981).

Rocas metamórficas: se originan a partir de rocas ígneas y rocas sedimentarias preexistentes, como consecuencia de altas presiones (termomorfismo) y altas temperaturas (dinamorfismo) (Núñez 1981).

Metamorfismo es el cambio de una clase coherente de roca, en otra, por debajo de la zona de intemperismo y por encima de la zona de fusión. Esos cambios dan el estado sólido como consecuencia de intensos cambios de presión, temperatura y ambiente químico; los cambios están asociados a las fuerzas que pliegan, fallan capas, inyectan magma y elevan o deprimen masas de roca. Se restringe el metamorfismo a cambios de textura y composición de la roca porque existe recristalización (aumento de tamaño de granos minerales), metasomatismo (cambio de un mineral en otro) y neocristalización (formación de nuevos minerales) (Escobar 2003).

2.10.3 Porosidad y permeabilidad de las rocas

La porosidad de las rocas, es la porción del volumen total de una roca no ocupada por material mineral sólido, donde estos espacios pueden ser ocupados por agua y/o aire. Dichos espacios se conocen como poros o intersticios. Los intersticios se caracterizan por su tamaño,

forma, irregularidad y distribución (Losilla 1986). Los intersticios pueden ser primarios, son los que se forman con la roca y secundarios, que se desarrollan después de la formación de la roca (fracturas, grietas de disolución, etc.).

La permeabilidad de las rocas depende directamente de su porosidad, es decir, de los espacios huecos que puedan existir entre los elementos que la integran, y que de estos huecos estén comunicados entre sí. Son rocas muy permeables, las arenas, las gravas y las calizas fisuradas; algo menos permeables los aluviones, en los que la arena y grava están mezcladas con arcillas, y las areniscas, según su grado de cementación. Son rocas impermeables, las arcillas, las magas, las pizarras y las rocas eruptivas cuando no están fracturadas (Meléndez y Fuster 1973).

2.10.4 Fracturas o fallas

Cuando las tensiones a que están sometidas las rocas en el interior de la corteza terrestre, sobrepasan su límite de resistencia específico, se produce la rotura de las mismas, según una serie compleja de planos que coinciden con las direcciones de mínima resistencia, en relación con la dirección de la tensión o presión sufrida (Meléndez y Fuster 1973). La capacidad de plegamiento o de rotura de los estratos depende de la naturaleza de la roca que los forma y también de su composición previa.

Las fracturas pueden ser fallas o diaclasas: ambas suponen un origen común que las explica, es decir, liberación de energía de presión por encima del límite plástico de las rocas. En las fallas hay desplazamiento importante de una masa con respecto a la otra, en las diaclasas no (Escobar 2003).

Una falla es una superficie de discontinuidad, una fractura, en la que se ha producido desplazamiento relativo de una de las partes con relación a la otra. En toda falla hay que distinguir los siguientes elementos: plano de la falla o superficie según la cual se ha producido la fractura y se ha realizado el desplazamiento. Labios de la falla: son los dos bloques desplazados, casi siempre existe un desplazamiento vertical que da como resultado la existencia de un bloque hundido y otro levantado. Magnitud del desplazamiento, que puede medirse directamente en la superficie, si aún se conserva el escarpe inicial (Meléndez y Fuster 1973).

2.11 Investigaciones relacionadas al tema de estudio

Hasta el momento no hay una metodología que permita de forma práctica y sencilla a los actores y tomadores de decisiones a nivel local la delimitación de zonas de recarga hídrica, que orienten las acciones en relación a la protección, conservación y aprovechamientos de dichas áreas. Al nivel científico hay métodos para la determinación de las zonas de recarga hídrica como por ejemplo estudios hidrogeológicos o isotópicos, el uso de trazadores, sondas, pero son muy costosos y no están al alcance de los organismos o comités de cuencas y tomadores de decisiones responsables del manejo de cuencas.

En la elaboración de la metodología se busca integrar tantos elementos técnicos traducidos en lenguaje comprensible a los usuarios locales y el conocimiento local/tradicional. Los elementos técnicos se buscan extraer de metodologías empleadas en estudios de aguas subterráneas, que no necesariamente son usadas en la determinación de zonas de recarga, entre éstos métodos tenemos, la metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural, identificación de tierras forestales de captación y regulación hidrológica (ITFCRH), recarga de aguas subterráneas (RAS), identificación y mapeo de potenciales zonas de recarga en el desierto de Chihuahua, modelo analítico para determinar la infiltración de Schosinsky y Losilla, y la recopilación y análisis realizados en las notas del curso identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica de Jorge Faustino.

2.11.1 Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural

El INAB consiente de la grave crisis en la que nos encontramos inmersos relacionados a los problemas que enfrentan los recursos naturales, la escasez de agua para consumo humano, riego y para otros usos; debido a los cambios en el régimen de precipitación y escurrimiento, la degradación de los suelos, por usos inadecuados, la pérdida de los bosques producto del cambio de uso de la tierra y el mal manejo del mismo, y considerando el marco jurídico nacional de Guatemala que prohíbe la eliminación de bosques en las zonas de recarga hídrica, se planteó identificar las áreas de recarga hídrica que sean necesarias conservar y restaurar y los bosque ubicados en las zonas de recarga hídrica que podrán ser sujetos a manejo forestal sostenible conforme el plan de manejo.

Para cumplir con lo planteado anteriormente es necesario básicamente determinar las zonas de recarga hídrica natural de mayor importancia a nivel nacional. Para lo cual se hace

necesario homogenizar criterios metodológicos, implementar la metodología seleccionada y establecer los respectivos planes de manejo sostenible de los recursos naturales. A continuación se presenta un resumen de la metodología propuesta por INAB y los procedimientos a seguir en la identificación de las áreas de recarga hídrica natural:

La metodología busca identificar aquellas áreas que por sus aportes en láminas de recarga potencial, constituyen áreas principales de recarga hídrica natural, y dentro de estas aquellas que por sus características específicas, se consideran susceptibles a disminuir su potencial de recarga al ser sometidas a un manejo contrario a su capacidad, a estas áreas se le denomina **áreas críticas**.

Las áreas críticas se podrán reconocer considerando básicamente los siguientes aspectos:

- ? Geología
- ? Infiltración básica
- ? Recarga natural (lámina anual)
- ? Pendiente

Las áreas deberán ser evaluadas en cada uno de los aspectos y luego la sumatoria de todos los códigos dará como resultado la categoría en la cual se encuentra dicha área.

A continuación se detallan las categorías para cada uno de los aspectos a considerar para la determinación de las áreas críticas de recarga hídrica natural:

Cuadro 3. Criterios de geología

Geología	Código
Rocas ígneas o metamórficas no fracturadas	0
Rocas ígneas o metamórficas fracturadas	1
Arenas finas, basaltos permeables, karst	2
Arenas gruesas y gravas	3

Los códigos son asignados en base a las características del material geológico en función de su permeabilidad; si tenemos que las rocas ígneas o metamórficas no fracturadas poseen una permeabilidad baja locuaz dificulta la recarga de los acuíferos y por el otro extremo tenemos que arenas gruesas y gravas poseen poros de gran tamaño a través de los cuales circula el agua con gran facilidad considerándose adecuados para la recarga de los acuíferos.

Cuadro 4. Criterios de infiltración

Tasa de infiltración básica (cm/h)	Código
< 0.15	0
0.15 – 1.5	1
0.15 – 15	2
> 15	3

La tasa de infiltración tiene influencia en la velocidad con la cual el agua penetra en las primeras capas del suelo, mientras mayor sea la tasa de infiltración mayor será la oportunidad de las precipitaciones de infiltrar en el perfil del suelo.

Cuadro 5. Criterios de recarga

Recarga anual (mm/año)	Código
0 – 50	0
50 – 100	1
100 – 150	2
150 – 200	3
> 200	4

Cuadro 6. Criterios de pendiente

Pendiente (%)	Código
0 – 12	0
12 – 26	1
26 – 36	2
36 – 55	3
> 55	4

La pendiente es un factor importante pues determina el momento de la escorrentía y sus efectos en el suelo, así tenemos que suelos con relieves más planos no favorecen la escorrentía del agua y permiten un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo favoreciendo la infiltración, mientras que suelos de altas pendientes aumentan la velocidad de la escorrentía considerándose críticas estas áreas por el grado de degradación que pueden causar y la alteración de las condiciones actuales de recarga de estas áreas.

Cuadro 7. Criterios de susceptibilidad de las áreas a ser consideradas críticas de recarga hídrica natural

Categoría	Rango
Baja	0 – 5
Moderada	6 – 9
Alta	10 – 12
Muy alta	13 - 14

Datos necesarios para aplicar la metodología:

- ? Unidades de mapeo, generada con la información de geología, suelos y cobertura vegetal de la cuenca en estudio.
- ? Información climática de las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro de la cuenca en estudio y en sus cercanías (registros históricos de precipitación, evaporación y/o temperatura), de un período mayor a 5 años.
- ? Valores de precipitación media mensual para cada una de las estaciones meteorológicas consideradas y sus respectivas áreas de influencia calculadas a través de polígonos de Thissen o Isoyetas.
- ? De no contar con registros históricos de precipitación pluvial, es necesario instalar las mismas, haciendo énfasis en considerar las partes altas de las cuencas para una mejor distribución de las mismas.
- ? Valores de evapotranspiración potencial para cada una de las estaciones y sus áreas de influencia.
- ? Valores de infiltración básica de cada una de las unidades de mapeo, obtenidas a través del método Porchet o doble cilindro.
- ? Valores de grado de humedad (capacidad de campo y punto de marchites permanente) y densidad aparente de cada una de las unidades de mapeo.
- ? Pendiente media (representativa) del terreno en cada unidad de mapeo.

Procedimiento a seguir en la aplicación de la metodología:

- ? Determinación del valor de evapotranspiración real, a partir de la evapotranspiración potencial.
- ? Determinación del valor del factor K_{fc} (relación entre la infiltración del agua en el suelo y la intensidad de lluvia).
- ? Determinación del valor del factor K_p (pendiente del terreno).
- ? Determinación del valor del factor K_v (cobertura vegetal).
- ? Determinación del valor de retención K_i (considerar cobertura vegetal y techo).
- ? Determinación del valor del coeficiente de infiltración C_i ($K_{fc} + K_p + K_v$).
- ? Determinación del valor de precipitación efectiva P_{ef} .
- ? Cálculo de balance hídrico de suelo recarga potencial de la unidad de mapeo en lámina de agua).
- ? Elaboración del mapa de recarga hídrica natural
- ? Definición de áreas críticas de recarga hídrica natural.

La metodología se encuentra basada en criterios climáticos, edáficos, geológicos y de vegetación. Según INAB (2003) el esquema metodológico descrito anteriormente debe ser considerado como un criterio general de determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural, el cual puede ser variado de acuerdo a las necesidades, siempre y cuando se mantengan los principios del balance hídrico del suelo.

Resultados de la aplicación (ejemplo), de la metodología en la cuenca del río Pensativo que se encuentra en la parte norte del río Achíguate en la vertiente del pacífico de Guatemala :

Cuadro 8. Resumen de determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural en la cuenca del río Pensativo

Polígono	Uso de la tierra	Lamina infiltrada	Vel. Infiltración	Pendiente	Geología	TOTAL	SUSCEPTIBILIDAD
El Potrero	Bosque mixto	2	2	0	2	6	MODERADA
Panorama	Cultivos anuales	3	1	0	2	6	MODERADA
	Hortalizas	3	1	0	2	6	MODERADA
	Café	3	1	0	3	7	MODERADA
Antigua Este	Bosque mixto	3	2	2	2	9	MODERADA
	Cultivos anuales	3	2	1	2	8	MODERADA
	Hortalizas	3	2	0	2	7	MODERADA
	Café	3	2	0	3	8	MODERADA
Santa María de Jesús	Bosque mixto	3	2	4	2	11	ALTA
	Cultivos anuales	3	2	1	2	8	MODERADA
Pegoncito	Bosque mixto	3	2	2	2	9	MODERADA
	Cultivos anuales	3	2	2	2	9	MODERADA

2.11.2 Identificación de tierras forestales de captación y regulación hidrológica

Según INAB (2005a), las tierras forestales de captación y regulación hidrológica (TFCRH), son aquellas con aptitud preferentemente forestal, de protección o para realizar un manejo forestal o agroforestal sostenible, y que son de alta importancia por la cantidad y calidad de agua que incorporan a sistemas hidrológicos locales. En estas tierras un uso que exceda la máxima capacidad productiva del suelo conlleva su degradación y la pérdida de su capacidad reguladora del ciclo hidrológico, especialmente la capacidad de infiltración, almacenamiento y distribución paulatina y equilibrada en el tiempo del agua.

La administración forestal (de Guatemala), en zonas donde se desconoce o no se tiene claridad de la relación hidrológica forestal, se enfrenta constantemente a una disyuntiva en la toma de decisiones con respecto a las solicitudes de uso y aprovechamiento de masas forestales, o bien con respecto a la orientación de instrumentos de política que permitan la restauración o protección hidrológico forestal.

Basado en lo anterior, se ha planteado el objetivo de delimitar las TFCRH, las cuales son delimitadas siguiendo la metodología de Delimitación de Áreas de Recarga Hídrica Natural, desarrollada por el INAB en el 2003, y se basa en el balance hídrico de suelos, para obtener la recarga natural de unidades de muestreo previamente definidas, y a las cuales se le asignan valores numéricos en cuanto a la geología, recarga hídrica potencial, velocidad de infiltración del agua en el suelo, ubicación respecto a los nacimientos de agua, capacidad de uso, que posee. La suma de estos valores define la categoría de captación y regulación hidrológica.

Las TFCRH se identifican, a través de la sumatoria de valores, a los cuales corresponde cada entidad cartográfica (unidad de mapeo) en las matrices de valoración definidas por los atributos claramente determinados y bien diferenciados que posee cada unidad de mapeo:

- ? Geología
- ? Capacidad de Uso de la Tierra (metodología propuesta por INAB 2002)
- ? Tasa de infiltración (cm/hr)
- ? Recarga hídrica potencial anual (mm/año)
- ? Ubicación espacial (área de recarga o área de descarga hídrica)

A continuación se detallan las categorías para cada uno de los aspectos a considerar para la determinación de las TFCRH:

Cuadro 9. Criterios de geología para determinar TFCRH

Geología	Valor
Rocas volcánicas, incluye coladas de lava, material lahárico, tobas, edificios volcánicos y sedimentos volcánicos. Rellenos y cubiertas gruesas de ceniza pómez de origen diverso. Arenas Gruesas y Gravas (Tv, Qv, Qp, I)	4
Rocas sedimentarias carbonatadas, Karst. Arenas Finas, Formación Todos Santos. (KTs, KTsb, Ksd, Tic, Tpe, Tsd, Tsp,	3
Rocas metamórficas sin dividir Filitas, esquistos cloríticos y granatíferos, esquistos y gneisses de cuarzo-mica-feldespato, mármol, y migmatitas (Pzm).	2
Sedimentos del cuaternario, Sedimentos del Cuaternario con problemas de drenaje (Qa de Petén, Tic).	1

Cuadro 10. Criterios de capacidad de uso de la tierra para determinar TFCRH

Capacidad de Uso	Valor
Tierras forestales de protección (Fp)	8
Tierras forestales de producción (F)	7
Agroforestería con cultivos permanentes (Ap)	5
Sistemas silvopastoriles (Ss)	5
Agroforestería con cultivos anuales (Aa)	3
Agricultura con mejoras (Am)	1
Agricultura sin limitaciones (A)	0

Cuadro 11. Criterios de infiltración básica para determinar TFCRH

Tasa de Infiltración Básica (cm/h)	Valor
< 0.15	0
0.15 – 1.5	1
>1.5 – 15	2
>15	3

Cuadro 12. Criterios de recarga anual para determinar TFCRH

Recarga anual (mm/año)	Valor
0 – 50	0
50 – 100	1
100 – 150	2
150 – 200	3
>200	4

Al sumar los valores correspondientes en cada matriz, para obtener la categoría de recarga de cada unidad de mapeo, se deberá priorizarse de acuerdo a la siguiente ponderación:

Cuadro 13. Categorías de clasificación de las TFCRH

TF de Baja Captación y regulación hidrológica	TF de Moderada Captación y regulación hidrológica	TF de Alta Captación y regulación hidrológica	TF Muy Alta Captación y regulación hidrológica
<= 10	11-14	15-18	19-23

Resultados de la aplicación (ejemplo), de la metodología para determinar las TFCRH en la subcuenca del río Los Vados, Guatemala:

La identificación de las TFCRH se realizó por medio de la suma de los valores a los cuales corresponde cada unidad de mapeo en las matrices de valoración descritas en la metodología.

Los valores asignados en la metodología a los atributos claramente definidos y bien diferenciados con los que cuenta cada unidad de mapeo, a saber, Geología, Capacidad de Uso de la Tierra, Tasa de Infiltración, Recarga Potencial Anual y Ubicación Espacial; se presentan en los cuadros 13 y 14.

Cuadro 14. Resumen de categorías de clasificación de las TFCRH subcuenca río los Vados

Um	Geología	Infiltración Básica (cm/h)	Recarga Anual (mm/año)	Ubicación Relativa	Capacidad de uso	Valor	TFCRH
1	4	1	4	2	0	11	Moderada
	4	1	4	2	3	14	Moderada
	4	1	4	2	5	16	Alta
	4	1	4	2	7	18	Alta
2	4	1	1	2	0	8	Baja
	4	1	1	2	3	11	Moderada
	4	1	1	2	5	13	Moderada
3	4	1	4	4	0	13	Moderada
	4	1	4	4	3	16	Alta
	4	1	4	4	5	18	Alta
	4	1	4	4	7	20	Muy Alta
4	4	2	4	4	0	14	Moderada
	4	2	4	4	3	17	Alta
	4	2	4	4	5	19	Muy Alta
	4	2	4	4	7	21	Muy Alta
5	4	2	4	2	0	12	Moderada
	4	2	4	2	3	15	Alta
	4	2	4	2	5	17	Alta
	4	2	4	2	7	19	Muy Alta
6	4	1	4	4	0	13	Moderada
	4	1	4	4	3	16	Alta
	4	1	4	4	5	18	Alta

Cuadro 15. Recarga Hídrica y Extensión de las categorías de TFCRH

Categoría de TFCRH	Área (has)	%	Recarga Hídrica	%
Baja	606.72	4.06	231.57	2.22
Moderada	4,050.43	27.14	2768.27	26.57
Alta	7,779.41	52.14	4869.11	46.74
Muy Alta	2,484.71	16.66	2549.40	24.47
Totales	14,921.27	100	10,418.34	100

2.11.3 Método RAS

Es un método científico, teórico para elaborar el mapa de la recarga de agua subterránea, que puede servir como una herramienta para apoyar a tomar decisiones en la protección y el manejo sostenible del recurso hídrico, como también en el ordenamiento territorial. Elaborado por FORGAES (MARN 2006), para El Salvador calcula el agua que se infiltra en el subsuelo, basado en los principios de Schosinky y Losilla (2000). Requiere de coeficientes para calcular la infiltración. Este coeficiente se multiplica por un coeficiente climático, para lo cual se realiza un balance climático (BC).

La ecuación para determinar la recarga acuífera de una zona es:

$$R = BC * C$$

R = Recarga acuífera

BC = Balance climático

C = Coeficiente de infiltración

$$C = k_{fc} + k_p + k_v$$

k_{fc} = Coeficiente del tipo del suelo

k_p = Coeficiente de pendiente

k_v = Coeficiente del uso del suelo

Balance climático (BC)

El balance climático permite obtener la información de la cantidad de agua que está disponible en la zona de investigación.

$$BC = P - E_{Treal}$$

Donde:

P = Precipitación (mm)

E Treal = Evapotranspiración real (mm)

Cálculo del k_{fc}

Refleja la permeabilidad del suelo (Cuadro 3). Rocas impermeables o suelos arcillosos impiden la recarga; al contrario, suelos recientes, no compactados y arenosos facilitan la

infiltración. Hay que considerar también la situación geológica tal como fallas tectónicas que facilitan la infiltración.

Cuadro 16. Coeficientes tipos del suelo RAS

TIPO DE SUELO	Kfc
Suelos arcillosos, latosoles de altura, zonas urbanas, suelos o rocas compactas e impermeables.	0,10
Suelos de combinación de limo y arcilla, litosole y regosole de valle, zonas con fallas tectónicas.	0,15
Suelos arenosos, recientes, suelos de cause de ríos, suelos no muy compactos, zonas con muchas fallas.	0.20

Cálculo de kp

Es un factor sumamente importante (Cuadro 17) porque se relaciona directamente con la escorrentía de agua superficial que no llega al acuífero. A través de un mapa topográfico se asigna a cada zona de estudio un coeficiente de pendiente Kp.

Cuadro 17. Coeficientes de pendientes RAS

PENDIENTE	Kp
Muy plano	0,40
1 – 15%	0,15
15 – 30%	0,10
30 – 50%	0,7
50 – 70%	0,05
> 70%	0,01

Cálculo de kv

Es un factor importante y el más cambiante en el cálculo de la recarga. En la obtención del coeficiente se inicia con la determinación de la evapotranspiración sobre los suelos con diferentes usos. Un uso inadecuado del suelo puede reducir la recarga acuífera hasta un 50%. A continuación se presentan algunos coeficientes (Cuadro 18):

Cuadro 18. Coeficientes de uso del suelo RAS

USO DEL SUELO	Kv	USO DEL SUELO	Kv
Vegetación espinosa	0,30	Hortalizas	0,15
Tejido urbano, zonas comerciales	0,30	Cultivos anuales	0,15
Cultivo de piña	0,30	Bosque de coníferas	0,15
Árboles frutales	0,20	Tierras sin bosque	0,15
Bosque de galería	0,20	Zonas verdes urbana	0,15
Bosque latí foliado	0,20	Pastos cultivados	0,10
Plantaciones de bosques mono específicos	0,20	Caña de azúcar	0,10
Sistemas agroforestales	0,20	Lagos, lagunas	0,00
Vegetación arbustiva baja	0,20	Praderas pantanosas	0,05

Resultados de la aplicación (ejemplo), de la metodología para determinar la recarga de aguas subterráneas (RAS) en el Salvador:

Según el método RAS en El Salvador se ha determinado la mayor recarga (Figura 6) en la zona de lava reciente del volcán Playón de San Salvador, con un valor de 720 mm/año, donde infiltra sobre 9,3 km² 6,1 millones m³ por año. Otras zonas de alta infiltración son: hacia el Sur de Santa Ana, el Sur de Los Volcanes, en la cuenca del Río Grande de Sonsonete, El Valle al Sur de Santa Ana, en el borde Norte del Cerón Grande y en la zona Sur del puente viejo, con valores desde 550 hasta 650 mm/año. La zona con la menor recarga acuífera (50 – 200 mm/año) se encuentra a un costado de la costa en la zona de la unión, al Norte del departamento San Miguel, hacia el Norte de Santa Ana y a la frontera con Guatemala en la zona de acaba. Con base en el mapa nacional de recarga acuífera se llegó a un volumen total de la infiltración sobre la superficie de El Salvador (21,078 km²) de 6,250 millones m³ por año, aproximadamente con un promedio de 295 mm por año, en todo el país.

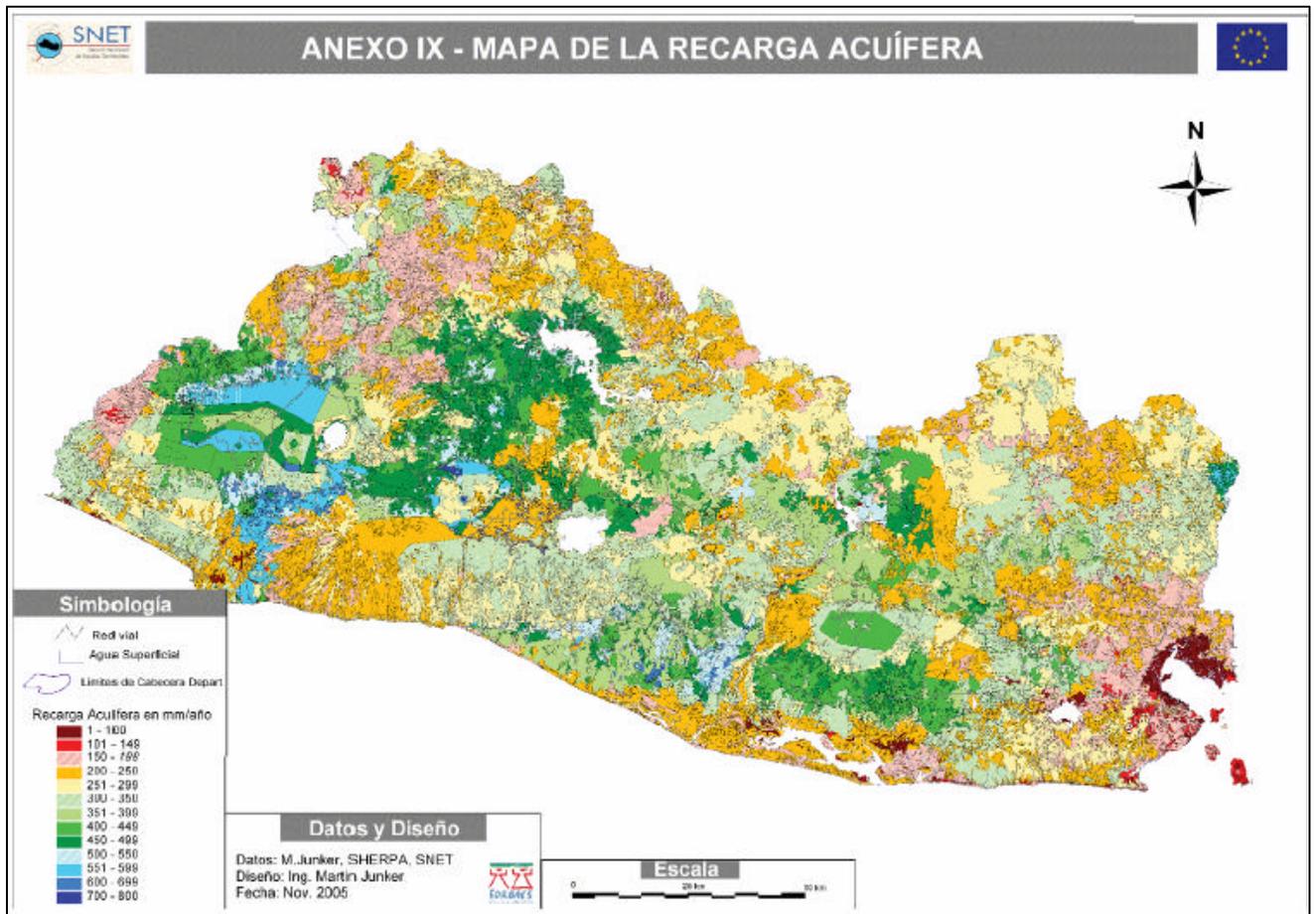


Figura 6: Mapa de recarga acuífera del Salvador método RAS

2.11.4 Identificación y mapeo de potenciales zonas de recarga en el distrito de Chihuahua

El uso de sistemas de información geográfica y sistemas de telecomunicación en la identificación y mapeo de potenciales zonas de recarga hacia acuíferos del desierto de Chihuahua (Granados 2005).

El propósito del estudio fue determinar la utilidad de los sistemas de información geográfica y sistemas de teledetección (imagen satelital) en el procesamiento de información digital relacionada a identificar potenciales zonas de recarga a sistemas acuíferos en cuencas aledañas a la Ciudad de Chihuahua, México.

Los resultados del cruce de la información digital relacionados a los temas de **hidrología superficial, geología, geomorfología, y suelos** generaron bases de datos correspondientes a las áreas de cada uno de estos temas para la zona de interés.

El cruce de información geográfica georeferenciada en formato digital que incluyó coberturas temáticas de recursos naturales (**geología, suelos, hidrología superficial, y topografía**) en conjunto con imagen satelital con valores de resolución espectral integrados en las bases de datos, fueron utilizados en la identificación y mapeo de las regiones geomorfológicas con fines de recarga artificial al subsuelo.

Se utilizó ArcView 3.2 de ESRI. Como el SIG que corrió los procedimientos de análisis territorial de los recursos naturales. ERDAS Imagine. v 8.2 fue el programa aplicado para el procesamiento de las imágenes de satélite.

Como procedimientos principales para el desarrollo de esta investigación, se analizó la información contenida en los productos geográficos, procediendo a estructurar los formatos contenidos en las bases de datos que comprendía la información **de hidrología superficial, geología y suelos** para poder ser desplegados en el software ArcView 3.2.

El tema de geología fue agrupado en base a su edad geológica relacionada con el tipo de roca existente para el polígono correspondiente en el área de estudio.

Para el tema de suelos, los polígonos localizados para la región de análisis fueron agrupados en base a su clasificación edafológica según la FAO.

La cobertura de hidrología superficial clasificó las líneas correspondientes a las diferentes escorrentías de la zona de estudio identificando los diversos tipos como arroyos, ríos y canales.

Con relación a las imágenes de satélite, el procedimiento consistió en localizar de una serie de imágenes LANDSAT-TM5, las posibles regiones de influencia que contuvieran la zona de interés.

Los resultados de estos procesos digitales en los que se identificaron los recursos naturales de la zona de estudio, permitieron la creación de coberturas de información digital específica para cada uno de los temas tratados en el documento. Los valores y acotamientos de estos tópicos de análisis se desplegaron gráficamente en la producción cartográfica y sustentaron el apoyo de la interpretación visual relacionadas a las diferentes características de los temas

estudiados. Se identifican claramente las ubicaciones geográficas de los principales escurrimientos superficiales y como son influenciados por los diversos tipos de materiales geológicos y tipos de suelos. El mapeo de las principales unidades geomorfológicas de la zona de estudio identificadas como topoformas, permitieron una primera aproximación de las potenciales zonas de recarga hacia el subsuelo que pudieran funcionar como un sistema de captación de agua de lluvia para la región de análisis.

2.11.5 Modelo analítico para determinar infiltración (Schosinsky y Losilla)

El método propone establecer una ecuación que permita derivar la infiltración de una lluvia mensual, utilizando los datos obtenidos del análisis de las bandas pluviográficas. La metodología utilizada, es la correlación de los datos analizados de las bandas y establecer correlaciones entre la infiltración potencial mensual, el valor de la infiltración básica del suelo y la precipitación mensual. Además, los valores de infiltración son ajustados por (Cuadro 19) la pendiente topográfica, cobertura vegetal y la intercepción de la lluvia en la hojarasca.

La ecuación para determinar la infiltración se representa de la siguiente forma:

$$I = 0,88 * C (k_p + k_v + k_{fc}) * P$$

Donde:

I = Infiltración

C = Coeficiente de infiltración

K_p = Fracción que infiltra por efecto de la pendiente

K_v = Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal

K_{fc} = Fracción que infiltra por textura del suelo

P = Precipitación

Cuadro 19. Coeficientes de infiltración para diferentes usos de la tierra

Coeficientes de infiltración propuestos		
Por textura de suelo:		K_{fc}
Arcilla compacta impermeable		0,10
Combinación de limo y arcilla		0,20
Suelo limo arenoso no muy compacto		0,40
Por pendiente:		K_p
Muy plana	0.02%-0.06%	0,30
Plana	0.3%-0.4%	0,20
Algo plana	1%-2%	0,15
Promedio	2%-7%	0,10
Fuerte	mayor de 7%	0,06
Por cobertura vegetal		K_v
Cobertura con zacate menos 50%		0,09
Terrenos cultivados		0,10
Cobertura con pastizal		0,18
Bosques		0,20
Cobertura con zacate más de 75%		0,21

Fuente: Shosinsky y Losilla 2000.

Schosinsky y Losilla, señalan que este método simplifica enormemente el procedimiento para el cálculo de la precipitación que infiltra, necesaria para determinar la recarga a los acuíferos, utilizando la infiltración básica de los suelos y la precipitación mensual en las zonas de estudio, que de otra forma, implicaría realizar análisis diarios de las bandas pluviográficas.

Los resultados de la aplicación del modelo propuesto por Schosinsky y Losilla lo podemos apreciar bien en la aplicación de los diferentes métodos para estimar la recarga hídrica y las zonas de recarga hídrica, balance hídrico, así como en la implementación de sistemas de riego; podemos mencionar algunos ejemplos de métodos que lo consideran en su análisis e implementación, el método RAS, el método propuesto por INAB para determinar zonas de recarga hídrica natural y en la determinación de las TFCRH, entre otros.

2.11.6 Identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica

Faustino (2006) señala que para desarrollar el proceso de delimitación de las zonas de recarga hídrica conjuntamente con productores a nivel comunitario se requieren los siguientes datos e información:

- ✍ Un mapa cartográfico a curvas de nivel que permita diferenciar las zonas planas, zonas cóncavas, zonas cercanas a ríos principales y las zonas inclinadas, la red hídrica es fundamental, la fotografía aérea es muy útil en este aspecto.
- ✍ Un mapa de vegetación y uso de la tierra que permita delimitar sistemas productivos y de conservación (bosques naturales y áreas protegidas), también se puede utilizar la fotografía aérea.
- ✍ Un mapa de suelos que represente principalmente la profundidad y sus características (textura, velocidad de infiltración, porosidad y permeabilidad).
- ✍ Un mapa geológico, que represente los tipos de rocas, las fallas, grietas, representación de acuíferos regionales y una memoria descriptiva de las características de las rocas.
- ✍ Un mapa de ubicación de fuentes de agua (manantiales, pozos, reservorios, lagos y lagunas).

El cuadro 20 presenta las necesidades de información y limitante, para realizar la identificación de zonas de recarga hídrica, para cuencas pequeñas casi es difícil de encontrar datos para realizar el balance, pero en cuencas grandes la limitante es la serie de tiempo, en cuanto a vegetación y uso de la tierra es mucho más probable de levantar u obtener la información, el caso de la información geológica también es una limitante, debido a que la información siempre es de carácter regional. Sin embargo, algo fundamental será el conocimiento de campo, sobretodo cuando la información necesaria no es del todo disponible en detalle y cantidad. Las fuentes de información local (personas, agricultores, técnicos) servirá mucho para tener una aproximación sobre donde están las zonas de recarga hídrica y cuales son las evidencias tanto de infiltración, almacenamiento y aprovechamiento (manantiales, pozos).

Cuadro 20. Necesidad de información para identificar las zonas de recarga hídrica

Balace hidrológico	Vegetación	Geología	Uso de la tierra y aprovechamiento de agua
Precipitación, evapotranspiración, escorrentía, aporte externo a la cuenca	Bosques, plantaciones, pastos naturales, especies, ubicación y manejo	Tipos de rocas, porosidad, permeabilidad, fallas, geomorfología y relieve.	Tipos de cultivos, sistema de manejo y prácticas, fuentes de agua (pozos, manantiales, río, reservorios, cosecha de agua)
Información limitada	Existe información	Información limitada	Existe información

Indicadores prácticos para la delimitación del área de recarga

No existe una pauta exclusiva para esta identificación, todo dependerá de los ecosistemas en el cual se realice el trabajo, pero de manera general se pueden considerar los siguientes:

- ✍ Configuración topográfica del terreno (plano o cóncavo)
- ✍ Vegetación permanente (especies de raíces pivotantes y profundas en ramificación, follaje verde en épocas de sequía)
- ✍ Uso de la tierra con prácticas que favorecen la infiltración del agua en el suelo (prueba práctica de infiltración)
- ✍ Situación geológica (permeabilidad de los estratos, depósitos de agua subterránea),
- ✍ Distribución de las precipitaciones,
- ✍ Condiciones del suelo (textura franca, alta porosidad, alta infiltración y permeables)
- ✍ Otros factores climáticos (temperatura, evaporación).

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

La subcuenca intermunicipal del río Jucuapa (Figura 7) se ubica 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. Drena al río Grande de Matagalpa a través de numerosos tributarios, y es compartida por los municipios de Matagalpa y Sébaco. Limita al Norte con el Municipio de Matagalpa, al Sur con el Municipio de Matagalpa y Sébaco, al Este con el Municipio de Sébaco y al Oeste con el Municipio de Matagalpa y San Ramón.

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). Tiene una superficie de 40,5 km² (4.057 ha), el 90% corresponde a las ocho comunidades del Municipio de Matagalpa 36,5 km² (3.652 ha) y el 10% a la comunidad del Municipio de Sébaco 4,06 km² (406 ha).

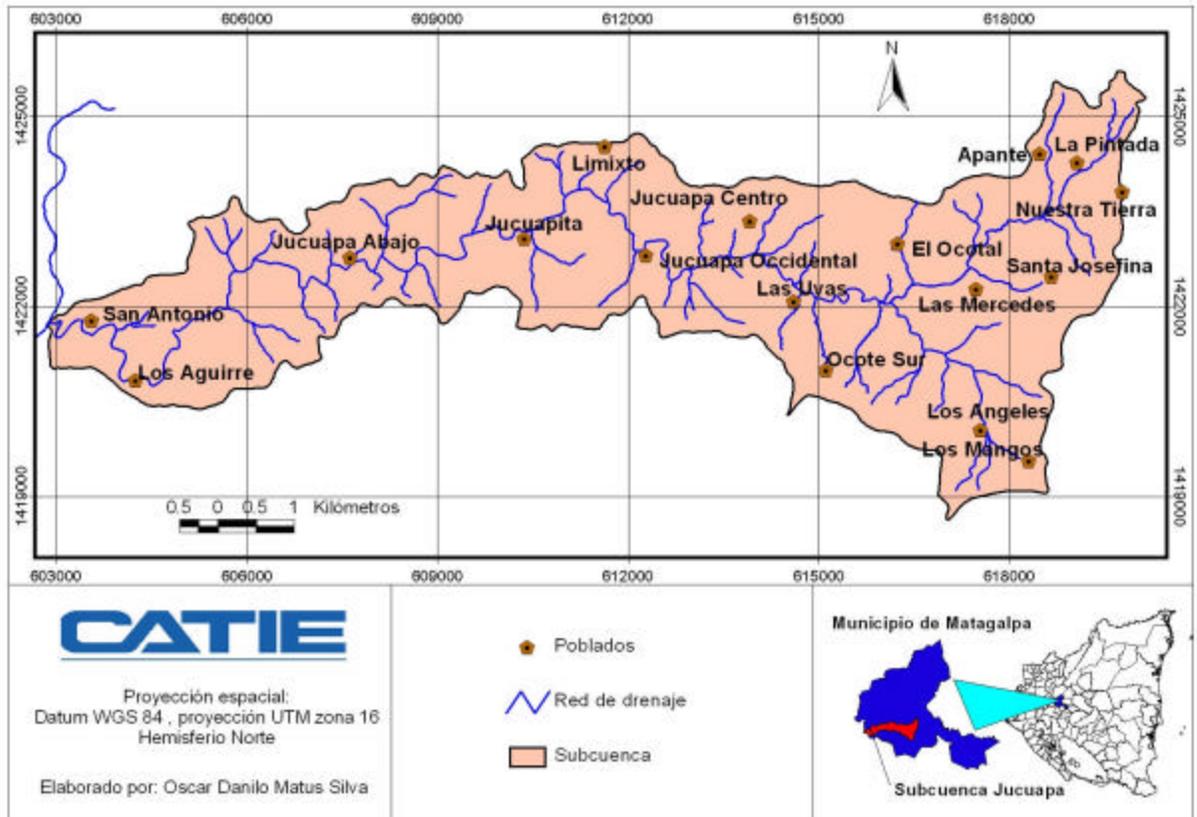


Figura 7: Mapa de localización del área de estudio

3.2 Características morfométricas de la subcuenca

3.2.1 Elevación media

La elevación media de la subcuenca es de 860 msnm, tal y como se muestra en la curva hipsométrica (Figura 8). Aproximadamente el 76% del área de la subcuenca se ubica en un rango de elevación entre los 600 y 1000 msnm; mientras que en el rango de 1000 a 1360 msnm se ubica el 24% del área restante (Morales 2003).

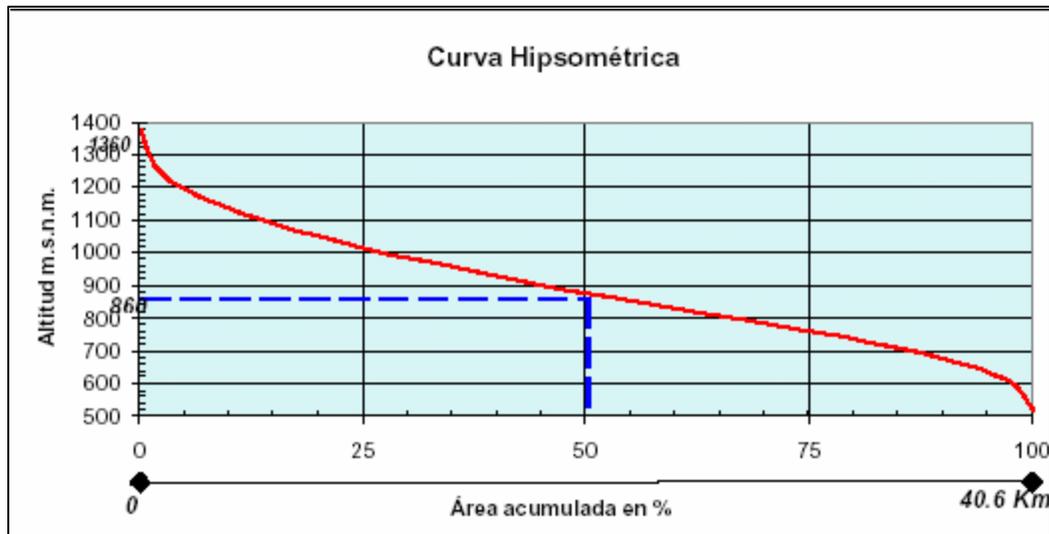


Figura 8: Curva hipsométrica de la subcuenca del río Jucuapa

Fuente: Morales 2003

3.2.2 Forma

La subcuenca presenta forma rectangular-alargada, con un coeficiente de Gravelius igual a 2,1 y un perímetro de 47,46 kilómetros. La forma de la subcuenca controla la velocidad con que el agua llega al cauce principal cuando sigue su curso, desde el origen hasta la desembocadura, esto permite conocer la conjunción del escurrimiento de una corriente. En este sentido la forma alargada que presenta la subcuenca indica que los escurrimientos superficiales que se generan se concentran más lentamente y discurren en general por un solo cauce principal, y que el tiempo de concentración de los mismos es menor (Morales 2003).

3.2.3 Longitud y pendiente del cauce principal

La pendiente media del cauce principal es de 3,32% con una longitud de 23,95 kilómetros. Esto es el resultado de la media aritmética de las pendientes de seis tramos de 2395 metros de longitud cada una; sin embargo, es importante señalar que hasta una elevación de 700 metros la pendiente del cauce principal es tan solo de 0,99% y a partir de los 900 metros de altitud hasta los 1400, alcanza hasta 10,66% (Morales 2003).

3.2.4 Densidad de corrientes y drenaje

La densidad de corrientes de la subcuenca es de 1,45 corrientes/km², y representa la eficiencia de drenaje. Se obtiene de la relación entre el número de corrientes y el área de la subcuenca. La densidad de drenaje (longitud de canales por unidad de área) expresa la longitud de corrientes por km² de área; en este caso es de 1,58 km de corriente/km² de área (Morales 2003).

3.3 Características biofísicas de la subcuenca

3.3.1 Precipitación

En la subcuenca se distinguen dos períodos bien marcados uno seco y el otro lluvioso, con duración de seis meses cada uno, el lluvioso se extiende de mayo a octubre, en el cual ocurre el 85,6% de la precipitación y el seco que va de noviembre a abril, donde cae el 14,4% de la precipitación total anual.

La precipitación media anual en la subcuenca es de 1.164 mm. En una porción del área de la zona media y en la totalidad de la zona baja, ocurren precipitaciones menores de 800 mm anuales, cubriendo el 31,77% del área total. En cambio, en la mayor extensión del área de la zona media y totalidad de la zona alta se presentan precipitaciones anuales que oscilan en el rango de 800 a 1200 mm (Díaz y Gómez 2001).

Según la información de las 13 estaciones meteorológicas tomadas de la base de datos del programa FAOCLIM, para un período mayor de 50 años, las precipitaciones media anual es de 1180 mm (Cuadro 21). La distribución espacial de la precipitación se presenta en la figura 9.

Cuadro 21. Precipitación media mensual y anual (mm) de 13 estaciones en la subcuenca del río Jucuapa

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	P - Total
AGUAS-ZARCAS	2	1	3	19	107	116	62	101	220	191	43	3	868
DARÍO	2	0	4	17	113	128	57	86	220	201	43	5	876
EL-NARANJO	2	3	11	31	133	198	66	83	148	211	41	7	934
HACIENDA-SAN-FC	93	57	40	40	151	328	296	213	253	275	117	77	1940
JINOTEGA	45	23	14	17	109	217	153	119	178	230	78	46	1229
LA-LABRANZA	24	4	10	25	99	163	78	126	267	190	41	17	1044
LA-LIMA	2	1	5	18	112	148	81	108	231	190	50	4	950
LA-REINA	42	23	17	38	135	274	227	167	230	269	101	40	1563
MATAGALPA	30	11	11	28	123	290	185	156	224	239	66	24	1387
SAN-DIONISIO	49	13	18	19	101	159	165	182	241	190	71	41	1249
SAN-RAMÓN	69	17	16	34	147	180	168	200	280	227	95	58	1491
SÉBACO	4	4	6	13	157	191	90	78	179	226	29	2	979
TERRABONA	31	7	6	5	92	86	111	97	187	147	46	18	833
PROMEDIO	30	13	12	23	121	191	134	132	220	214	63	26	1180

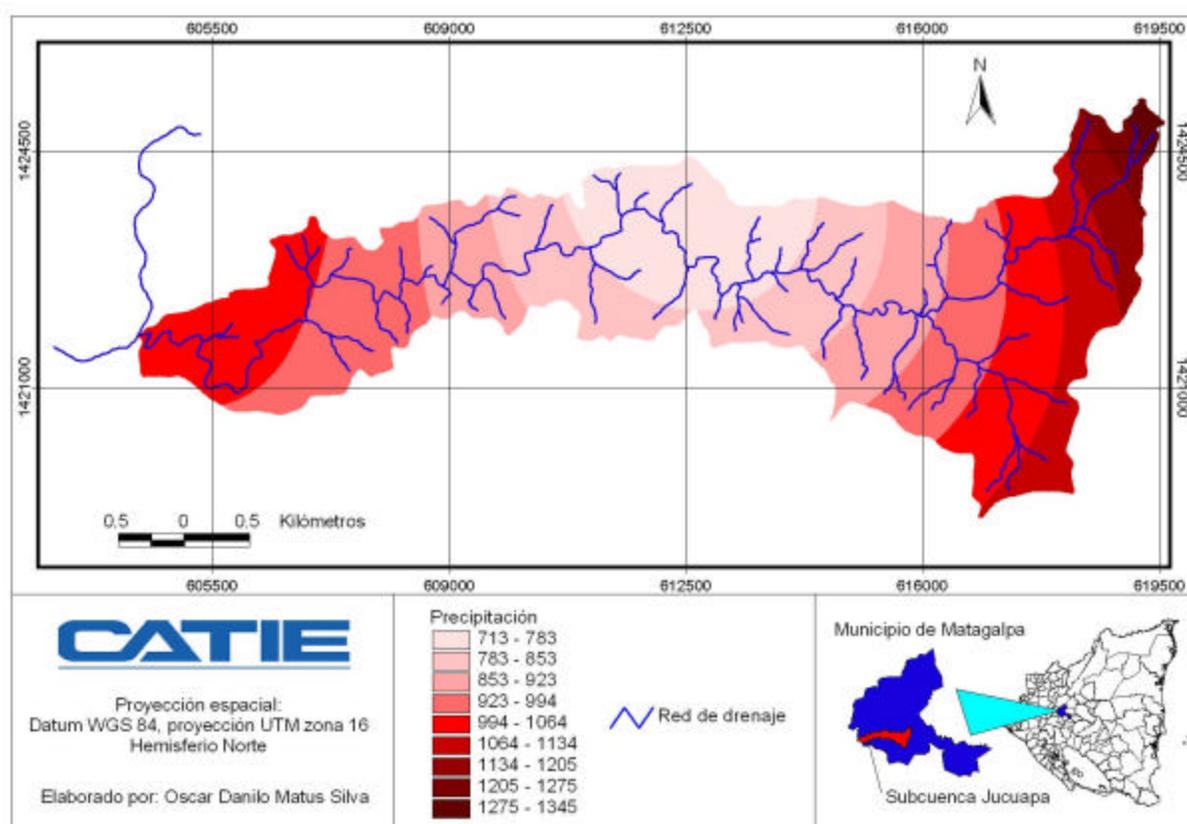


Figura 9: Mapa de distribución espacial de precipitación de la subcuenca río Jucuapa

3.3.2 *Temperatura*

La temperatura media anual es de 25,2 °C (Díaz y Gómez 2001). En general la temperatura media anual varía de cálida a fresca en la subcuenca. Los valores más bajos se presentan en los meses de diciembre y enero, coincidiendo estas temperaturas con las incursiones de las masas de aire frío de procedencia polar.

Según las 13 estaciones meteorológicas tomada de la base de datos del programa FAOCLIM para un período mayor de 50 años, la temperatura media anual es de 23,1°C (Cuadro 22).

Cuadro 22. Temperatura media mensual y anual de 13 estaciones para la subcuenca del río Jucuapa

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Temperatura media anual
AGUAS-ZARCAS	23,7	23,6	24,9	26,2	26,3	25,6	25,5	25,4	24,6	24,7	24,2	23,6	24,86
DARÍO	23,5	24,3	25,1	26,0	26,2	25,4	24,9	24,9	24,8	24,6	23,9	23,6	24,77
EL-NARANJO	23,7	24,5	25,3	26,2	26,4	25,5	25,0	25,0	24,9	24,7	24,1	23,7	24,92
HACIENDA-SAN-FC	21,8	22,3	23,4	24,0	23,4	22,3	22,9	22,3	21,8	21,8	21,2	21,2	22,37
JINOTEGA	20,6	21,2	22,3	22,8	22,3	21,2	21,7	21,2	20,6	20,6	20,1	20,1	21,23
LA-LABRANZA	18,6	19,3	20,1	21,0	22,0	21,8	20,8	20,7	21,5	21,4	20,0	19,4	20,55
LA-LIMA	23,3	24,1	24,9	25,8	26,0	25,2	24,7	24,7	24,6	24,4	23,7	23,4	24,57
LA-REINA	22,3	22,9	24,0	24,5	24,0	22,9	23,4	22,9	22,3	22,3	21,7	21,7	22,91
MATAGALPA	19,9	20,5	21,4	22,2	23,2	22,7	21,9	21,8	22,5	22,3	21,2	20,5	21,68
SAN-DIONISIO	22,8	23,4	24,3	25,1	25,7	24,9	24,4	24,4	24,7	24,5	23,7	23,0	24,24
SAN-RAMÓN	21,7	21,7	23,1	24,5	24,9	24,0	23,6	23,6	23,5	23,3	22,9	21,8	23,22
SÉBACO	21,1	21,9	23,1	24,0	24,2	22,5	22,3	22,4	22,7	22,0	21,6	21,1	22,41
TERRABONA	21,0	21,7	22,5	23,4	24,1	23,6	22,9	22,8	23,4	23,2	22,1	21,5	22,68
Promedio	21,8	22,4	23,4	24,3	24,5	23,7	23,4	23,2	23,2	23,1	22,3	21,9	23,1

Con base en las temperaturas medias mensuales y a través del método de Thornthwaite se determinó la evapotranspiración (ETP) corregida promedio mensual, anual y total, para cada una de las estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca (Cuadro 23 y Figura 10).

Cuadro 23. Evapotranspiración media mensual y anual en la subcuenca del río Jucuapa

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ETP media anual	ETP - Total
AGUAS-ZARCAS	94,9	87,6	116,2	136,0	145,6	131,2	133,6	128,8	111,0	111,7	99,9	94,2	115,9	1390,9
DARÍO	92,6	95,5	119,0	132,9	144,0	128,2	124,5	121,4	113,7	110,4	96,2	94,2	114,4	1372,8
EL-NARANJO	94,9	97,9	121,9	136,0	147,3	129,7	126,0	122,9	115,1	111,7	98,6	95,4	116,5	1397,4
HACIENDA-SAN-FC	74,1	74,1	96,7	104,8	103,0	87,2	97,1	87,6	77,6	77,1	67,4	68,6	84,6	1015,2
JINOTEGA	62,7	63,7	83,8	90,0	89,3	75,0	82,8	75,4	65,6	65,2	57,6	58,5	72,5	869,6
LA-LABRANZA	46,3	48,2	61,6	70,5	85,8	81,5	73,0	70,2	74,5	73,0	56,7	52,7	66,2	794,1
LA-LIMA	90,3	93,2	116,2	129,9	140,7	125,2	121,5	118,6	111,0	107,8	93,9	91,9	111,7	1340,3
LA-REINA	79,3	80,1	104,2	111,4	111,0	94,3	103,5	94,7	83,0	82,5	72,3	73,5	90,8	1089,9
MATAGALPA	56,5	57,7	74,2	83,2	100,4	91,9	85,1	81,9	85,2	82,5	67,4	62,1	77,3	928,1
SAN-DIONISIO	84,6	85,4	108,1	119,7	136,0	120,9	117,2	114,3	112,4	109,1	93,9	87,3	107,4	1289,0
SAN-RAMÓN	73,1	68,3	93,1	111,4	123,8	108,4	106,2	103,6	97,0	94,0	84,8	74,5	94,8	1138,0
SÉBACO	67,3	70,2	93,1	104,8	113,8	89,5	89,8	88,7	87,5	79,3	71,3	67,6	85,2	1022,7
TERRABONA	66,3	68,3	86,1	97,2	112,4	103,1	97,1	93,5	95,7	92,8	76,3	71,5	88,4	1060,3
Promedio	75,6	76,2	98,0	109,8	119,5	105,1	104,4	100,1	94,6	92,1	79,7	76,3	94,3	1131,4

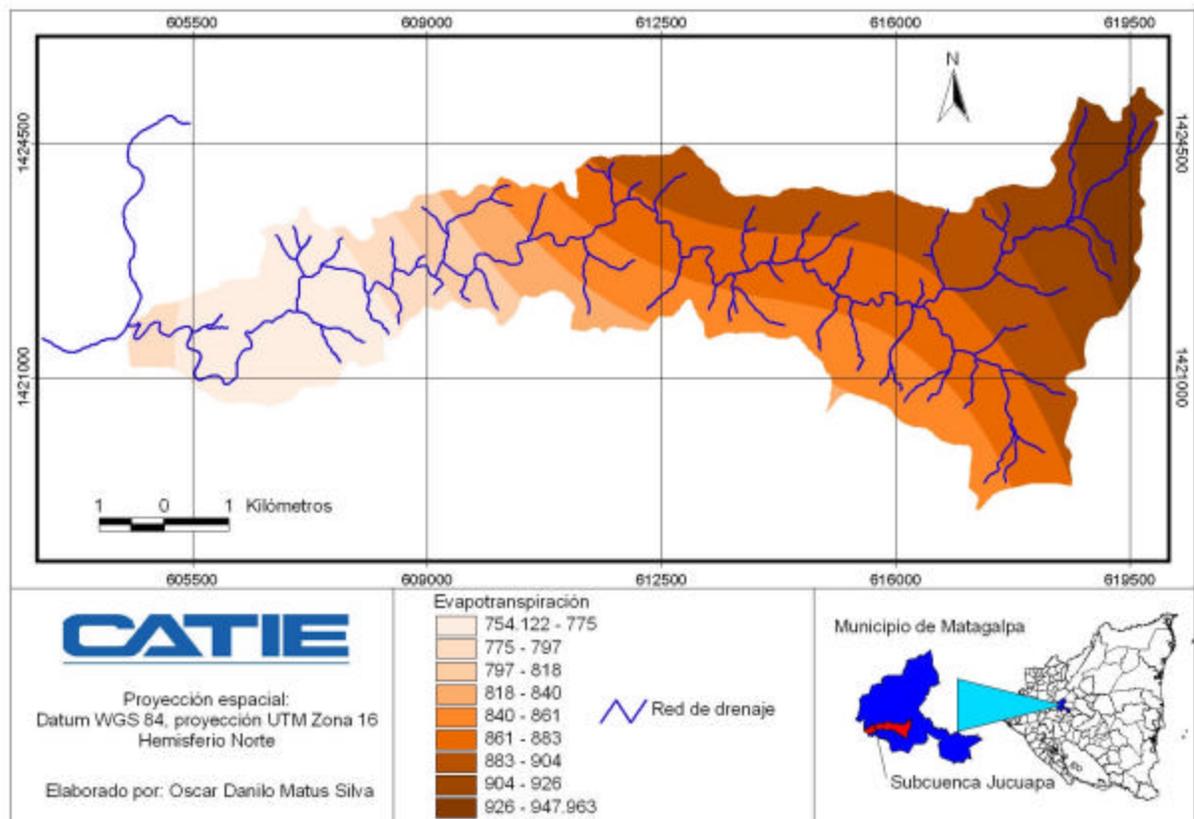


Figura 10: Mapa de distribución espacial de evapotranspiración en la subcuenca del río Jucuapa

3.3.3 Pendiente y relieve

En la subcuenca se diferencian seis rangos de pendiente (Figura 11). Las pendientes dominantes son las del rango de 15 a 30%, distribuidas en la parte alta, media y baja, las cuales representan el 32,97% del área total. Los terrenos escarpados a muy escarpados representan el 12,63% del área total; por lo tanto si estos suelos tienen poco o ninguna cobertura vegetal son susceptibles a severos daños por erosión hídrica, al combinarse las precipitaciones con los altos grados de pendiente. Los terrenos planos a ondulados con pendientes menores del 30% constituyen el 59,31%, lo cual es concordante con los sistemas fisiográficos de valles y planicies. La pendiente media de la subcuenca es aproximadamente de 16%.

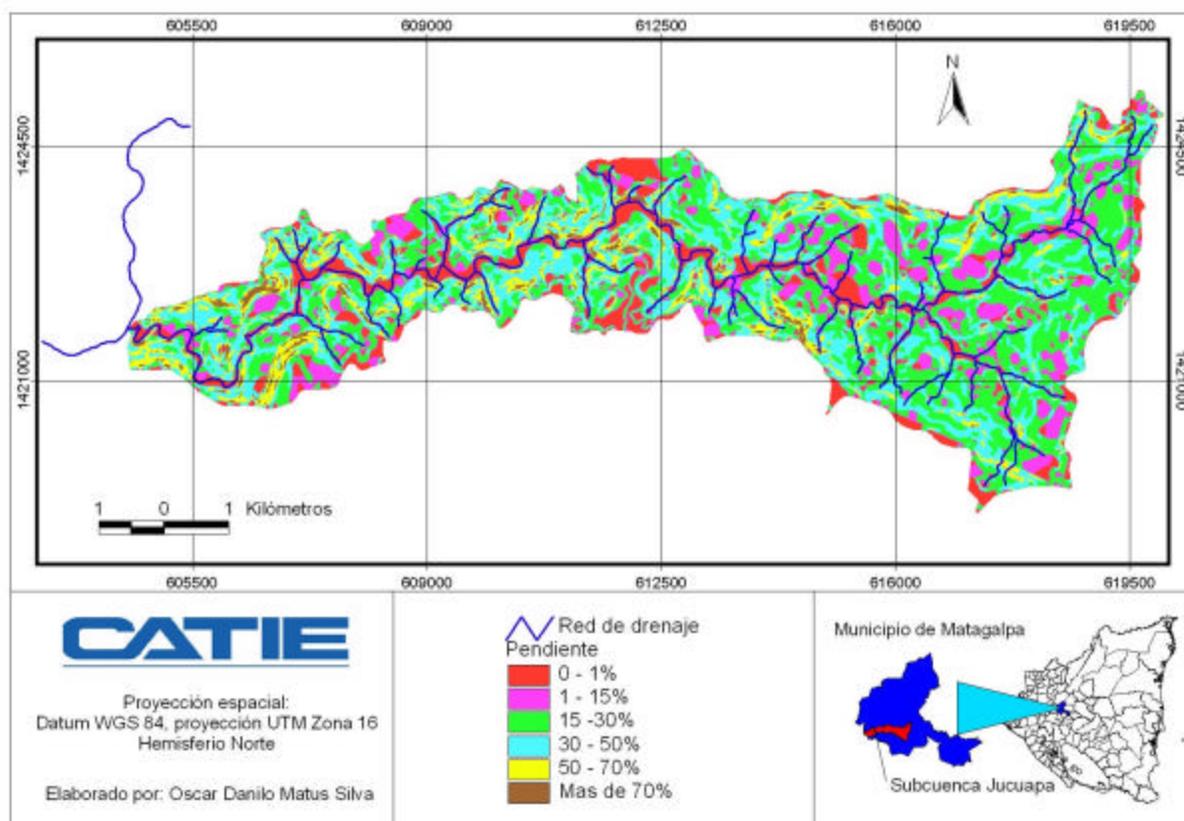


Figura 11: Mapa de pendiente de la subcuenca río Jucuapa

3.3.4 *Tipo de suelos*

De acuerdo a estudios edafológicos realizados en la región central y norte del país por el Programa de Catastro y Recursos Naturales en el 2001, se identifican los siguientes órdenes de suelos (Figura 12):

Entisoles: representan una amplia extensión territorial, con un área de 2.162 ha, correspondiente al 53,26% del área total; se localizan en la zona baja y media de la subcuenca. Presentan un horizonte “A” delgado, generalmente, son suelos jóvenes, con bajo contenido de materia orgánica, con topografía muy accidentada, son superficiales, de textura moderadamente gruesa y medias en la capa arable, y medias a moderadamente finas en el subsuelo.

Vertisoles: se presentan en una superficie de 182 ha, que corresponde al 4,49% del área total y se localizan en la zona media. Se caracterizan por tener una textura muy arcillosa, con grietas profundas durante la estación seca, se saturan de agua en época lluviosa, generalmente, presentan buena fertilidad debido a su alta saturación de bases, sin embargo, son bajos en materia orgánica, presentan colores casi negros o grises y su drenaje interno varía de moderado a imperfecto.

Alfisoles: los suelos de este orden cubren una superficie de 658 ha, que representa el 16,06% del área total y se localizan en la zona alta. Presentan buenas características físicas, como agregados estables (pseudoarena) y estructuras favorables (granulas), son susceptibles a degradación (compactación), presentan un color café rojizo a rojizo y buena fertilidad.

Mollisoles: se presenta mayormente en la zona media y en una porción del área de la zona baja, ocupan 1.063 ha, lo cual representa el 26,22% del área total. Tienen un desarrollo juvenil (A - B - C), la secuencia textural del A y el B es generalmente franco y son desarrollados a partir de rocas volcánicas, con buenas características físicas de drenaje y estructura, nunca tiene agregados duros y son de color muy oscuro.

La textura del suelo que más predomina en la subcuenca es franco arcilloso, encontrándose además textura franco y franco arenosos.

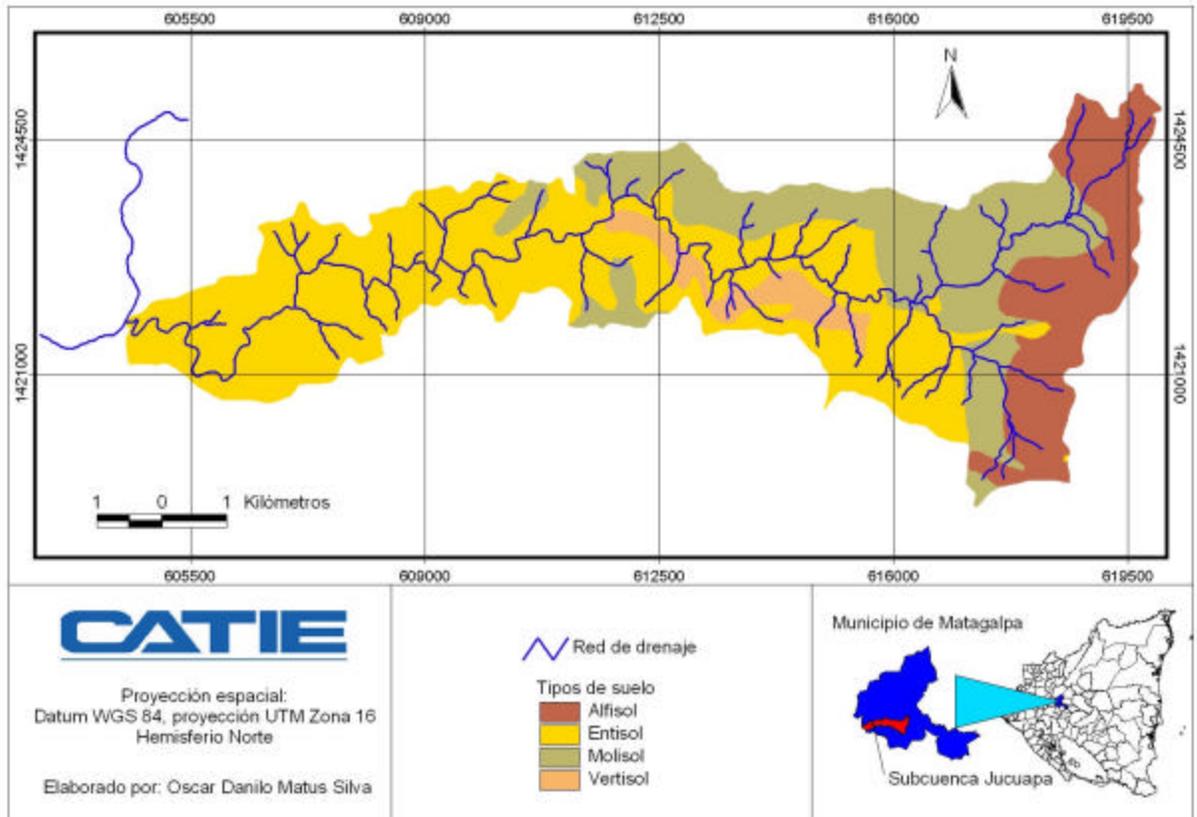


Figura 12: Mapa de tipos de suelo en la subcuenca del río Jucuapa

3.3.5 Geología

De acuerdo con Morales (2003), el mapa geológico de la subcuenca fue extraído del mapa geológico de los departamentos de Matagalpa y Jinotega, escala 1:50000 elaborado por el Ministerio Agropecuario y Forestal (MAG-FOR) y presentado en el documento Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas de Matagalpa y Jinotega. En la subcuenca se identifican dos unidades geológicas: coyol superior y coyol inferior (Figura 13).

A. Coyol inferior

Corresponde al sistema Neoceno Superior, serie del Mioceno-Medio-Superior, con una litología dominada por lavas basálticas y andesito-basálticas, andesito-dacitas, riódacitas, tobas y brechas tobáceas de riolitas y dacitas aglomeríticas. Presenta suelos con desarrollo genético juvenil a inmaduro que corresponden a los subgrupos taxonómicos: Tipic Tropudalts, Ustorthents y Chromuderts y Udic Haplustolls. Se distribuye en una superficie de 3288 hectáreas, que representa el 81% del área de la subcuenca y se localiza mayormente en la parte alta, una pequeña área de la parte media y áreas remanentes de la parte baja.

B. Coyol superior

Corresponde al sistema terciario y a la serie del Mioceno-Medio-Plioceno, con una litología dominada por ignimbritas, tobas y brechas dacíticas, y lavas basálticas y andesito-basálticas. Presentan suelos con desarrollo genético juvenil a inmaduro que corresponden a los subgrupos taxonómicos: Typic Tropudalts y Ustorthents y Udic Haplustolls. Representa el 18.97% del área y se distribuye en una superficie de 777 hectáreas, en la casi totalidad de la parte media y baja de la subcuenca.

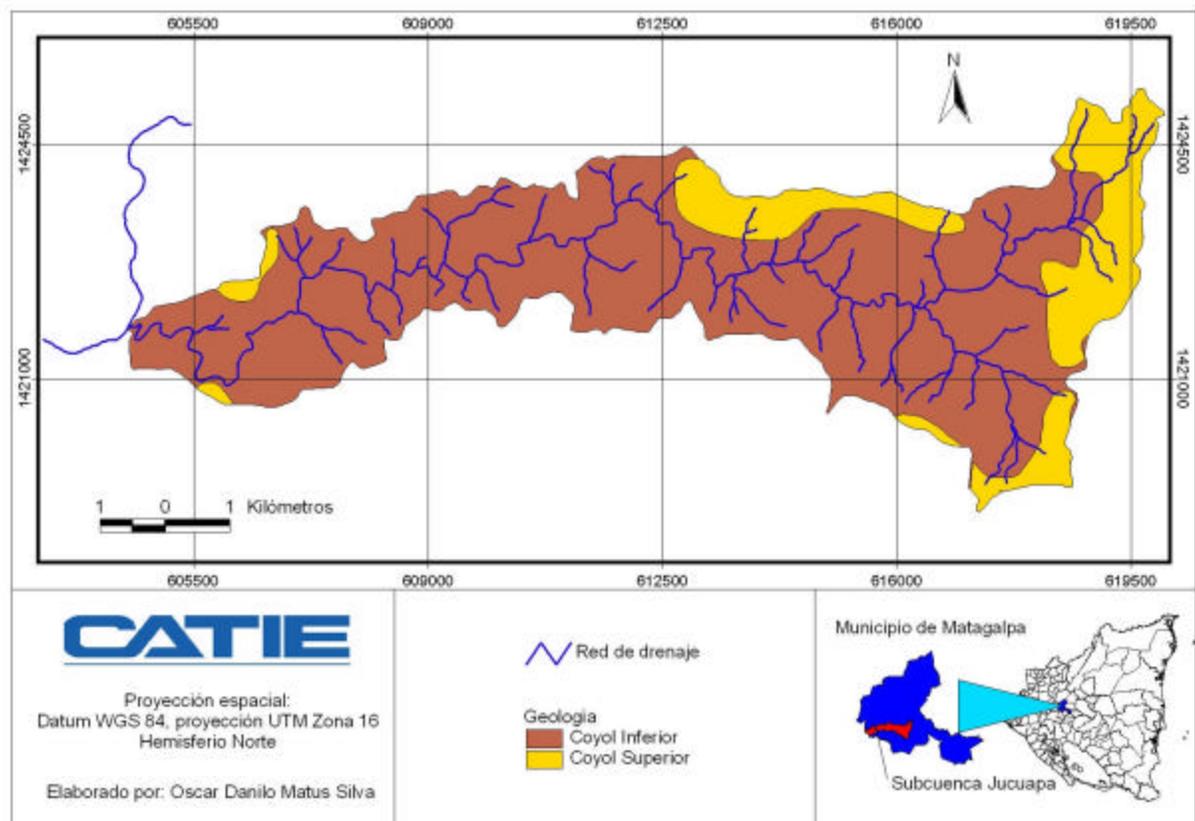


Figura 13: Mapa geológico de la subcuenca del río Jucuapa

3.3.6 Uso del suelo

El uso actual del suelo (Cuadro 24 y Figura 14) fue tomado del informe final mapeo de SIG avanzado en la subcuenca del río Jucuapa, así como del mapa de uso de suelo elaborado por CIGMAT Matagalpa, Recinto Universitario UNAN-Matagalpa, el cual elaboró un SIG avanzado en la subcuenca del río Jucuapa. Dicho mapa fue elaborado a partir de una imagen clasificada SPOT 5, tomada en abril del 2003, donde se dice que la subcuenca cuenta con 17 clases de usos que se detallan a continuación:

- ? **Granos básicos:** son parcelas de cultivos rotativos, principalmente maíz, frijol y sorgo, que tienen lugar durante el periodo lluvioso. Se cultivan en terrenos relativamente planos, así como en parcelas ubicadas en las laderas de los cerros. A diferencia de las parcelas donde se cultivan hortalizas, estas son de mayor tamaño y con formas irregulares.
- ? **Asentamientos humanos:** son poblados de actividad rural donde es posible observar un trazado irregular. Se trata de agrupaciones pequeñas y dispersas de baja densidad y con vocación agrícola. Los asentamientos humanos de mayor tamaño son Jucuapa Abajo, Jucuapa Occidental, Jucuapa Centro, Limixto, El Ocotol y Ocote Sur. Otros asentamientos más pequeños son Las Mercedes, Las Uvas, Nuestra Tierra, etc.
- ? **Pastos mejorados:** se encuentran en áreas donde es posible la irrigación, cerca de ríos u otras fuentes de agua disponibles en el periodo seco, al igual que las hortalizas. Se encontró en algunas parcelas próximas al bosque ribereño; generalmente en algunas partes del tramo que corresponde al río Jucuapa.
- ? **Pasto con árboles:** son áreas donde existen pastos naturales en las que se han desarrollado abundantes árboles sin llegar a ser un bosque porque no tienen tal extensión. En términos de área, esta clase tiene una presencia considerable en el área de la subcuenca.
- ? **Pasto con maleza:** son áreas de ganadería con presencia de pasto natural y maleza. Por lo general, por falta de manejo poseen un porcentaje de malezas y matorrales. La presencia de árboles es escasa y pueden ser áreas, tanto inclinadas como planas. Se encuentran de manera dispersa en el área de la subcuenca.
- ? **Vegetación natural:** son unidades con cobertura de arbustos y malezas densas, generalmente caducifolias, espinosas, que definen áreas que actualmente no están siendo aprovechadas en la agricultura. La agrupación densa es una característica que, en una imagen satelital, daría la impresión de un bosque cerrado.
- ? **Zona quemada:** son parcelas donde la maleza ha sido eliminada mediante la quema antes de la época de siembra. Generalmente se trata de parcelas para el cultivo de granos básicos (maíz, frijoles). La quema, es una práctica común y frecuente en la época previa

al periodo lluvioso; por tal razón fueron fácilmente detectadas en la imagen satelital, la cual fue tomada en abril.

- ? **Café con sombra:** agrupa los suelos que se encuentran en la parte alta de la subcuenca, donde las temperaturas son inferiores a las existentes en el resto de la subcuenca. Se cultiva bajo las sombras del bosque original o de sombra plantada para este fin. Esta clase se localiza con mayor porcentaje en el límite con la subcuenca del río Cállico.
- ? **Bosque latifoliado alto cerrado:** comprende árboles mayores a 12 metros de altura y con cobertura de las copas entre un 70% y 100%. En este tipo de bosque encontramos árboles tales como: robles, laurel en mayor porcentaje.
- ? **Bosque latifoliado bajo cerrado:** comprende árboles menores a 12 metros de altura y con cobertura de las copas entre un 70% y 100%.
- ? **Bosque latifoliado alto abierto:** comprende árboles mayores a 12 metros de altura y con cobertura de las copas entre 40% y 70%. En este tipo de bosque encontramos, en su mayoría, árboles de especie de robles.
- ? **Bosque latifoliado bajo abierto:** comprende árboles menores a 12 metros de altura y con cobertura de las copas entre 40% y 70%.
- ? **Bosque de galería:** es el tipo de bosque que se encuentra en la ribera de los ríos. Pueden ser árboles altos o bajos, pero generalmente cerrados.
- ? **Bosque mixto:** es el tipo de bosque donde se combinan árboles latifoliados y coníferas. Se encuentra en pequeñas proporciones en el límite norte de la subcuenca, al norte del tanque de agua del lugar conocido como El Caracol.
- ? **Huerto:** en esta clase se incluyen aquellos cultivos de hortalizas y verduras. Se encuentran solamente en áreas relativamente planas y bajas donde puede garantizarse la irrigación durante el periodo lluvioso. Por tanto, las vegas de los ríos o zonas donde se dispone de agua subterránea, son áreas para el cultivo de hortalizas (tomate, chiltoma, cebolla, pipián). Actualmente en este ciclo productivo se logro observar parcelas de papas.

- ? **Cultivo en parras:** bajo esta clase se clasifican las plantas trepadoras que crecen en forma de enredaderas o parras. Se encontraron cultivos de maracuyá y chayote, en áreas de poca pendiente cerca de las fuentes de agua
- ? **Campo deportivo:** en esta clase se incluyen aquellas áreas destinadas al uso deportivo (por lo general béisbol), los cuales fueron digitalizados porque se observaron durante el trabajo de campo.

Cuadro 24. Distribución del uso del suelo en la subcuenca del río Jucuapa

No.	Uso del suelo	Área M ²	Área km ²	%
1	Asentamiento humano	453600	0,45	1,11
2	Bosque ribereño	1999311	2,00	4,89
3	Bosque latifoliado alto abierto	756396	0,76	1,85
4	Bosque latifoliado alto cerrado	1176005	1,18	2,88
5	Bosque latifoliado bajo abierto	2669829	2,67	6,54
6	Bosque latifoliado bajo cerrado	103896	0,10	0,25
7	Bosque mixto	17943	0,02	0,04
8	Café con sombra	5475354	5,48	13,41
9	Campo deportivo	28014	0,03	0,07
10	Cultivo en parras	95150	0,10	0,23
11	Granos básicos	9441647	9,44	23,12
12	Huerto	104561	0,10	0,26
13	Pasto con árboles	5053891	5,05	12,37
14	Pasto mejorado	40669	0,04	0,10
15	Pasto con malezas	3772642	3,77	9,24
16	Vegetación natural	9287461	9,29	22,74
17	Zona quemada	368411	0,37	0,90
Total		40844789	40,84	100,00

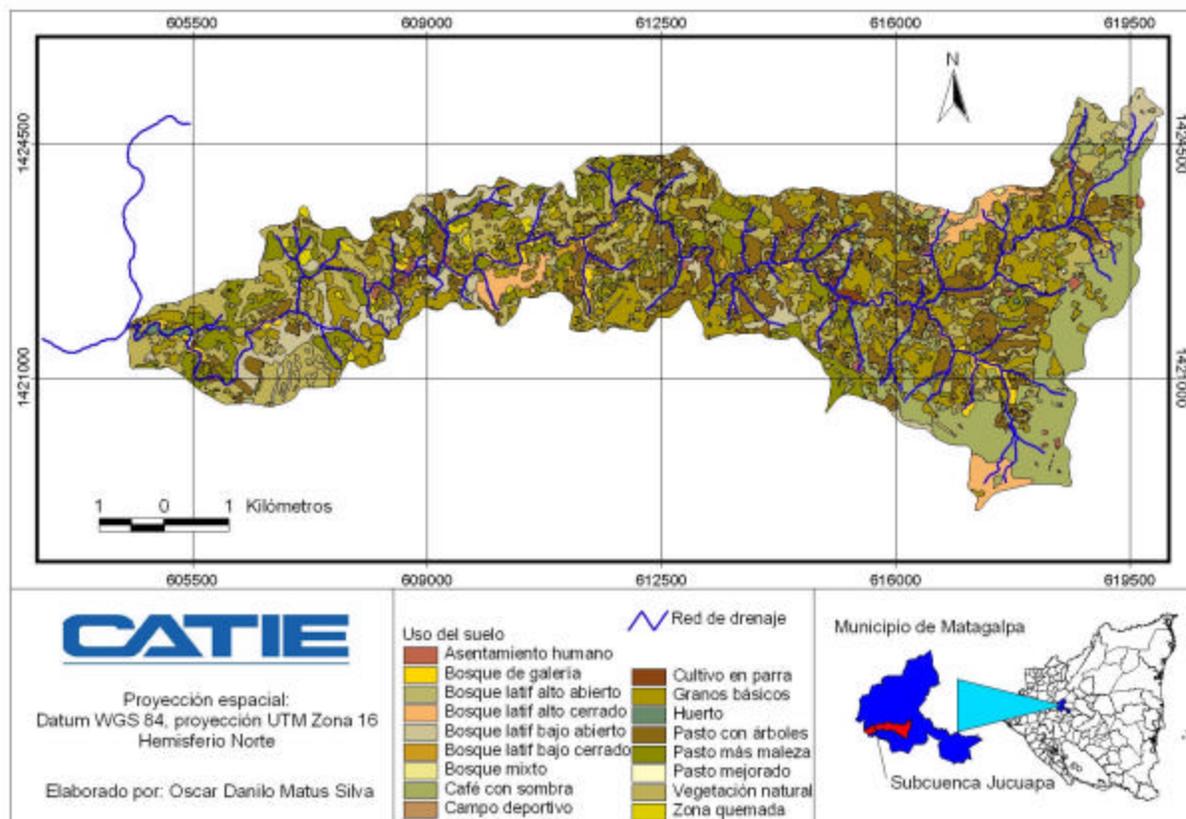


Figura 14: Mapa uso del suelo en la subcuenca del río Jucuapa

3.4 Aspectos socioeconómicos de la subcuenca

3.4.1 Social

Con relación a la población habitando la subcuenca no hay un dato oficial actual, debido a que las estadísticas de censos nacionales que brinda el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), las presenta por departamentos. Sin embargo de acuerdo a Mendoza (2005), en la subcuenca del río Jucuapa habitan un total de 792 familias y 4,339 personas, distribuidas en nueve comunidades (Cuadro 25).

Cuadro 25. Distribución de la población por comunidad en la subcuenca del río Jucuapa

ZONA	COMUNIDAD	NO. DE FAMILIAS	TOTAL DE HABITANTES
Alta	Las Mercedes	146	890
	Ocotal	36	178
	Ocote	115	760
Media	Jucuapa centro	82	600
	Jucuapa occidental	70	460
	Limixto	109	636
Baja	Jucuapa abajo	133	720
	Santa Cruz	16	95
Total		707	4.339

Fuente: Mendoza, 2005.

En la subcuenca anteriormente se reconocían ocho comunidades, sin embargo, en la parte alta de la subcuenca el gobierno ubicó un nuevo asentamiento que actualmente es reconocida por la Municipalidad de Matagalpa como una comunidad llamada Nuestra Tierra; la que anteriormente se conocía como un sector de la comunidad de Las Mercedes.

Infraestructura vial. Vías de acceso de regulares a malos. Transporte colectivo en vía principal 1/día, en el periodo lluvioso el río Grande de Matagalpa limita el acceso vehicular.

Salud. Cuenta con dos centros de salud en igual número de comunidades y con atención domiciliar dos veces al mes.

Educación. Se cuenta con siete escuelas con dos a tres aulas, multigrados, carecen con centros de educación secundaria y el analfabetismo en adultos es del 60%.

Agua. El 71% de la población cuentan con agua potable, los pobladores de la parte baja de la subcuenca caminan hasta 2 km para obtener agua, en la parte alta y media de la subcuenca retienen el agua para regar cultivos. La contaminación del agua se presenta principalmente por aguas mieles, agroquímicos, jabón, detergentes y ganado bovino (Rivera 2005).

Según Martínez y Toruño (2005), en la subcuenca georeferenciaron un total de 24 fuentes de agua (Cuadro 26 y Figura 15) las cuales comprenden: tres Quebradas, siete mini acueductos

por gravedad (MAG), siete pozos naturales, seis pozos mejorados y el río que recorre la subcuenca Jucuapa hasta llegar a Santa Cruz (Sébacó), donde drena al río Grande de Matagalpa.

Cuadro 26. Fuentes de agua en la subcuenca del río Jucuapa

No.	Tipo de fuente	Ubicación	Beneficiarios
1	Río	Toda la subcuenca	-
2	Quebrada + Mini acueducto	Nuestra Tierra La Pintada	96 familias
3	Quebrada + proyecto de agua potable	Santa Josefina	17 casas
4	Quebrada	Los Ángeles	-
5	Mini acueducto	Las Mercedes	60 casas
6	Mini acueducto	Las Mercedes - Madera	20 casas
7	Pozo natural	Las Mercedes	1 familia
8	Mini acueducto	Ocotol – sector El Caracol	53 familias
9	Pozo natural	Ocotol – sector El Caracol	4 familias
10	Pozo natural	Ocotol – sector El Caracol	1 familia
11	Pozo natural	Ocotol – sector El Caracol	Riego
12	Mini acueducto	Ocote Sur	70 familias
13	Pozo natural	Ocote Sur	30 familias
14	Pozo natural	Ocote Sur – sector La Uva	7 familias
15	Pozo mejorado	Ocote Sur – sector La Uva	14 familias
16	Mini acueducto	Jucuapa Centro	82 familias
17	Pozo mejorado	Jucuapa Centro	6 familias
18	Mini acueducto	Jucuapa Centro – abastece a Jucuapa Occidental	55 familias
19	Mini acueducto	Limixto	50 familias
20	Pozo mejorado	Limixto	4 familias
21	Pozo mejorado	Jucuapa Abajo	7 familias
22	Pozo natural	Jucuapa Abajo	9 familias
23	Pozo mejorado	Jucuapa Abajo	14 familias
24	Pozo mejorado	Jucuapa Abajo	7 familias

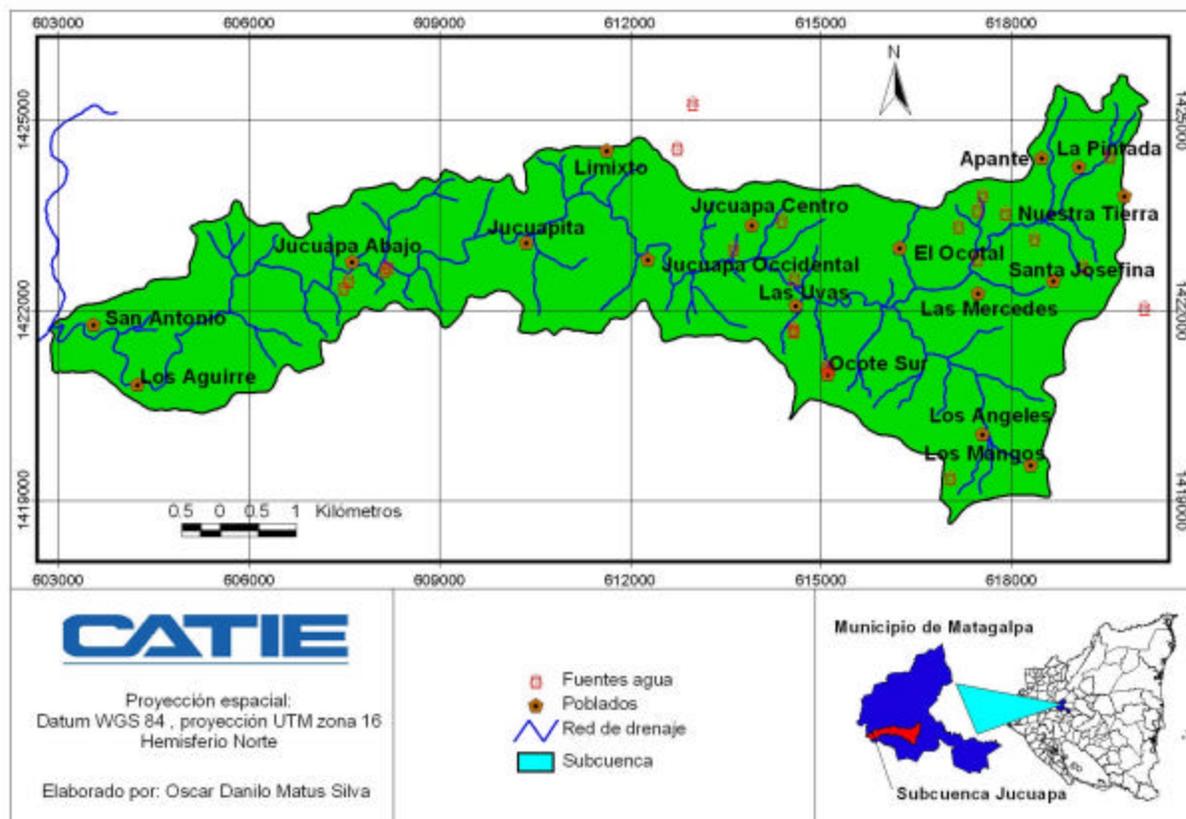


Figura 15: Mapa fuentes de agua en la subcuenca del río Jucuapa

3.4.2 Productivo

En la subcuenca los sistemas de producción predominantes son: granos básicos (maíz, frijol y sorgo) que representa el 57%; la producción de pastos cubre el 22% entre los que destacan jaragua, estrella, king grass, taiwán y grama natural; los bosques representan el 12%, encontrándose mayormente especies como madero negro, guácimo, genízaro, laurel y jiñocuabo; a la producción de frutales le corresponde el 4%, destacándose el mango, naranja, jocote, limón, aguacate, tamarindo y papaya; el café representa el 3% y la producción de hortalizas el 2% con tomate, chiltoma, cebolla y pipián (Rivera 2005).

3.4.3 Económico

Según Rivera (2005), en la subcuenca el 70% es agricultura de subsistencia. En relación al crédito, para el 2005, el 64% no tuvo acceso y el 36 % tuvo acceso al crédito. Las principales fuentes de ingreso son: leña 6%, mano de obra 46%, tierra 15%, remesas 12%, negocios 10%, animales 3% y otros 8%.

3.5 Metodología del estudio

El estudio es de tipo cualitativo y busca integrar en una metodología participativa los elementos técnicos y del conocimiento local que permitan de una forma práctica, sencilla y entendible para los actores locales, la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. Para lo cual se siguió un proceso que consta de tres fases con sus respectivas actividades y subactividades: la primera es la elaboración de la propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, la segunda se refiere a la aplicación y validación de la metodología propuesta; y la tercera fue proponer estrategias y acciones para el manejo de zonas de recarga hídrica. La primera y tercera fase fueron realizadas con base a revisión de literatura, talleres participativos y entrevistas semiestructuradas y la segunda parte mediante la propuesta metodológica obtenida de la primera fase, visitas de campo y complementada mediante información secundaria de la subcuenca.

3.5.1 Elaboración de la propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica

En la figura 16 se presenta el proceso metodológico aplicado en la elaboración de la propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica:

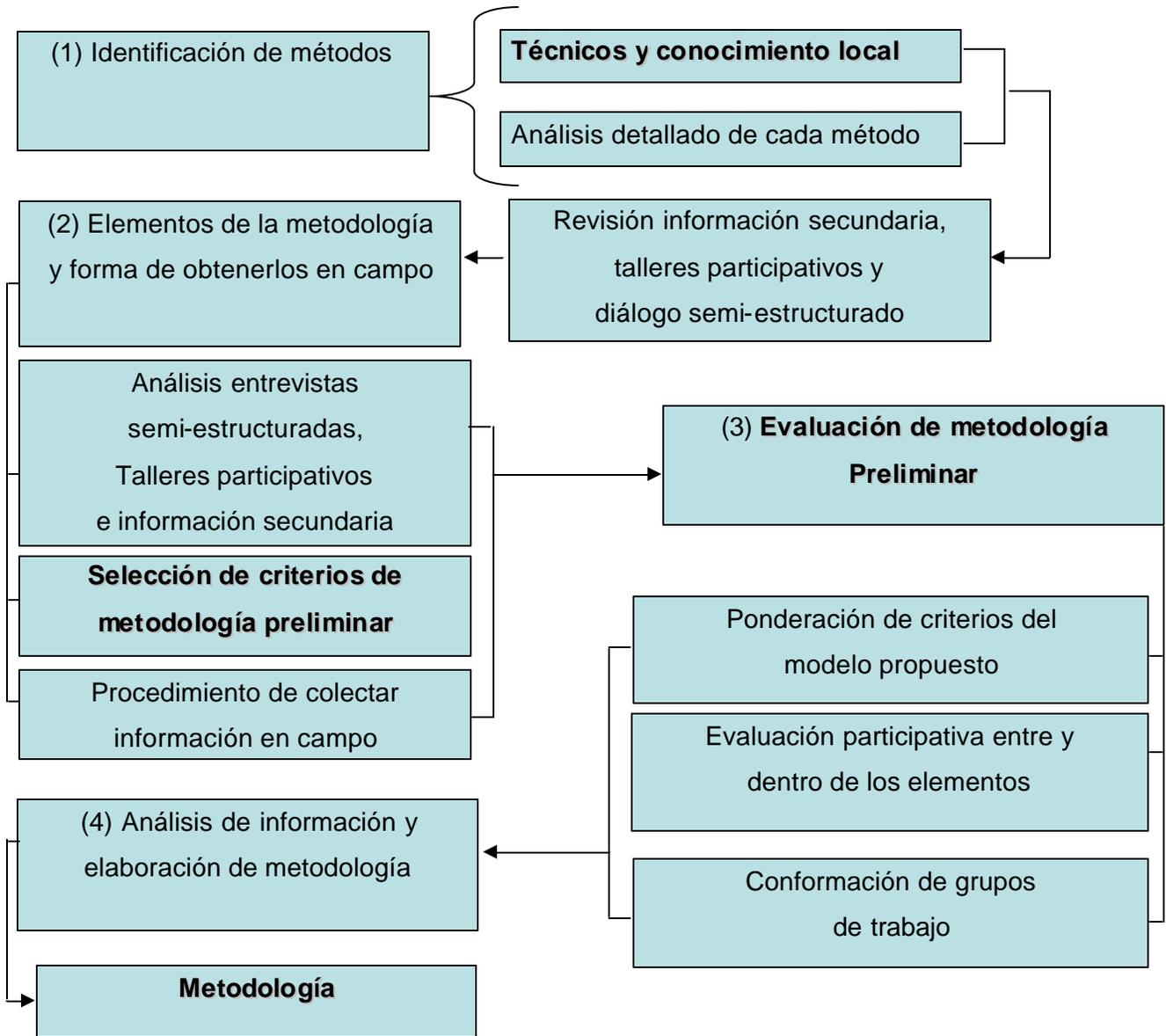


Figura 16: Flujoograma para elaborar la metodología para identificar zonas de recarga hídrica

Se realizó una colecta de información acerca de los diferentes métodos técnicos científicos que se utilizan tanto en la determinación de la cantidad de recarga hídrica así como de métodos usados en la determinación o identificación de las zonas de recarga hídrica y/o métodos utilizados en el estudio y evaluación de las aguas subterráneas, los que se estudiaron y analizaron como base para la elaboración de la propuesta metodológica; esto se logró por medio de la revisión de literatura.

✍ En la identificación del conocimiento local, se realizaron talleres participativos (Anexo 1 y 2), a los que asistieron miembros de comités locales de cuenca, alcalditos, grupos de productores, grupos de mujeres y miembros de comités de agua potable, y se contó con el apoyo del equipo técnico del INTA (Centro Norte Matagalpa), en los talleres se realizó el siguiente procedimiento: 1) Se dieron los conceptos básicos sobre las zonas de recarga hídrica y su importancia en el manejo de los recursos naturales. 2) A través de una lluvia de ideas, los comunitarios definieron la forma y/o los elementos que utilizarían en la identificación de las zonas de recarga hídrica. 3) Se brindaron algunos elementos técnicos que combinados con el conocimiento local que ayudan a identificar las zonas de recarga hídrica. 4) A través de grupos de trabajos se realizó un mapeo y evaluación de los recursos naturales donde se identificó la problemática y algunas medidas de solución. 5) También se aplicaron los elementos prácticos y el conocimiento de los comunitarios para identificar zonas potenciales de recarga hídrica (como un primer acercamiento).

✍ Otro método utilizado en la identificación y/o rescate del conocimiento local fue la implementación del diálogo semiestructurado (Anexos 3, 4 y 5), dirigido a pobladores de las diferentes comunidades de la subcuenca, así como a informantes claves. También se aplicó la misma técnica con técnicos que tienen incidencia en la subcuenca y a los especialistas en geología e hidrología, como una forma de rescatar y comparar las diferentes opiniones en los tres estratos.

✍ Para la identificación y selección de los elementos o criterios que integrarían el modelo en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, diseñar el procedimiento (pasos) a seguir en dicha identificación y definir la forma como coleccionar y/o evaluar en campo de manera práctica los diferentes criterios seleccionados del modelo. Se realizó el análisis del diálogo semiestructurado, los talleres participativos y revisión de literatura sobre los métodos técnicos identificados; en dicho análisis se elaboraron bases de datos en los programas informáticos Word y Excel. Como producto de este proceso se obtuvo la propuesta preliminar de la metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.

✍ La evaluación de la propuesta preliminar de la metodología (Anexos 6 y 7) se realizó con técnicos de diferentes organismos e instituciones, donde también se efectuó la ponderación o asignación de pesos relativos (Anexo 8) a los diferentes elementos del

modelo propuesto, según su influencia en el proceso de infiltración, es decir, que se le dio mayor importancia al criterio que más favorece la infiltración del agua en el suelo, según la experiencia de los extensionistas. Para el análisis se elaboraron bases de datos en los programas informáticos Word y Excel.

✍ Por último se efectuó el análisis de la información obtenida del proceso de evaluación de la metodología, así como la realización de las respectivas correcciones y ajustes según resultados del taller de evaluación y recomendaciones del comité asesor de la tesis. Se obtuvo como resultado la propuesta metodológica final para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.

3.5.2 Aplicación y validación de la propuesta metodológica para identificar zonas potenciales de recarga hídrica

El procedimiento que se siguió en la aplicación y validación de la metodología lo muestra la figura 17.

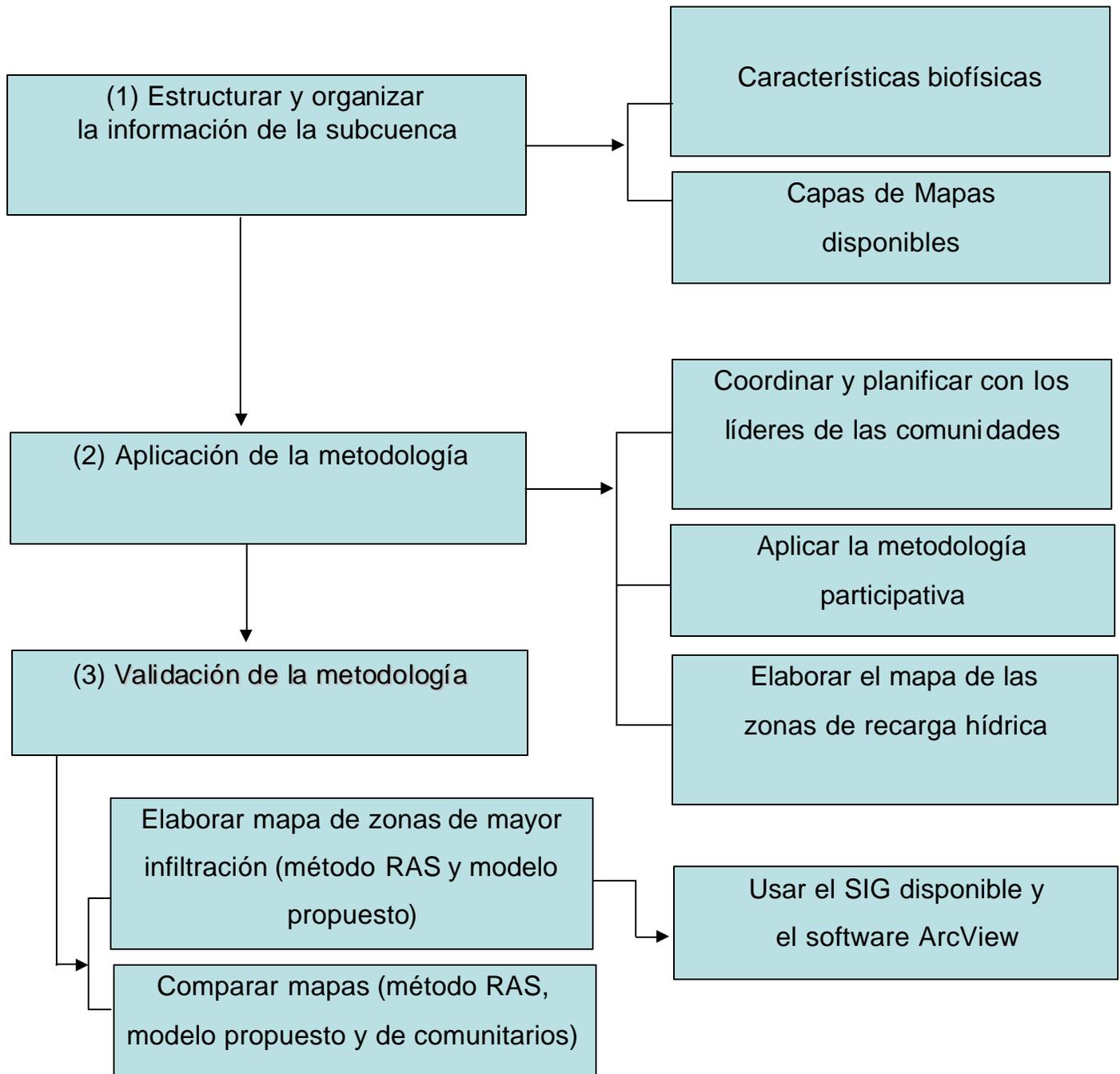


Figura 17: Flujograma para la aplicación y validación de la propuesta metodológica

- ✍ Como primer paso se efectuó una identificación y organización de las principales características biofísicas de la subcuenca como la pendiente, precipitación, temperatura, evapotranspiración, tipos de suelo, usos del suelo, cobertura vegetal y geología, así como también la existencia de dichas unidades de mapeo y/o generación de estas. Para ello se utilizó la información disponible en la oficina del Programa FOCUENCAS II, INTA, MAGFOR, de 13 estaciones meteorológicas (Agua Zarca, Darío, El Naranjo, Hacienda San Francisco, Jinotega, La Labranza, La Lima, La Reina, Matagalpa, San Dionisio, San Ramón, Sébaco y Terranova) de la base de datos del programa “FAOCLIM” para obtener datos de precipitación y temperatura y tesis de maestría desarrolladas en la subcuenca.
- ✍ Con base en los resultados obtenidos del primer objetivo, donde se elaboró la propuesta para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, se derivó la aplicación participativa de los procedimientos, para identificar y evaluar las potenciales zonas de recarga hídrica. Esto se planificó y realizó en coordinación con los representantes de los comités locales de cuencas, quienes a su vez, invitaron algunos miembros de comités de agua potable.
- ✍ La metodología se aplicó en ocho fuentes de agua seleccionadas y ubicadas en siete comunidades de la subcuenca del río Jucuapa (Nuestra Tierra, El Ocotal, Jucuapa Centro, Ocote Sur, Jucuapa Occidental, Limixto y Jucuapa Abajo). Como producto de la aplicación se obtuvo el mapa de las zonas potenciales de recarga hídrica de las ocho fuentes donde se aplicó la metodología. El mapa se elaboró georeferenciando los puntos límites de dichas zonas con la ayuda de un GPS; dichos puntos se bajaron al programa “ArcView”, se elaboraron los polígonos para cada zona y el mapa donde se ubican las comunidades, las fuentes de agua y sus zonas potenciales de recarga hídrica.
- ✍ El tercer paso fue la validación de la metodología propuesta, donde se comparan el mapa obtenido de la aplicación de la metodología con los comunitarios (zonas de recarga de ocho fuentes de agua), el mapa de recarga de la subcuenca usando el método RAS y el mapa de potencial de recarga de la subcuenca aplicando el modelo propuesto (con la ayuda de unidades de mapeo).
- ✍ La información de las unidades de mapeo (tipo de suelo, usos del suelo, geología y pendiente) para elaborar ambos mapas (método RAS y modelo propuesto, para la

subcuenca) se obtuvo del primer paso. También se generaron nuevas unidades de mapeo (precipitación, evapotranspiración), todo esto con la ayuda del programa ArcView.

✍ Para elaborar el mapa de las zonas potenciales de recarga hídrica, según el modelo propuesto, se utilizaron las unidades de mapeo de pendiente, tipo de suelo, uso del suelo, de la cual, también se derivó la cobertura vegetal, y geología de la subcuenca y se realizó el procedimiento siguiente: 1) Todas las unidades de mapeo fueron convertidas a GRID. 2) Cada una de las unidades de mapeo fue evaluada según las tablas propuestas en la metodología. 3) Posteriormente haciendo uso de la herramienta “Map Calculador” del programa “ArcView” se aplicó el modelo propuesto, obteniendo como resultado el mapa donde se presenta el potencial de las diferentes zonas para que ocurra la recarga hídrica en la subcuenca.

✍ En la elaboración del mapa de recarga mediante el método RAS, se realizó el siguiente procedimiento: 1) Se generó el mapa de precipitación de la subcuenca, haciendo uso de la información de precipitación mensual de 13 estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca (identificadas en el primer paso), con las cuales por medio del método “spline” se realizó la interpolación y se obtuvo el mapa de precipitación para la subcuenca. 2) Luego con la información de la temperatura mensual obtenida de 13 estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca (identificadas en el primer paso), se aplicó método de Thorthwaite para determinar la evapotranspiración (ETP) por cada estación. 3) El siguiente paso fue obtener la temperatura promedio anual y ETP corregida total anual para cada estación, las que se usaron en la determinación del balance climático. 4) Luego se obtuvo el balance climático, para lo cual se usó la herramienta “Map Calculador” del programa “ArcView” y se restó de la unidad de mapeo de la precipitación la evapotranspiración. 5) Posteriormente se procedió a determinar los coeficientes de infiltración para las unidades de mapeo tipo de suelo, pendiente y uso del suelo, evaluando cada unidad, según las tablas propuestas en el modelo. 6) Con toda la información necesaria y lista, y haciendo uso de la herramienta “Map Calculador” del programa “ArcView” se aplicó el método RAS, obteniendo el mapa de recarga para la subcuenca del río Jucuapa.

3.5.3 Proponer estrategias y acciones para el manejo de zonas de recarga hídrica

La siguiente figura 18 muestra el procedimiento que se siguió en la elaboración de las estrategias y acciones para el manejo de zonas de recarga hídrica:

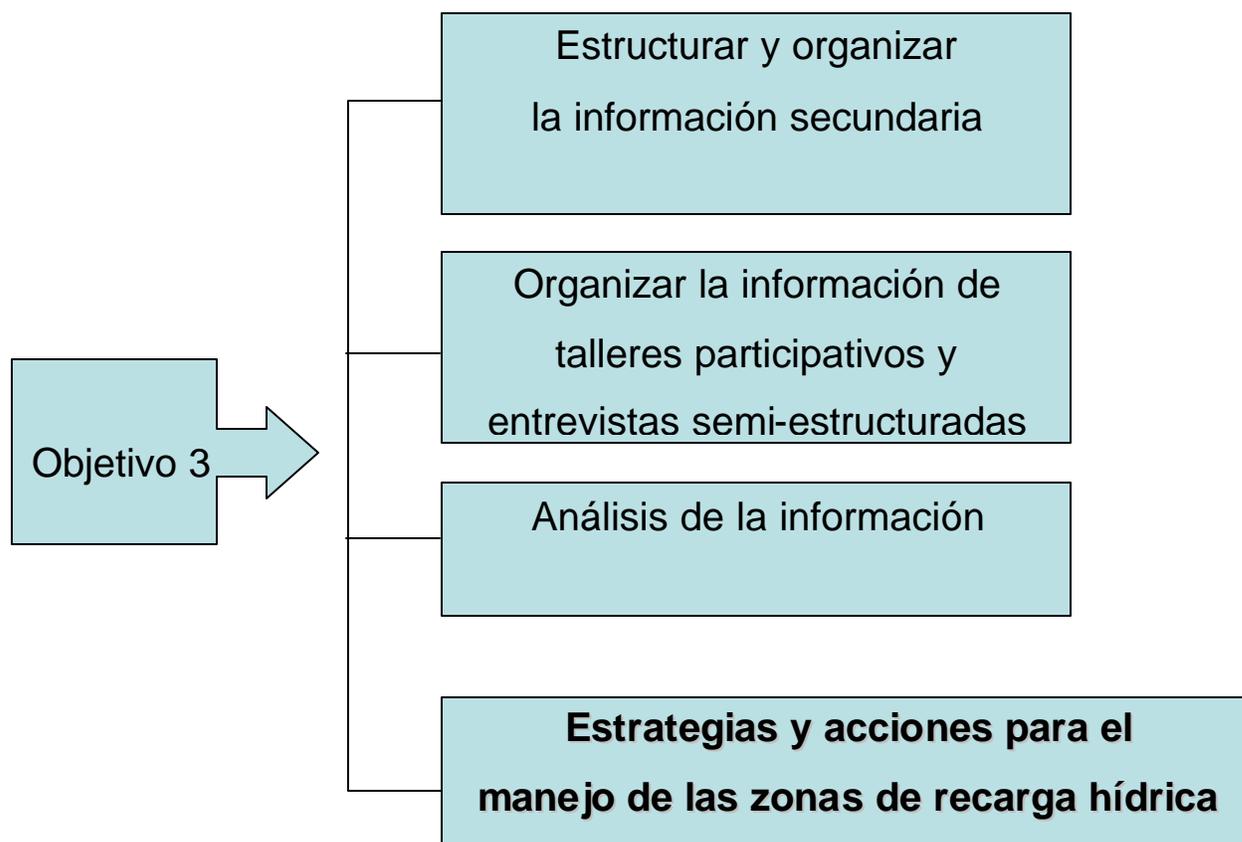


Figura 18: Flujoograma en la elaboración de estrategias y acciones para el manejo de zonas de recarga hídrica

✍ En la elaboración de las propuestas de estrategias y acciones para el manejo de zonas de recarga hídrica primeramente se identificó y organizó la información secundaria acerca de los diagnósticos biofísicos y socioeconómicos para identificar la problemática al nivel de la subcuenca, lo que se obtuvo de información disponible en la oficina del Programa Focuecas II, diagnósticos elaborados por INTA (Centro Norte Matagalpa), tesis de maestría realizados en la subcuenca y literatura consultada sobre experiencias en el manejo de zonas de recarga hídrica.

- ✍ Luego se procedió a organizar la información obtenida de los talleres participativos realizados en las diferentes comunidades de la subcuenca y la información colectada del diálogo semiestructurado, efectuado a comunitarios y extensionistas que tienen incidencia en la subcuenca, sobre los principales problemas que afectan la subcuenca, las zonas de recarga y las fuentes de agua, así como las posibles alternativas de solución que ellos proponen ante dicha problemática.
- ✍ Con toda la información organizada se procedió a efectuar un análisis de esta con base a lo cual se extrajeron las estrategias y acciones para el manejo de las zonas de recarga hídrica. Con estas se realizó una clasificación de estrategias y acciones según los objetivos y/o funciones que se persiguen con la aplicación de cada una de ellas.

3.6 Métodos estadísticos

El análisis estadístico que se utilizó para el primer objetivo; se basó en la elaboración del diálogo semiestructurado, el cual consistió en determinar o identificar el conocimiento local de comunitarios, técnicos y especialistas en cuanto a la forma o elementos que ellos utilizarían en la identificación de las zonas de recarga hídrica. Con la información colectada se generaron bases de datos en el programa informático Excel, las que se utilizaron para elaborar tablas de contingencia, con la ayuda del programa estadístico InfoStat y tablas de frecuencia para los tres grupos (comunitarios, técnicos y especialistas). Las tablas de contingencia se utilizan en el análisis simultáneo de dos o más variables categorizadas; estas variables son aquellas en la cual la escala de medida consiste en un conjunto de categorías (la variable tipo de vivienda puede ser categorizada en dos tipos rural y urbana). En el presente caso la variable escogida fue elementos a usar en la identificación de zonas de recarga hídrica en tres grupos comunitarios, técnicos y especialistas y las variables categorizadas fueron: tipo de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y tipo de roca. El objetivo de la tabla de contingencia fue determinar si habían diferencias significativas entre el conocimiento de especialistas, técnicos y comunitarios (local) con relación a la forma de cómo identificar en campo zonas de recarga hídrica. En 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 (comunitarios, técnicos y especialistas), con el propósito de determinar la frecuencia de

opinión por cada variable (tipo de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y tipo de roca) y para cada grupo consultado.

Para el segundo objetivo relacionado con la aplicación de la metodología propuesta se utilizaron los resultados obtenidos del primer objetivo, más información secundaria obtenida de literatura consultada y la generación de información para validar la metodología propuesta con la ayuda del programa ArcView.

El tercer objetivo concerniente a la elaboración de estrategias y acciones para el manejo de zonas de recarga hídrica se elaboró con base a información colectada de los talleres participativos, del diálogo semiestructurado y de literatura consultada sobre experiencias en el manejo de zonas de recarga hídrica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo está estructurado básicamente en tres partes, de acuerdo al cumplimiento de cada objetivo planteado; la primera parte trata sobre la metodología propuesta para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, donde se presenta el fundamento de la metodología, el contexto dentro del cual se aplicó la metodología, el modelo propuesto y los pasos a seguir en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.

En la segunda parte se exponen los resultados de la aplicación de la metodología en las ocho fuentes de agua seleccionadas con las que se trabajó en la subcuenca del río Jucuapa; dichas fuentes fueron seleccionadas de acuerdo a criterios planteados y aplicados en las tesis de pregrado protección de fuentes de agua en el río Jucuapa y con las que trabaja el Programa Focuecas II en Matagalpa.

Como tercera y última parte se presenta la propuesta de estrategias y acciones que se deben implementar o impulsar, para el manejo, recuperación y sostenibilidad de las potenciales zonas de recarga hídrica identificadas con la aplicación de la metodología, las que se escogieron de acuerdo a las entrevistas realizadas a comunitarios, técnicos/extensionistas y revisión de literatura.

4.1 Elaboración de la propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica

4.1.1 Fundamentos de la metodología

La metodología se encuentra fundamentada en el proceso de infiltración del agua en el suelo y los factores que se encuentran influenciándola. En este sentido, todos los elementos (pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo) que se consideran en el modelo propuesto intervienen positiva o negativamente en la infiltración y se evalúan en función de cómo cada uno de ellos influye en la infiltración, es decir, cómo cada elemento favorece o no la infiltración, de acuerdo a las particularidades de cada uno de ellos en los sitios evaluados.

Así se tiene por ejemplo, que en un lugar con pendiente pronunciada, suelos compactados, rocas impermeables, con poca cobertura vegetal y con prácticas de manejo intensivo, sin obras de conservación de suelo y agua, el proceso de infiltración será afectado negativamente y por ende la recarga hídrica.

Otro fundamento de la metodología se encuentra en el balance hídrico climático, ya que al realizar este análisis (restar de la precipitación mensual o diaria la evapotranspiración) se obtiene la cantidad de agua que se encuentra disponible para que escurra o se infiltre/recargue.

Por otro lado, es reconocida la gran importancia del recurso hídrico para los ecosistemas y la subsistencia de la población humana, por lo que es necesario conocer su funcionamiento integral, analizar la interacción que existe entre agua subterránea y agua superficial a cualquier escala temporal y la influencia de la actividad humana en los cambios del régimen hidrológico, con el fin de proponer estrategias de planeamiento y metodologías de valoración, que tengan por objetivo un desarrollo con vista a llegar a un manejo sustentable (más que intensivo) del recurso hídrico, a la vez que se impulsan diferentes esquemas de protección ambiental (Perevochtchikova et ál 2004).

La recarga y 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, y que a su vez, proveen de alimento, agua y otros beneficios para la población (Paredes y Guerra, 2006). Y plantas y animales y/o ecosistemas y biodiversidad.

Es importante siempre tener en cuenta que la sostenibilidad en el manejo de un acuífero se basa en que no se debe extraer mayor cantidad de agua de la que se recupera a través de la recarga acuífera (FORGAES sf).

Además es necesario considerar que la cantidad de agua infiltrada en la zona de recarga es función de la cantidad de lluvia que escurre desde las zonas de captación y llega a estas áreas y de las características que deben tener dichas zonas que facilitan la infiltración (pendientes suaves y relieves desde planos a cóncavos, suelos permeables y con buena capacidad de infiltración, rocas permeables, buena cobertura vegetal y un uso del suelo adecuado y con prácticas de conservación de suelo y agua), en este planteamiento la precipitación es considerada como la principal fuente de recarga.

Sin embargo, el deterioro de las zonas de recarga hídrica de las cuencas hidrográficas, la baja eficiencia del uso del recurso, la contaminación de ríos, fuentes, zonas de recarga y reservorios de agua, están causando una acelerada reducción de la disponibilidad de las fuentes de agua para usos múltiples (Faustino 2006).

La actividad antrópica altera las características de estos importantes y frágiles sitios, especialmente al implementar agricultura intensiva, ganadería extensiva, sobrepastoreo, monocultivos, cambios de uso del suelo diferentes a su capacidad de uso, deforestación, urbanismo, entre otras; las que han causado y siguen generando problemas con la infiltración del agua al compactar el terreno, dejar descubierto el suelo generando una mayor escorrentía superficial y disminuyendo la recarga de los acuíferos, lo que está provocando reducir el nivel de las aguas subterráneas (acuíferos) y afectando la calidad de las aguas, haciéndolas inadecuadas para consumo humano y otros usos (como para riego de cultivos).

En este sentido hay que destacar también que parte del problema de deterioro de las zonas de recarga hídrica se debe al desconocimiento de las áreas por donde principalmente se están llevando a cabo este proceso (la recarga hídrica). De contar con dicha información y con la participación de los diferentes actores involucrados en la problemática, se estaría orientando el manejo adecuado de estas áreas.

Ante este escenario es palpable la gran necesidad de contar con métodos prácticos, baratos y que sean fácilmente adoptados por los actores locales, comités de cuencas, organismos y diferentes instancias relacionadas al manejo del recurso agua, que le permita, en primera instancia, identificar las zonas con alto potencial para que se dé la recarga hídrica, para posteriormente, mediante procesos participativos y consensuados, se logre planificar, orientar, ordenar, proteger y manejar adecuada y sosteniblemente las zonas de recarga hídrica, buscando mantener las características favorables de estas zonas, y en otros casos, recuperar y mejorar estas características en función de garantizar la cantidad y calidad del agua.

La propuesta metodológica está basada y soportada fundamentalmente en: a) los aportes que brindaron los comunitarios, técnicos y especialistas, recabados por medio de entrevistas que se les realizaron, en las que expresaron la forma mediante la cual identificarían, de una manera práctica, las zonas potenciales de recarga hídrica; b) la revisión de literatura donde se analizaron diferentes métodos para estimar la recarga e identificar las zonas de recarga hídrica. Todo esto basado, a su vez, en la sentida y creciente problemática que gira entorno a la escasez

y mala calidad del agua, como producto del mal manejo que se les está brindando a las zonas de recarga hídrica, que también se debe al desconocimiento e identificación de dichas zonas.

4.1.2 Contexto dentro del cual se debe aplicar la metodología

Como requisito previo a la aplicación de la metodología se debe realizar un análisis o evaluación del balance hídrico climático (BHC), mediante el cual se tendrá una estimación de la cantidad de agua disponible (para que escurra o infiltre) y consecuentemente de la disponibilidad potencial de agua para la recarga hídrica, o la cantidad de agua que escurre y recarga las fuentes o cuerpos de agua superficiales en la subcuenca.

El balance hídrico climático lo debe hacer una institución, organismo, programa u proyecto que trabaje en la gestión del recurso hídrico, en un proceso de identificación de zonas potenciales de recarga hídrica con los comunitarios. El balance hídrico climático se expresa mediante la fórmula siguiente:

$$BHC = P - ET$$

Donde:

BHC = balance hídrico climático

P = precipitación

ET = evapotranspiración

Como resultado del análisis del balance hídrico climático se puede encontrar que aparentemente no existe la posibilidad de que haya recarga hídrica, porque la evapotranspiración es mayor que la precipitación cuando se realiza el estudio con los promedios del total de lluvias durante un año; sin embargo, en este período existen meses durante los cuales la disponibilidad de agua es suficiente, siendo mayor la precipitación que la evapotranspiración, generando las condiciones para que exista una recarga potencial (considerando las características de la zona que favorezcan la infiltración del agua en el suelo), es decir, que el análisis del balance hídrico climático se puede fraccionar por mes, semana o día e identificar los meses, semanas o días donde efectivamente existe un potencial de recarga hídrica.

Así mismo se tiene que entre mayor sea el exceso hídrico (la precipitación mayor que la evapotranspiración), mayor podría ser el potencial o disponibilidad de agua para la recarga hídrica, considerando siempre las características de la zona, que permitan la infiltración del agua en el suelo.

Cuando el análisis o estudio para identificar las zonas de recarga hídrica lo efectúa un comité local de cuenca, comité de agua o junta de pobladores y no puedan realizar un balance hídrico climático, porque es muy técnico, o se dé el caso de no contar con la información técnica necesaria para realizarlo, pueden efectuarse un análisis del régimen tradicional de precipitaciones en sus comunidades o subcuenca, según la experiencia que han adquirido año con año, en cada ciclo agrícola, y estimar si existe suficiente disponibilidad de agua como para que se dé la recarga hídrica, o si las precipitaciones no son suficientes, presentándose un déficit climático.

Es importante considerar que toda la cuenca tiene cierto nivel de recarga hídrica, sin embargo, es necesario aclarar que la propuesta metodológica no estima la recarga hídrica; lo que se pretende con la metodología es que aún cuando las condiciones climáticas no sean muy favorables para la recarga, identificar cuáles son las zonas con mayor potencial para que se dé la recarga hídrica, con base en sus características biofísicas e hidrogeológicas que permitan la infiltración o recarga hídrica.

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 consideran las zonas de recarga hídrica a partir de la infiltración del agua de las lluvias (en general la más importante).

Debido a que la metodología considera la precipitación como la principal fuente de abastecimiento de agua de los pozos y manantiales y/o recarga hídrica, es de importancia conocer las características más importantes de la lluvia que determinan la cantidad de agua que infiltra, que según Veenhuizen (2000) son la intensidad, la duración y la distribución. También se puede mencionar otra característica importante de la precipitación que es la frecuencia.

Considerando que las zonas de recarga hídrica de las fuentes de agua pueden encontrarse o no a grandes distancias de donde son aprovechados, debido a la ocurrencia de los flujos regionales, intermedios y locales de recarga hídrica, se trabajó con los flujos locales de recarga hídrica en la subcuenca hidrográfica procedentes de las precipitaciones para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica.

Haciendo referencia al movimiento del agua en el suelo, la metodología se encuentra centrada en su movimiento en la zona no saturada, que es la que se encuentra por encima del nivel piezométrico (nivel hasta el cual sube el agua de un acuífero, donde los poros del suelo no están totalmente llenos de agua), dicho de otra manera es la que se encuentra entre la superficie y el acuífero, conocida también como zona vadosa. Vásquez y Chang (1992) señalan que el movimiento del agua en un suelo no saturado es función de su contenido de humedad, y cuyo valor para un mismo suelo, va disminuyendo a medida que el suelo va secándose.

Reconociendo la experiencia y el conocimiento local de los comunitarios de su territorio, así como considerando que la metodología es práctica y su aplicación en campo por los diferentes actores locales busca ser fácil, es de gran importancia contar con la participación e involucramiento de los actores locales en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica en las subcuencas hidrográficas.

4.1.3 Modelo propuesto para evaluar el potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas

Con base a la información colectada de las entrevistas a especialistas, técnicos y comunitarios, se construyó una tabla de contingencia (Cuadro 27) para analizar si habían diferencias significativas entre el conocimiento de especialistas, técnicos y comunitarios (local), con relación a la forma de cómo identificar en campo zonas de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. En dicho análisis se utilizó el estadístico Chi Cuadrado MV-G2, con un nivel de significancia del 95% y se plantearon la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1) que se indican a continuación:

H_0 : No existen diferencias significativas entre el criterio de los especialistas, los técnicos y los comunitarios.

H1: Existe diferencia significativa entre el criterio de los especialistas, los técnicos y los comunitarios.

Cuadro 27. Comparación de opinión de comunitarios, técnicos y especialistas por cada elemento encontrado en la identificación de zonas de recarga hídrica.

Elemento	Valor de P
Pendiente baja	0,4604
Microrelieve ondulado	0,5443
Tipo de suelo	0,7347
Cobertura Vegetal	0,6958
Tipo de roca	0,1810
Microrelieve plano y ondulado	0,1367

En el cuadro 27 se observa que para todos los elementos no hubo evidencia estadísticamente significativa para rechazar la H_0 , $P > 0,05$; esto quiere decir que tanto los especialistas, técnicos y comunitarios tienen opiniones similares en cuanto a los criterios o elementos a usar en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica (pendiente y microrelieve, tipo de suelo, tipo de roca y cobertura vegetal).

En este análisis solo se incluyeron los elementos (pendiente y microrelieve, tipo de suelo, tipo de roca y cobertura vegetal) que igualmente fueron mencionados por los tres grupos entrevistados para realizar la comparación y no todos los elementos que se aparecieron en cada grupo, lo que los comunitarios y técnicos consideran también para identificar zonas de recarga, es el uso o los usos que se les está brindando al suelo, con prácticas que favorezcan la infiltración.

Con base en el análisis de las entrevistas efectuadas a comunitarios, técnicos y especialistas de la manera cómo identificar en campo y de forma práctica las zonas potenciales de recarga hídrica o de mayor infiltración del agua en el suelo, así como de la información colectada de los diferentes métodos y/o formas para determinar recarga y el estudio de las aguas subterráneas, se logró determinar el modelo para la identificación de las zonas potenciales de

recarga hídrica, el cual se basa en el análisis práctico de cinco elementos que tienen relación directa en la determinación de zonas con altas o bajas posibilidades para que se de la recarga hídrica, es decir que las zonas potenciales de recarga hídrica son función de:

- ✍ Pendiente y micro relieve (Pen y Mic)
- ✍ Tipo de suelo (Ts)
- ✍ Tipo de roca (Tr)
- ✍ Cobertura vegetal permanente (Cve)
- ✍ Uso del suelo (Us)

Estos elementos se combinan en una ecuación lineal, basados en el modelo analítico propuesto por Schosinsky y Losilla, para determinar la infiltración (precipitación efectiva) el cual se basa en la utilización de una ecuación resultante de correlación estadística en análisis de bandas de pluviógrafo, lo cual a su vez se aplica (la suma) en el modelo propuesto por FORGAES para determinar la recarga de aguas subterráneas, así como también en los modelos propuestos por INAB para identificar las TFCRH y en la determinación de las zona de recarga hídrica natural, donde para todos los casos, se suman los coeficientes para determinar la infiltración, así como también cada uno de los elementos que integran dichos modelos (en la determinación de la infiltración, recarga y zonas de recarga); esto (la suma) se debe a que cada elemento en determinadas circunstancias favorece o no el proceso de infiltración y al sumarlos en su conjunto dan una visión más integral de como se encuentran ocurriendo en dicho proceso y no se multiplican porque no se consideran como índices que puedan determinar por separado (cada elemento) que porcentaje de lluvia se está infiltrando o no por la influencia de los diferentes elementos, esto a su vez porque la metodología no determina recarga sino las características físicas del sitio que puedan o no favorecer la recarga.

La suma de los valores obtenidos de la evaluación de cada uno de los elementos propuestos en el modelo, da un número que se ubica dentro de un rango, que indica la posibilidad para que ocurra la recarga hídrica en cada sitio evaluado. La ecuación o fórmula se describe a continuación:

$$ZR(fx) ? Pen ? Ts ? Tr ? Cve ? Us$$

Una vez que se identificaron los elementos que integran el modelo, se procedió a darle asignación de pesos relativos o ponderación a cada elemento, en función de la importancia que cada uno representa en el proceso de infiltración del agua, es decir, qué elemento favorece más la infiltración y darle mayor peso.

El método que se utilizó para realizar la ponderación y ordenar los elementos fue el análisis multicriterio, que utilizó CATIE (2006) en la ponderación de indicadores y análisis multicriterio. La ponderación se basó en la experiencia e información de extensionistas de la zona para asignarle valor a cada elemento. El método permite efectuar un análisis de los diferentes puntos de vista de los extensionistas con relación a la importancia cuantitativa de cada criterio, en función de su influencia en la infiltración.

Se utilizaron simultáneamente dos métodos sencillos para el análisis multicriterio: a) la clasificación según la importancia; b) el rateo (distribuir, repartir proporcionalmente). A continuación se explica el procedimiento aplicado para cada método.

La **clasificación** consiste en ordenar todos los elementos en una lista por orden de importancia, donde el más importante tiene la clasificación más alta y el menos importante la más baja. Por ejemplo, si hay tres criterios/elementos, el más importante tendrá valor de 3, el siguiente 2 y el menos importante un valor de 1.

El **rateo**, esta técnica consiste en que cada extensionista asigne una puntuación/calificación entre 0 y 100 a los elementos de la metodología. La suma de todos los elementos debe ser 100. Por ejemplo, siempre con los tres elementos, al más importante 50, al siguiente 40 y al último 10.

Para obtener el peso final de cada elemento se realizó el procedimiento siguiente:

Después que los extensionistas dieron a cada elemento una clasificación y un rateo, se obtiene una sumatoria por cada elemento y se procede a sumar todos los valores (de todos los elementos), para luego sacar un peso promedio de cada elemento tanto en la clasificación (Cuadro 28) como en el rateo (Cuadro 29). Una vez que se obtuvieron los pesos promedios para cada elemento por cada uno de los métodos empleados se procede a obtener un promedio entre el peso obtenido por clasificación y rateo (Cuadro 30), obteniendo así el peso relativo promedio final para cada elemento.

Cuadro 28. Método de clasificación por importancia para determinar el peso relativo de cada variable a usar

Variables	Extensionistas										Sumatoria	Peso promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Pendiente y micro relieve.	3	5	5	5	4	3	1	4	5	3	38	25,33
Tipo de suelo.	5	4	4	4	2	4	4	2	3	4	36	24,00
Tipo de roca.	1	1	2	2	5	1	2	1	2	1	18	12,00
Cobertura vegetal.	4	2	3	3	1	5	5	5	4	5	37	24,67
Uso del suelo.	2	3	1	1	3	2	3	3	1	2	21	14,00
TOTAL	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	150	100,00

Cuadro 29. Método de rateo para determinar el peso relativo de cada variable a usar

Variables	Extensionistas										Sumatoria	Peso promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Pendiente y micro relieve.	20	50	40	50	10	10	15	20	50	15	280	28,00
Tipo de suelo.	40	20	20	15	30	40	20	10	10	20	225	22,50
Tipo de roca.	5	5	15	10	20	10	15	15	10	15	120	12,00
Cobertura vegetal.	30	10	15	15	30	30	30	40	20	30	250	25,00
Uso del suelo.	5	15	10	10	10	10	20	15	10	20	125	12,50
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000	100,00

Cuadro 30. Peso relativo promedio final para cada variable a usar

Variable	Peso promedio clasificación	Peso promedio rateo	Peso promedio final
Pendiente y micro relieve.	25.33	28.00	27
Tipo de suelo.	24.00	22.50	23
Tipo de roca.	12.00	12.00	12
Cobertura vegetal.	24.67	25.00	25
Uso del suelo.	14.00	12.50	13

Con los pesos promedios finales de cada elemento, se procede a agregarlos en la ecuación, quedando de la siguiente forma:

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

Donde:

ZR = zona de recarga hídrica

Pend = pendiente y micro relieve

Ts = tipo de suelo

Tr = tipo de roca

Cve = cobertura vegetal

Us = uso del suelo

(0.27, 0.23, 0.12, 0.25, 0.13) = son los factores de peso de cada elemento con relación a su importancia, aportes o influencia en la infiltración.

El elemento que obtuvo mayor peso relativo fue la pendiente, debido a que los extensionistas consideran que a mayor pendiente la escorrentía es alta y la infiltración se reduce y el de menor peso relativo, pero no menos importante fue el tipo de roca, debido a que los extensionistas consideran que para realizar la evaluación de este elemento es necesario disponer de conocimiento básico sobre estas, para poder inferir sobre su permeabilidad.

Así mismo se puede ver que existe bastante similitud entre la opinión de los extensionistas en el nivel de importancia en la infiltración para la pendiente, cobertura vegetal permanente y tipo de suelo, es decir, que casi obtuvieron la misma ponderación o peso relativo existiendo muy poca diferencia entre ellas y considerándolos como los tres elementos más importantes en definir el potencial de recarga hídrica de una zona determinada. Es decir, que son para los extensionistas las tres características más importantes que deben tener las zonas potenciales de recarga hídrica.

Los pesos relativos asignados en la presente metodología no son absolutos para cualquier subcuenca, sino que estará en consecuencia o relación a las características de cada subcuenca y criterios de extensionistas y especialistas; así se tiene que estos pesos relativos se pueden usar al estudiar cuencas de montaña, donde la pendiente se considera como el elemento más importante en definir el potencial de recarga de alguna zona. En el caso de cuencas más planas habría que analizar y/o discutir cual de los elementos reviste de mayor importancia al definir el potencial de las zonas de recarga hídrica.

Al analizar la frecuencia de opinión (Cuadro 31) de comunitarios, técnicos y especialistas de las entrevistas realizadas a los tres grupos, acerca de los elementos o criterios que ellos utilizarían en la identificación de las zonas de recarga hídrica encontramos lo siguiente:

Cuadro 31. Opinión de especialistas, técnicos y comunitarios acerca de los elementos a usar en la identificación de las zonas de recarga hídrica

Grupo	Pendiente		Tipo de suelo suelto	Cobertura vegetal	Roca/piedra porosa	Uso del suelo que favorece la infiltración
	Plana	Ondulada				
Comunitarios	91,21%	53,85%	97,80%	91,21%	29,67%	38,46%
Técnicos	81,82%	36,36%	100%	90,91%	27,27%	36,36%
Especialistas	75%	50%	100%	100%	75%	0%

El cuadro nos muestra la frecuencia de opinión para los tres grupos consultados, encontrando que el criterio más mencionado por los tres grupos es el tipo de suelo con un promedio de opinión de 99,27%, el segundo lugar lo ocupa la cobertura vegetal con un promedio de opinión para los tres grupos de 94,04%, el tercero con mayor frecuencia para los tres grupos es la pendiente plana con un promedio de opinión de 82,68%, el cuarto elemento en orden de frecuencia es el tipo de roca con un promedio de opinión de 43,98% y el último criterio en orden o el de menor frecuencia es el uso del suelo con un promedio de opinión de 24.94%.

En cuanto al tipo de roca se puede observar (Cuadro 31) que es el criterio que tiene menor frecuencia de opinión, tanto para comunitarios como para técnicos, con porcentajes muy parecidos para ambos grupos y muy diferente a la opinión de los especialistas que lo consideran como un elemento importante en la identificación de las zonas de recarga hídrica, al estar relacionado con la recarga subterránea de los acuíferos, esto porque si el tipo de roca esta compuesta por microporos, es cementada e impermeable, el agua no podrá pasar a través de ella, dificultando o impidiendo que los acuíferos subterráneos se recarguen, lo cual genera así un flujo subsuperficial que retorna a la superficie a través de manantiales u ojos de agua.

En el cuadro 31 también se aprecia que el uso del suelo para comunitarios y técnicos es un criterio con mayor frecuencia de opinión con respecto al tipo de roca, sin embargo, los especialistas no lo mencionaron (el uso del suelo) como un elemento a considerar en la identificación de las zonas de recarga hídrica. Esto se puede deber a que tanto técnicos como comunitarios observan en campo como los diferentes usos que le brindan al suelo afectan la

infiltración y puede favorecer la escorrentía superficial, por lo que consideran que es necesario darle uso al suelo con prácticas que favorezcan la infiltración o recarga.

Existe diferencia entre los pesos relativos asignados a los elementos de la metodología (en orden de importancia que tienen en la infiltración) por los extensionistas y los porcentajes de frecuencia de opinión (Cuadro 31) de especialistas, técnicos y comunitarios en cuanto los elementos a usar en la identificación de zonas de recarga hídrica; esta diferencia se debe a que en la entrevista realizada solo se les consultaba sobre los criterios a usar en la identificación de zonas de recarga hídrica y no se les pidió que los ordenaran (los elementos) según su importancia o influencia que ellos creen tienen en la infiltración, a diferencia de lo que se le consultó y/o solicitó que hicieran (ordenar según la importancia o influencia de cada elemento en la infiltración) los extensionistas para determinar el peso relativo de cada criterio.

Dicho modelo propuesto es un método práctico para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, diseñado para ser aplicado por 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; sin embargo, hay que enfatizar que existen otros métodos que aún cuando son de mayor costo y requieren de personal capacitado, son más precisos en cuanto a determinar o identificar las zonas de recarga hídrica.

Es importante mencionar que el modelo no es una receta o que es absoluta para la identificación práctica de las zonas potenciales de recarga hídrica, sino que está sujeta a modificaciones o ajustes de acuerdo a las condiciones o características de cada subcuenca a evaluar.

Con bases en la evaluación de cada uno de los cinco elementos del modelo a través de herramientas participativas prácticas y de fácil aplicación en campo, se evalúa el potencial de recarga de las diferentes zonas identificadas, se elabora el mapa de zonas potenciales de recarga hídrica y se pueden brindar las pautas para orientar el manejo de dichas zonas identificadas, lo cual servirá como una herramienta muy importante en la toma de decisiones para la conservación, protección, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico, así como en el ordenamiento territorial, en función de garantizar la permanencia (cantidad) y calidad del agua.

La identificación de zonas potenciales de recarga hídrica ayuda también a identificar las zonas más vulnerables a la contaminación hídrica, por ser áreas de alto potencial para la infiltración.

Woolhiser, DA y Brakensiek, DL. 1982 (citado por Arguello R. 1992), afirman que los modelos utilizados en cualquier disciplina pueden ser categorizados como formales o materiales. Un modelo material es una representación física de un sistema complejo, el cual se supone es una simplificación del sistema prototipo y tiene propiedades similares al mismo. Un modelo formal o abstracto, es un modelo simbólico, usualmente una representación matemática de una situación idealizada que tienen las más importantes propiedades estructurales de un sistema real.

Ozga-Zielinska, M. (1976), citada por Arguello R. 1992, propone seis criterios mediante los cuales se pueden clasificar todos los modelos hidrológicos matemáticos existentes:

✍ Estructura del modelo y el objetivo de la modelación

Este criterio se refiere a qué parte o partes del modelo están involucradas y el nivel de abstracción del modelo. Se pueden distinguir cuatro niveles: procesos individuales, modelos de componente, modelos integrados y modelos globales.

✍ El rol del factor tiempo

Bajo este criterio los modelos pueden ser clasificados en dinámicos o estáticos. Los modelos estáticos incluyen varias ecuaciones empíricas y modelos de regresión, son independientes del tiempo. Un modelo dinámico requiere ecuaciones diferenciales teniendo al tiempo como variable independiente. Los modelos dinámicos se pueden dividir en continuos y de eventos.

✍ Valor cognoscitivo del modelo

De este criterio resultan dos categorías: modelos basados físicamente, son aquellos en que las leyes físicas que gobiernan los procesos y la estructura del modelo, son bien conocidas y pueden ser descritas por ecuaciones físicos-matemáticas. Modelos conceptuales, son aquellos donde se hace una simplificación de la conducta del fenómeno y funciones determinadas físicas y empíricamente describen los distintos subprocesos.

✍ El carácter de los resultados obtenidos

Estos pueden ser clasificados como estocásticos o determinístico. Los determinísticos se basan en la suposición de que los procesos pueden ser definidos en términos físicos sin un componente aleatorio. Es decir, que los datos de entrada son de eventos históricos y no de

eventos probables. Los estocásticos se basan en la suposición de que el flujo en cualquier tiempo es una función del flujo antecedente y un componente aleatorio.

✍ El enfoque aplicado y los métodos de solución

Los sistemas de operación pueden ser referidos como sistemas de caja negra o de caja blanca. El enfoque de caja negra, trata el sistema como un operador que transforma entradas en salidas. El enfoque de caja blanca, supone que las relaciones entre las leyes físicas y la naturaleza del sistema están bien entendidas y pueden ser sintetizadas en un sistema de operación sin recurrir únicamente a observaciones de entradas o salidas.

✍ Propiedades matemáticas de la función operadora

Bajo este criterio los modelos pueden ser clasificados como lineales o no, agrupados o distribuidos y estacionarios o no estacionarios.

Con base en el criterio cognoscitivo el modelo propuesto lo podemos clasificar como conceptual y a su vez cualitativo debido a que con relación a las diferentes cualidades o escenarios que encontremos en cada elemento (modelo propuesto), podremos clasificar el potencial de recarga de cada sitio evaluado. Atendiendo el criterio del carácter de los resultados obtenidos, podemos clasificar el modelo como estocástico debido a que no podemos intuir los resultados que obtendremos, es decir, que son función de componentes aleatorios. Finalmente de acuerdo a las propiedades matemáticas el modelo propuesto es clasificado como lineal, ya que se realiza una suma de los elementos que lo integran.

Retamal (2006) definió los criterios de identificación de las áreas prioritarias para la provisión de SEH y los índices de selección de las áreas prioritarias para PSEH de consumo humano, en función de identificar las características y/o las zonas que más favorezcan la recarga hídrica encontrando:

Criterios de identificación de las áreas prioritarias para la provisión de SEH

- ✍ Tipo de roca (F)
- ✍ Presencia de falla y fracturas (G)
- ✍ Textura del suelo (H)
- ✍ Pendiente en el área de recarga aparente (I)
- ✍ Microrelieve en el área de recarga aparente (J)
- ✍ Uso del suelo (K)
- ✍ Porcentaje de cobertura vegetal permanente (L)

- ☒ Estado de la superficie del suelo (M)
- ☒ Prácticas de manejo (N)
- ☒ Presencia de fuentes de contaminación puntual (O)

Al analizar el índice de selección de las áreas prioritarias de oferta del SEH, encontró que los expertos le dieron mayor peso relativo al porcentaje de cobertura vegetal permanente, el segundo lugar lo obtuvo prácticas de manejo, el tercer lugar el uso del suelo, el cuarto lugar el microrelieve en el área de recarga aparente, el quinto lugar el estado de la superficie del suelo, el sexto lugar pendiente en el área de recarga, el séptimo lugar textura del suelo, el octavo lugar presencia de fallas y fracturas, el noveno lugar tipo de roca y el décimo lugar lo obtuvo la presencia de fuentes de contaminación puntual.

En principio existe similitud entre los criterios identificados por Retamal (2006) y los elementos propuestos en la metodología para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, lo que se puede visualizar en el cuadro 32.

Cuadro 32. Comparación de elementos y/o criterios de ambas metodologías

Criterios de identificación de las áreas prioritarias para la provisión de SEH	Elementos para identificar zonas potenciales de recarga hídrica (ZPRH)
<ul style="list-style-type: none"> ☒ Pendiente en el área de recarga aparente ☒ Micro relieve en el área de recarga aparente 	☒ Pendiente y microrelieve, en este caso se analiza simultáneamente la pendiente y el microrelieve de la zona potencial de recarga hídrica identificada.
☒ Textura del suelo	☒ Tipo de suelo, en esta variable se analiza la textura del suelo y la capacidad de infiltración de la zona potencial de recarga hídrica identificada.
<ul style="list-style-type: none"> ☒ Tipo de roca ☒ Presencia de falla y fracturas 	☒ Tipo de roca, se evalúa la permeabilidad de las rocas, pero no se evalúa la presencia de fallas y fracturas por el alto nivel técnico que se requiere para tal efecto y porque la metodología está diseñada para ser práctica y aplicada por actores locales.
☒ Porcentaje de cobertura vegetal permanente	☒ Cobertura vegetal permanente, en esta variable se evalúa el porcentaje de cobertura vegetal permanente así como el tipo de cobertura presente en la zona potencial de recarga hídrica identificada.
☒ Uso del suelo	☒ Uso del suelo. La evaluación de esta

<ul style="list-style-type: none"> ⌘ Estado de la superficie del suelo ⌘ Prácticas de manejo 	variable considera los usos en función de los efectos que estos puedan generar en el estado de la superficie como la erosión o la compactación, lo que disminuye la infiltración, así como las prácticas de manejo que favorecen o no la recarga hídrica.
<ul style="list-style-type: none"> ⌘ Presencia de fuentes de contaminación puntual 	⌘ La propuesta metodológica no considera la presencia de fuentes de contaminación puntual, pero si se hace referencia que las zonas de recarga hídrica son áreas con alto potencial para que se de la contaminación de los acuíferos, por su alto potencial de infiltración que presentan.

Es importante destacar que los elementos del modelo propuesto como la pendiente y relieve, así como el tipo de suelo y usos del suelo, también se pueden tratar o analizar por separado y aumentar así los elementos del modelo, es decir, que dicho modelo puede disgregarse y estar conformado por más criterios; sin embargo, para efectos del presente trabajo dichos elementos los abordaremos de una forma integral o generalizada.

Al comparar los pesos relativos asignados a cada variable (orden de importancia) en ambas metodologías se obtuvo que hay tres más importantes, considerados en los dos casos (Cuadro 33):

Cuadro 33. Comparación del orden de importancia de las tres principales variables para ambas metodologías

Orden de importancia de las variables	Criterios de identificación de las áreas prioritarias para la provisión de SEH	Elementos para identificar zonas potenciales de recarga hídrica (ZPRH)
1	Porcentaje de cobertura vegetal permanente.	Pendiente.
2	Prácticas de manejo.	Cobertura vegetal permanente.
3	Uso del suelo	Tipo de suelo.

En el cuadro anterior se observa que en el único elemento que coincide al comparar los tres más importantes para ambos métodos, es la cobertura vegetal permanente, sin embargo no coinciden en el mismo nivel de importancia, ya que para Retamal (2006) ocupa el primer lugar y para la metodología propuesta en este estudio el segundo lugar. Esto se debe a que los

expertos que asignaron el peso relativo en el trabajo de Retamal (2006) tuvieron divergencias de opinión con relación a qué elementos revisten mayor importancia en la infiltración; para un grupo los elementos más importantes son los que no se pueden manejar como el tipo de roca, mientras que para otro grupo, los determinantes son los que se pueden manejar como el uso o la cobertura vegetal. En cambio los extensionistas que asignaron valor a los elementos de la propuesta metodológica del presente estudio lo hicieron solamente considerando el grado o nivel de influencia que cada uno tiene en el proceso de infiltración, sin considerar en cuales se puede tener incidencia para manejarlos y favorecer más la infiltración.

Con base en la literatura consultada se logró elaborar el cuadro 34, que presenta diferentes métodos técnicos científicos identificados para estudiar y analizar la recarga, así como identificar las zonas de recarga hídrica. Se presentan los elementos usados por cada método para realizar dichos análisis y/o evaluación, la que servirá para discutir los resultados del presente objetivo.

Cuadro 34. Métodos para el estudio de la recarga y zonas de recarga hídrica y sus elementos

Variables	MÉTODOS					
	Tierras forestales de captación y regulación hidrológica (TFCRH)	Determina la recarga de aguas subterránea (RAS)	Identificación y mapeo de potenciales zonas de recarga	Modelo analítico para determinar infiltración (Schosinski y Losilla)	Identificación de zonas de recarga hídrica (Faustino 2006)	Determinación de áreas de recarga hídrica (INAB 2003)
Recarga hídrica	X					X
Litología /geología	X		X		X	X
Balace climático		X				
Balace hídrico del suelo	X					X
Cobertura vegetal	X			X	X	X
Tipo de suelo	X	X	X	X	X	X
Pendiente	X	X	X	X	X	X
Uso del suelo	X	X			X	

Hidrología superficial			X			
Intercepción por cobertura				X		

Al comparar las variables que muestra el cuadro anterior de los diferentes métodos, con las variables que integran la propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, se observó que no existen diferencias significativas entre estas, ya que la propuesta metodológica incluye cinco de las diez variables consideradas en mayor o menor proporción por los seis métodos presentados. Esto indica que la propuesta metodológica considera dentro de su estructura, elementos del conocimiento técnico y científico en la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, cumpliendo así con el objetivo planteado de combinar el conocimiento local con el técnico y científico.

También se observó, que los elementos en los que más coinciden o que consideran igualmente los seis métodos son: el tipo de suelo y la pendiente que están presente en los seis métodos presentados, seguido por la litología/geología y la cobertura vegetal considerados por cuatro métodos y finalmente el uso del suelo que está presente en tres de los seis métodos. Estos cinco elementos son también considerados por la propuesta metodológica para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, objeto de este estudio.

Al comparar los objetivos y bases técnicas de los diferentes métodos se nota, que el método para identificar las tierras forestales de captación y regulación hidrológica (TFCRH) son delimitadas siguiendo la metodología para determinar las áreas de recarga hídrica natural y ambas se basan en el balance hídrico de los suelos. Ambos métodos y también el procedimiento propuesto por Faustino en la identificación de zonas de recarga hídrica, consideran la infiltración básica y la geología de las zonas evaluadas, lo que permite determinar la recarga hídrica en la zona no saturada y la recarga acuífera (en la zona saturada); esto es diferente a lo que se puede determinar con el método RAS, el cual, aún cuando esté diseñado para determinar la recarga de aguas subterráneas, por la naturaleza de su modelo, solamente puede determinar la recarga hídrica en la zona no saturada, ya que solamente considera los coeficientes de infiltración propuesto por Schosinski y Losilla, los que son usados para determinar precipitación que infiltra (zona no saturada) y no considera dentro de

su modelo la geología (tipo de rocas, fallas y fracturas) de la zonas evaluadas, que es lo que puede definir si la recarga es hídrica (subsuperficial) o subterránea (llega hasta los acuíferos). Dentro de los procedimientos de los métodos anteriores en todos se considera el modelo analítico de Schosinski y Losilla en la determinación de la lluvia que infiltra, es decir, la precipitación efectiva que puede efectuar una recarga hídrica o acuífera en dependencia de la geología y/o las características de la zona de estudio que favorecen la recarga. Por último, el método usado en Chihuahua en la identificación y mapeo de potenciales zonas de recarga tenía como propósito determinar la utilidad de los sistemas de información geográfica y sistemas de teledetección (imagen satelital) en la identificación de zonas potenciales de recarga, sin embargo, considera dentro de su modelo elementos importantes que también son tomados en cuenta por los otros métodos en la determinación de las zonas de recarga, como la geología, tipo de suelo y la pendiente.

4.1.4 Pasos a seguir en la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas

La metodología propuesta para la evaluación e identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica consta de 10 (Figura 19).

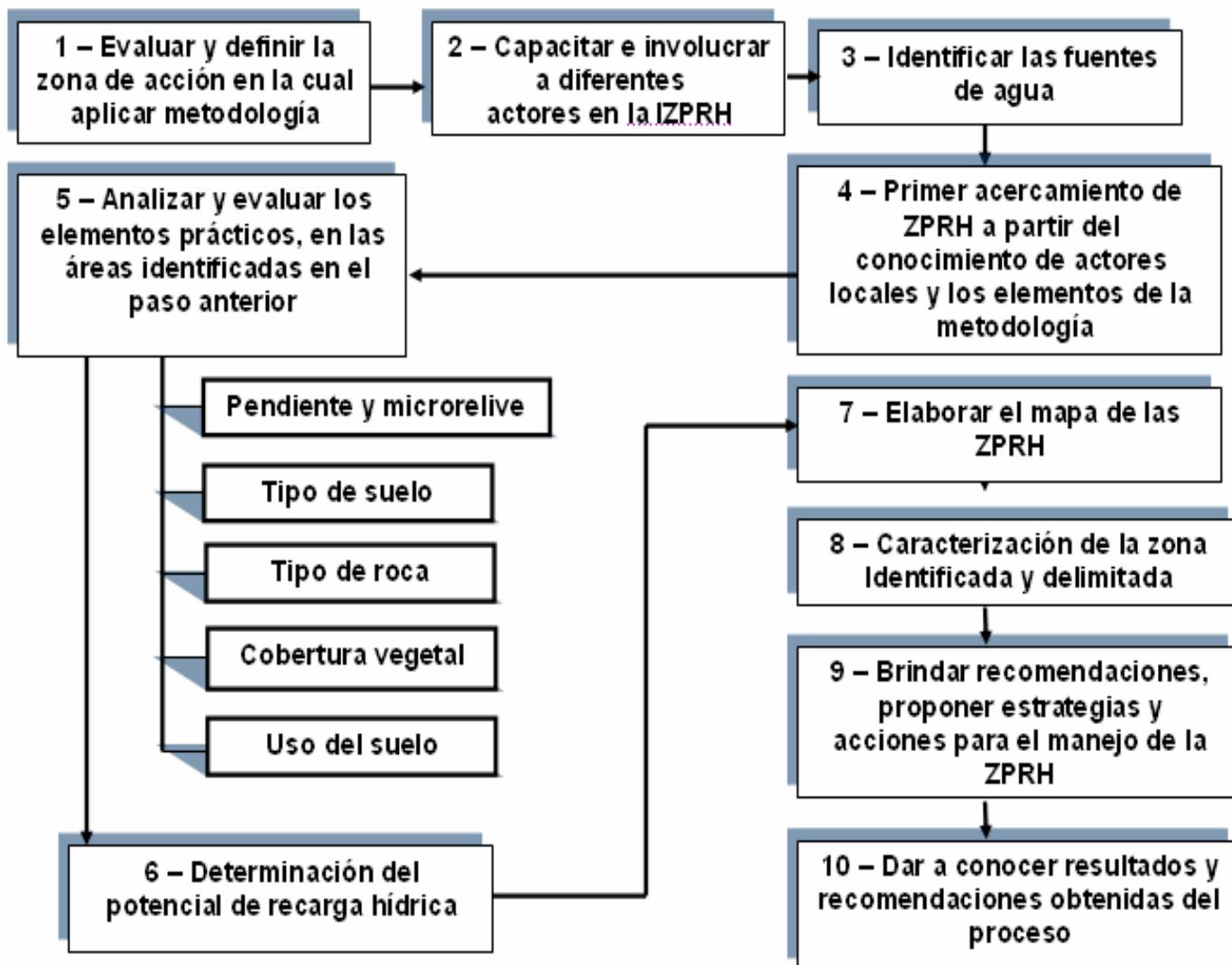


Figura 19: Flujograma de los pasos para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica.

Paso 1. Evaluar y definir la zona de acción en la cual aplicar la metodología

Como primer paso se debe evaluar y definir la zona en la cual aplicar la metodología para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica; es decir, un organismo, institución o comité de cuenca puede tener incidencia en varias microcuencas o subcuencas, por lo que el primer paso es evaluar la posibilidad y/o viabilidad de aplicar la metodología en determinada subcuenca o microcuenca, ya sea por sus características físicas, climáticas (déficit climático) o sociales, y de esta forma, definir en cuál microcuenca o subcuenca iniciarán la aplicación de la metodología o si únicamente la aplicarán en una subcuenca por alguna razón.

El BID (2002) señala que la evaluación se justifica en mejorar la toma de decisiones, tomar decisiones claves y proporcionar las bases para el proceso de planificación estratégica y que esta se realiza bajo el enfoque de generar información sobre cuatro dimensiones que son las fortalezas y debilidades, las oportunidades y amenazas, las que giran entorno de la planificación estratégica. Es decir, que la evaluación permitirá definir cuales son las áreas prioritarias o de mayor importancia de donde iniciar con la aplicación de la metodología, en función de implementar lo más pronto posible medidas correctivas, de manejo, ordenamiento o gestión, con el propósito de mejorar la disponibilidad de agua y la calidad de la misma.

Paso 2. Capacitar e involucrar a los diferentes actores locales en la aplicación de la metodología

Jimenez (2006d) describe dentro de los elementos fundamentales para el manejo y la gestión de cuencas la capacitación como el medio a través del cual se debe lograr conocimientos, habilidades, destrezas, así como el cambio de actitudes y valores favorables a la conservación ambiental, el manejo de los recursos naturales, producción sostenida, capacidad de gestión y organización local.

Las familias y las comunidades cumplen un papel protagónico y decisivo en materia de innovación de sus fincas y/o territorio; son dueños de sus recursos, incurren en riesgos y son ellos los que deben aprovechar sus beneficios. De modo que son los gestores y tomadores de decisiones al nivel de las fincas y su territorio; en esta facultad y responsabilidad, ningún extensionista, investigador o gestor político puede reemplazarlo (Prins 2005).

El propósito es que los comunitarios conozcan y se familiaricen con los conceptos y elementos básicos de la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, así como retomar sus conocimientos y experiencia práctica relacionadas al tema y de la subcuenca, a fin de facilitar la identificación de dichas zonas, ya que ellos, mejor que nadie, conocen su territorio, lo que equivale a tener una fotografía de la subcuenca.

Prins (2005) señala que los organismos y/o los técnicos deben ser facilitadores de los procesos y dejar que las comunidades asuman un papel más relevante, convirtiéndose así, en la interfase entre las mismas comunidades y los recursos naturales. Es decir, que ellos deben ser los protagonistas de los procesos de autodesarrollo que se generen dentro de su comunidad y

que conjunta y concertadamente busquen alternativas de solución a las problemáticas que enfrentan, mientras que los técnicos únicamente deben orientar a guiar dichos procesos.

Es necesario para esto que a las comunidades antes que nada se les presente los planes, las propuestas o actividades que se pretenden realizar para ser sometidas a su consideración, con el fin de cerciorarnos que se está partiendo de necesidades sentidas por la comunidad y promover con esto, que ellos se integren como protagonistas, agentes de cambio y asuman roles y compromisos concretos y claros en la búsqueda de soluciones a los problemas y necesidades verdaderamente sentidas por las comunidades.

Para el caso de la escasez y calidad del agua es un problema, tanto en las zonas rurales como urbanas, lo que se encuentra relacionado con los usos y manejo que se les está dando a las zonas de recarga hídrica. En la medida en que se conozca y entiendan las magnitudes de cómo las zonas de recarga interfieren en los procesos de cantidad y calidad del agua, las comunidades y diferentes actores estarán buscando conjunta y concertadamente, alternativas de solución para el manejo de estas áreas, partiendo básicamente por reconocer e identificar las zonas de recarga hídrica.

Paso 3. Identificación o ubicación de las fuentes de agua

La identificación o ubicación de las fuentes de agua en la comunidad se realiza a través del conocimiento local de los comunitarios que participan en la aplicación de la metodología. Para tal efecto se elabora un mapa de la comunidad donde se identifiquen las principales fuentes de agua; en la medida de las posibilidades es recomendable georeferenciar las fuentes de agua.

Localizar las fuentes de agua es el punto de partida en la identificación de 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/o por gravedad de las partes más altas a las bajas. Con ello se puede inferir que las zonas de recarga hídrica se encuentran en los sitios más elevados que las zonas de descarga (pozos, manantiales, ojos de agua).

También se tiene que considerar que el agua suele entrar por las zonas de recarga hídrica, se mueve lentamente por la zona no saturada y/o por la zona saturada y termina saliendo por las zonas de descarga, como pozos, manantiales o vertientes.

Gavande (1972) señala que el movimiento del agua ocurre cuando hay diferencias de potencial entre diferentes puntos del sistema; el agua tiende a moverse de alto a bajo potencial.

Para Vásquez y Chang (1992), los factores más importantes que influyen en el movimiento del agua en el suelo son:

- ✍ El gradiente hidráulico o fuerza motriz, que es igual a la diferencia de potencial del agua entre dos puntos del suelo, dividida por la diferencia entre los puntos mencionados o su equivalente a la distancia medida a lo largo de la línea de corriente del flujo entre esos dos puntos.
- ✍ El grado de facilidad con que el suelo permite el flujo de agua (conductividad hidráulica).

Paso 4. Primer acercamiento de las zonas potenciales de recarga hídrica a partir del conocimiento y experiencia de los actores locales, y haciendo referencia a cada uno de los elementos de la metodología.

La racionalidad campesina no es estática, ella evoluciona en el transcurso del tiempo, le surgen nuevas ideas y prioridades, acumula mayor experiencia y está bajo la influencia de nuevas fuentes de información y ofertas de tecnologías (Prins 2005). El mismo actor señala que un aspecto clave del proceso de innovación en las comunidades es la interfaz entre el saber tradicional y el moderno, y por ende en la circulación de la nueva información.

Una vez localizadas las fuentes de agua se procederá a realizar un análisis teórico de las posibles zonas de recarga en conjunto con los actores locales que se pueden encontrar por encima de las fuentes. Ello se hace con base en el conocimiento que los actores locales tienen de la zona y haciendo reseña a cada uno de los elementos metodológicos, es decir, se identificarán los lugares que teóricamente presenten las características de una zona de recarga hídrica (pendiente suave, tipo de suelo permeable, tipo de roca porosa, con cobertura vegetal, usos del suelo) subsuperficial o subterránea, para luego realizar la evaluación del sitio o de los sitios identificados, haciendo uso de herramientas o métodos prácticos que le permita a los actores locales realizar la evaluación de cada elemento del modelo propuesto.

Levasseur, *et al* (2000) al evaluar sistemas agroforestales tradicionales encontraron que las experiencias con proyectos de desarrollo anteriores han mostrado que la lógica de los

productores es algo diferente de la lógica que se encuentra detrás de las técnicas promovidas por promotores de proyectos, por lo que cualquier esfuerzo por implementar nuevas técnicas debe planearse e implementarse participativamente, es decir, considerando la lógica de actores locales. Es por esto que este primer acercamiento se basa fundamentalmente en el conocimiento que los actores locales tienen de su territorio y la experiencia que ellos tienen en el uso de los procedimientos prácticos para evaluar cada uno de los elementos del modelo propuesto; de aquí el porqué se debe involucrarlos en todo este proceso de identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.

Paso 5. Evaluación de los elementos del modelo propuesto

Se realizará una evaluación de cada uno de los elementos que integran el modelo propuesto a través de métodos prácticos y manejables por los diferentes actores que aplican la metodología, en las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas teóricamente por dichos actores en el primer acercamiento (paso anterior) a dichas zonas.

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

- a) Pendiente y microrelieve
- b) Tipo de suelo
- c) Tipo de roca
- d) Cobertura vegetal
- e) Uso del suelo

La ponderación a usar en la evaluación de cada elemento del modelo propuesto se encuentra entre 1 a 5, con base en las diferentes situaciones que se puedan encontrar dentro de cada elemento evaluado y tratando de homogenizar las categorías de puntuación a implementar. En este modelo 1 es la puntuación más baja dentro de cada elemento por presentar las características menos favorables para que ocurra la recarga hídrica y 5 la puntuación más alta dentro de cada elemento por presentar las características más favorables para la recarga hídrica.

Una vez que se evalúe cada elemento, la sumatoria de todos nos dará como resultado un número que se ubicará dentro de un rango donde se puede definir el potencial o la posibilidad de recarga hídrica de los sitios evaluados.

A continuación se presenta la forma, procedimiento y las tablas para evaluar cada uno de los elementos del modelo propuesto:

a) Pendiente y microrelieve

El relieve se refiere a las diferencias de altura, pendiente, volumen y forma de la superficie terrestre. El relieve es la configuración física de la superficie de la tierra, incluyendo las irregularidades (elevaciones, pendiente y depresiones de la tierra) al considerarlas en conjunto (Núñez 1981).

La UNESCO (1986) señala que en el relieve se pueden identificar superficies planas, cóncavas y convexas. En las superficies convexas el agua se ha movido, dispersándose hacia distintas direcciones; en las superficies planas inclinadas la trayectoria del agua ha seguido direcciones casi paralelas y las cóncavas se ha desplazado concentrándose en el lugar más bajo. Por lo tanto se puede inferir que en relieves con elevaciones altas, escarpados y de rápido escurrimiento superficial, el proceso de infiltración/recarga disminuye y se acelera el proceso de erosión de los suelos y/o compactación; esto indica que el relieve afecta de forma negativa. Por el contrario, en lugares con relieves planos, semi planos y cóncavos se favorece el proceso de infiltración/recarga hídrica al permitir un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo.

INAB (2003) señala que la topografía del suelo influye en la recarga debido al tiempo de contacto del agua con la superficie, en condiciones planas el agua cae en la superficie y su movimiento será lento lo que dará un mayor tiempo para que está infiltre, caso contrario en condiciones accidentadas el agua cae y debido a la inclinación del terreno se desplaza a mayor velocidad pasando más rápido a formar parte del agua de escorrentía.

Un elemento del relieve es la **energía del relieve**, que trata de como el agua se desplaza por la superficie del terreno con mayor o menor velocidad; donde lo hace con mayor velocidad muestra que la energía del relieve es mayor, esto coincide con los lugares en donde la inclinación del terreno también es mayor. En consecuencia la llamada energía del relieve queda expresada por las pendientes y la longitud de ella (UNESCO 1986). Es decir, que la energía del relieve y/o velocidad de escurrimiento superficial del agua es directamente

proporcional con pendientes fuertes (inclinadas) y longitud de la misma. Stadtuller (1994) señala que el potencial erosivo del agua que escurre libremente sobre la superficie del suelo depende de dos aspectos de la pendiente: el grado de inclinación y el largo de la pendiente.

La pendiente de un terreno se expresa como el grado de declive, es decir, una relación entre la distancia vertical y horizontal de dos puntos en términos porcentuales (Cubero 2001).

La pendiente que es un elemento del relieve, es por lo tanto un criterio muy importante en el análisis e identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, ya que influye sobre la recarga hídrica al estar directamente relacionada con la escorrentía superficial. INAB 2003 apunta que pendientes muy inclinadas favorecen la escorrentía superficial y las menos fuertes, retienen por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración. Schosinski y Losilla (2000) señalan que el coeficiente de infiltración aparente disminuye en 0,04 al pasar de pendientes del terreno entre 2 y 7% a superiores de 7%; es decir, que los sitios con pendientes altas/fuertes aumentan la velocidad de la escorrentía, modificando las condiciones del suelo, la recarga y susceptibilidad a la erosión, por el contrario, pendientes suaves permiten que el agua se mueva lentamente y permanezca por más tiempo en contacto con el suelo favoreciendo el proceso de infiltración.

Lo dicho anteriormente quiere decir que el análisis y evaluación de la pendiente y el microrelieve permite localizar las zonas donde se está favoreciendo el proceso de recarga.

En la determinación de la pendiente y el microrelieve se realiza un recorrido por el área, visualizando la forma del microrelieve, así como también se utiliza un método práctico y de fácil aplicación en campo para los actores locales en el cálculo de la pendiente como es el uso del **aparato A**. Ver anexo 9.

El proceso de evaluación de la pendiente se realiza a través de la siguiente matriz donde se clasifican los diferentes rangos porcentuales de pendiente y forma del microrelieve.

Cuadro 35. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica de acuerdo al tipo de pendiente y microrelieve

MICRORELIEVE	PENDIENTE (%)	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Planos a casi planos/con o sin rugosidad.	0 - 6	Muy alta	5
Moderadamente ondulados/ cóncavos	6 – 15%	Alta	4
Ondulados/cóncavos	15 – 45%	Moderada	3
Escarpados	45 – 65%	Baja	2
Fuertemente escarpados	> 65%	Muy Baja	1

La presencia de rugosidad en el microrelieve permite o genera la disminución de la velocidad del agua o escurrimiento, permitiendo que el agua se encharque o permanezca mayor tiempo en contacto con el suelo y se favorezca la infiltración/recarga.

b) Tipo de suelo

El análisis y evaluación del tipo de suelo es un elemento importante en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, porque refleja la textura, porosidad, permeabilidad o compactación de los suelos. Según Maderey (2005) entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración.

En el estudio de la recarga e identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica siempre es de gran utilidad conocer y entender las características del suelo que pueden favorecer o no la recarga hídrica (conductividad, permeabilidad, erosión y compactación) y los elementos que influyen en dichas características, como la textura del suelo, porosidad y materia orgánica.

El tipo de suelo pone de manifiesto una importante característica de las zonas de recarga hídrica como es la permeabilidad, debido a que dichas zonas son o deben ser de alta capacidad de infiltración, lo que se encuentra influenciado por las características del suelo. Es decir que en suelos con textura gruesa, porosos y por lo tanto permeables, existe alta recarga hídrica. Por el contrario en suelos de textura fina, arcillosos, pesados y compactados impiden la recarga hídrica. Esto es confirmado por Núñez (1981) quien señala que la infiltración o velocidad con que el agua penetra en la superficie del suelo, es siempre mayor en suelos de textura gruesa

(arenosa, franco arenosa, arenosa franca) que en suelos de textura fina o pesados, como los arcillosos. Schosinski y Losilla (2000) señalan que los suelos limo arenosos no muy compactados presentan mayores coeficientes de infiltración que los suelos con combinaciones de limo y arcilla y estos a su vez presentan un mayor coeficiente de infiltración que los suelos de textura arcillosa compactados e impermeables.

Al igual que la permeabilidad, la escorrentía superficial depende de las características del suelo, teniendo que los suelos más convenientes y que facilitan la escorrentía son los compactados, impermeables y sin vegetación. Otros factores son la pendiente, la humedad previa del suelo y la intensidad y duración de la lluvia (Veenhuizen 2000). Así mismo la condición de la superficie es un factor que afecta la infiltración del agua en el suelo, debido a que el mayor o menor grado de compactación y de humedad que presente la superficie del suelo, tendrá notable incidencia en su capacidad de infiltración (Segeber y villotas, 2006).

Para fines de análisis de la metodología y caracterización de las zonas potenciales de recarga hídrica, se evalúa en campo con los actores locales dos elementos que influyen en la permeabilidad del suelo como son la textura y la capacidad de infiltración. Dicho análisis y procedimientos se presenta en los anexos 10 y 11.

El proceso de evaluación de la textura del suelo se realizara a través de la siguiente matriz (Cuadro 36) donde se clasifican los diferentes tipos de textura.

Cuadro 36. 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 (mayores 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 (menor de 0.13 cm/h).	Muy Baja	1

c) Tipo de roca

El tipo de roca es un elemento importante en el estudio de la recarga, y por ende, en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica. A esto se le agrega la estratigrafía, lo que es la que estudia los estratos rocosos del perfil de la zona no saturada y saturada, nos brindan valiosos aportes en determinar los materiales geológicos que favorecen o no los procesos de recarga hídrica.

El análisis y evaluación del tipo de roca nos permite determinar si la recarga es subsuperficial (recarga hídrica) o es una recarga profunda de aguas subterráneas (acuífero), esto porque 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 el acuífero o a mayor profundidad, no habrá recarga de las aguas subterráneas, pero se formará o generará un flujo de agua subsuperficial, con un movimiento horizontal que saldrá a la superficie a través de un manantial, o alimentará a un río (INAB 2003).

Al igual que en el tipo de suelo, las características de las rocas que determinan la recarga, son la porosidad y permeabilidad de estas, ya que rocas duras con poros finos e impermeables

no favorecen la recarga; por el contrario, rocas suaves, con macroporos, fallas, fracturadas y permeable si favorecen la recarga de los acuíferos. Meléndez y Fuster (1973) señalan que la permeabilidad de las rocas depende directamente de su porosidad, es decir, de los espacios huecos que puedan existir entre los elementos que la integran, y que de estos huecos estén comunicados entre si.

Según el INAB (2003), las rocas ígneas y metamórficas no fracturadas poseen permeabilidades bajas, lo cual dificulta la recarga a los acuíferos; en cambio, las rocas ígneas y metamórficas fracturadas permiten mejor circulación de agua y por lo tanto, favorecen la recarga profunda; las arenas finas, basaltos y karst poseen, debido a su granulometría, gran cantidad de poros, a través de los cuales circula agua, facilitando la recarga y las gravas y arenas gruesas poseen poros de gran tamaño por medio de los cuales circula agua con gran facilidad y se consideran medios adecuados para la recarga de los acuíferos. Meléndez y Fuster (1973), indican que las arenas, las gravas y las calizas fisuradas son rocas muy permeables; los aluviones, en los que la arena y grava están mezcladas con arcillas y las areniscas, según su grado de cementación son algo menos permeable y las arcillas, las magas, las pizarras y las rocas eruptivas, cuando no están fracturadas son rocas impermeables.

El análisis y evaluación del tipo de roca se hace en campo con la participación, el conocimiento y experiencia de los actores locales, llevando un procedimiento que permitirá conocer la porosidad y/o permeabilidad de las rocas de una forma fácil y práctica, lo que se obtuvo del resultado de las entrevistas a técnicos, especialistas y observaciones de campo, el cual se describe en el anexo 12.

El proceso de evaluación de las características de la roca se realizará a través de la siguiente matriz donde se clasifican los diferentes tipos de permeabilidad y/o porosidad de las rocas.

Cuadro 37. 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 macro poros interconectados entre si, como arenas gruesas, piedras pómez, gravas o cascajos.	Muy alta	5
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros conectados entre si, como arenas finas, areniscas, con poca cementación.	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semi suaves, con regular conexión de poros entre si.	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, una combinación de gravas con arcillas, con presencia de fracturas conectadas entre si.	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	Muy Baja	1

d) Cobertura vegetal permanente

La cobertura del suelo es otro elemento considerado en la metodología porque es un factor importante que influye en la infiltración del agua al permitir mayor contacto con el suelo, disminuyendo la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad producto de los rayos del sol, contribuyendo con todo esto, a conservar las características del suelo que favorecen la recarga hídrica. Es importante considerar que la cobertura vegetal puede facilitar la infiltración del agua aún en los suelos duros y arcillosos. Maderey (2005) señala que con una cubierta vegetal natural aumenta la capacidad de infiltración y en caso de terreno cultivado, depende del tratamiento que se le dé al suelo.

Para el caso de superficies desnudas, el suelo se halla expuesto al impacto directo de las gotas de lluvia, lo que puede dar lugar a una compactación del mismo, con la consiguiente disminución de la infiltración. Los agregados de partículas son divididos por el agua, que arrastrará, de este modo, elementos más finos, con mayor posibilidad de penetrar hacia el interior y obstruir los poros y grietas, impidiendo o retardando la infiltración. En cambio, cuando el suelo está cubierto por vegetación las plantas protegen de la compactación por impacto de la lluvia, retardándose además el recorrido superficial del agua, que está así más

tiempo expuesta a su posible infiltración, mientras que por su parte, las raíces de los vegetales abren conductos en el suelo que facilitan la penetración del agua (Segeber y Villotas 2006).

Schosinski y Losilla (2000) señalan que los terrenos con una pobre cubierta de zacate (menos del 50%) tienen un coeficiente de infiltración levemente superior al de los terrenos cultivados, aumentando aproximadamente en 0,01 en los terrenos cultivados. Así mismo los terrenos cubiertos con zacate (más del 75%) o cubierto con bosques, tienen coeficientes de infiltración similares entre si, disminuyendo aproximadamente 0,01 en terrenos con bosques; y los terrenos cubiertos con pastizal disminuyen el coeficiente de infiltración aproximadamente en 0,02 con respecto al del bosque. Es decir que el coeficiente de infiltración es mayor en lugares cubiertos con zacate en más del 75%, las áreas cubiertas con bosque presentan mayor coeficiente de infiltración que los cubiertos con pastizales y menor coeficiente de infiltración las cubiertas con zacate en más del 75% y las áreas cubiertas con cultivos presentan menor coeficiente de infiltración que las áreas cubiertas con pastos, pero mayor coeficiente de infiltración que las áreas cubiertas con zacate en menos del 50%.

Stadtmuller (1994) señala que las cuencas cubiertas por bosques producen agua de muy buena calidad por la alta capacidad de infiltración de los suelos forestales, las bajas tasas de escorrentía superficial y la falta de erosión acelerada; siendo los suelos forestales excelentes filtros naturales para el agua.

Entre mayor sea la cobertura vegetal y cuando se presenta con más estratos en una zona, mayor será la recarga hídrica y mejor se conservan las características del suelo que también favorecen la recarga. Al hablar de estratos se pueden mencionar tres: los árboles, los arbustos y las hierbas, que garantizan una mejor cubierta vegetal, mayor materia orgánica, mayor retención de agua y mayor infiltración.

Es importante considerar también el tipo de cobertura vegetal, lo cual se hará bajo dos enfoques: el primero referido al sistema y profundidad radicular, ya que existen especies con sistemas radiculares más densos que otros, como el caso de las gramíneas macolladoras y la profundidad radicular alcanzada por las especies forestales es mayor que la de los arbustos o gramíneas, es decir que al haber diferentes tipos de cobertura vegetal existen diferentes estratos de profundidad y sistemas radiculares que de una u otra forma, intervienen en el proceso de infiltración. INAB (2003) señala que para la mayoría de las plantas las raíces que absorben agua se encuentran dentro de los primeros 30 cm del suelo (para cultivos agrícolas) y

puede alcanzar más de un metro en coberturas de bosque y cultivos perennes de frutales u otros; así mismo apunta que al aumentar la profundidad radicular, se aumenta también el rango de agua edáfica que puede ser aprovechada por la vegetación existente.

El segundo enfoque referido al tipo de cobertura vegetal es que existen especies vegetales que por sus características y/o naturaleza consumen gran cantidad de agua, como por ejemplo las de rápido crecimiento, las que demandan cantidades significativas de agua para satisfacer sus necesidades fisiológicas, por lo que es importante considerar estas características a la hora de evaluar el tipo de cobertura vegetal o cuando se recomienden plantar determinada especie en las zonas de recarga hídrica.

El análisis y evaluación de este elemento se puede realizar en campo a través de un recorrido y visualizando del porcentaje de cobertura de los diferentes usos del suelo que se encuentran permanentes y estratos presentes en la zona potencial de recarga hídrica, y aplicando el cuadro 38 de clasificación y evaluación que se elaboró para tal fin.

Cuadro 38. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica de acuerdo al 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

Nota: Al hablar de la cobertura vegetal se refiere al porcentaje del suelo ocupado por una comunidad vegetal permanente determinada.

e) Uso del suelo

El uso del suelo es el elemento más cambiante e influenciado por la actividad antrópica; se dice que al realizar un uso inadecuado del suelo se está contribuyendo a disminuir la recarga del acuífero hasta en un 50%, aumentando la pérdida del suelo por erosión hídrica o eólica y los riesgos naturales (FORGAES, sf). Stadtmuller (1994) señala que el problema de las consecuencias de la deforestación para el régimen hídrico no es tanto la remoción de los árboles sino el uso inadecuado (sobresuso) que sigue después, el cual no corresponde al uso

potencial del suelo y no incluye las medidas necesarias e indicadas para la conservación de suelos y aguas.

El uso del suelo es un elemento que establece el grado de cómo una determinada actividad o cambio de uso, influye tanto en el deterioro de sus características como la erosión y la compactación, así como en la reducción de la infiltración y/o recarga hídrica. Según Kiersch (2000), las prácticas de uso de la tierra tienen impactos importantes, tanto en la disponibilidad como en la calidad del agua; estos impactos pueden ser positivos o negativos. Para establecer las relaciones entre los usuarios del agua de la cuenca y los usos del suelo en las partes altas de estas, es importante tener una clara idea de los posibles impactos de los usos que se les están dando a las tierras, tanto sobre el régimen hidrológico (disponibilidad del agua), como sobre la calidad del agua y las escalas a las que estos impactos son relevantes.

La capa de humus condicionada por las características microclimáticas del bosque y la ausencia de un uso intensivo facilitan el proceso de infiltración e inhiben la destrucción de los agregados y el desecamiento del suelo y mejora la estructura del suelo (Stadtmuller 1994).

En este aspecto se trata de establecer los usos que por su connotación y características favorecen la infiltración del agua como sistemas silvopastoriles y/o agroforestales, el uso e incorporación de materia orgánica, asociados de cultivos entre otros y diferenciar aquellos que afectan las características de suelo favoreciendo la evaporación, la compactación y el escurrimiento superficial del agua, como agricultura intensiva sin obras de conservación de suelo y agua, la ganadería extensiva, labranza convencional con exceso uso de maquinaria, etc.

Según Stadtmuller (1994), el agua proveniente de cuencas forestales se caracteriza por el bajo contenido de sedimentos, baja turbidez, bajo contenido de organismos infecciosos, baja temperatura, así como un alto contenido de oxígeno disuelto. Es necesario mencionar un aspecto adicional y es que la presencia de bosque automáticamente significa la ausencia de usos intensivos. Así mismo señala que la ausencia de uso intensivo y de fuentes de contaminación, simplemente hace que un área boscosa aparte de sus beneficios como la alta infiltración y suelos profundos, garantice una alta calidad del agua.

El análisis y evaluación de este elemento se puede realizar en campo con la participación e involucrando a los diferentes actores locales a través de un recorrido y visualizando los

diferentes usos realizados en la zona potencial de recarga hídrica, y aplicando el cuadro 39 de clasificación y evaluación que se elaboró para tal fin, que se describe a continuación.

Cuadro 39. 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 con 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

Paso 6. Determinar el potencial de recarga de las zonas evaluadas

El sexto paso es determinar la posibilidad de recarga hídrica de las zonas identificadas, con base en los resultados obtenidos de la evaluación de cada uno de los elementos del modelo propuesto, realizado en el punto anterior. Esto se realiza sustituyendo en la ecuación cada uno de los elementos que integra el modelo con los valores respectivos obtenidos en la evaluación en campo:

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

Para determinar la posibilidad de recarga hídrica de cada zona identificada, una vez que se evalúan las características que presentan dichas zonas, considerando los elementos de la metodología y las tablas diseñadas para tal efecto (tablas de evaluación), se multiplica cada resultado por su factor correspondiente y se suman los elementos; la sumatoria de las ponderaciones alcanzadas por todos los elementos indicará un número que se ubicará dentro de un rango (Cuadro 40), determinando así, cuales son las posibilidades para que ocurra la recarga hídrica en estos sitios.

En el siguiente cuadro se presentan las posibilidades de ocurrencia de recarga hídrica con sus diferentes rangos en los que se pueden encontrar cada categoría.

Cuadro 40. 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

Este paso en la metodología determina las categorías de posibilidad de recarga. En el método para la determinación de zonas de recarga hídrica natural las categorías determinan la susceptibilidad de las áreas críticas de recarga. En la identificación de TFCRH, las categorías clasifican dichas TFCRH. Es decir, que todos los procedimientos y evaluaciones realizadas concluyen con la categorización y/o clasificación de dichas zonas.

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

El séptimo paso es la elaboración del mapa de la zona potencial de recarga hídrica identificada y clasificada según el potencial de recarga que posee, para cada fuente de agua estudiada en la subcuenca donde se aplique la metodología. Ya que el mapa muestra una representación gráfica de un territorio, se usa con el propósito de conocer mejor entorno (mundo) y constituye una fuente importante de información para usos diferentes. Los diferentes métodos técnicos y científicos (RAS, TFCRH, identificación de zonas de recarga hídrica natural, el método usado en Chihuahua, entre otros) se basan en la información contenida en los mapas para caracterizar y realizar y/o aplicar su procedimiento, en el presente estudio el mapa o la implementación de la técnica del mapa se usa para referenciar la ubicación de las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas.

En este nivel los diferentes actores locales que participan en la aplicación de la metodología elaborarán un mapa donde ubiquen la zona o las zonas potenciales de recarga hídrica dentro de su comunidad, o de las fuentes de agua que abastecen a la comunidad.

El mapa se elabora con el fin de que se deje una referencia de ubicación de las zonas potenciales de recarga hídrica, que otros actores puedan 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

El octavo paso es efectuar una caracterización de la zona identificada que contenga los resultados de la evaluación realizada, es decir, realizar una descripción de las características de la zona potencial de recarga identificada, donde se indique de la pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal permanente, usos que se le esta dando al suelo, que permita dar una idea de la zona identificada como potencial para la recarga hídrica. Eso permitirá a conocer sobre aquellas características que pueden estar afectando la recarga hídrica y que con la intervención antrópica, pueden modificarse y mejorarse, en función de favorecer la recarga; en este sentido hay características como la pendiente, uso del suelo, cobertura vegetal y en menor medida el tipo de suelo que pueden ser influenciados o modificados con la implementación de prácticas de manejo con el fin de mejorar la infiltración del agua en el suelo, y por otro lado, hay características como la geología, estratigrafía, las características propias de los acuíferos, que el ser humano no tiene influencia para modificar y mejorar las condiciones para que se dé la recarga. Es por ello que es importante realizar una caracterización y determinar cuáles características se encuentran influenciando mayormente la zona y determinar si es posible influenciarlas y mejorarlas, tratando de aumentar la infiltración del agua en el suelo.

Dentro de las características que pueden ser modificadas por el ser humano hay unas que son más influenciadas que otras, por ejemplo en el tipo de suelo y la pendiente el hombre puede modificarlas muy poco, por el contrario al uso del suelo o la cobertura vegetal son las características más cambiantes e influenciadas por acciones antrópicas. En este sentido se puede decir que las características más importantes en definir el potencial de recarga hídrica son aquellas sobre las cuales el hombre tiene influencia para modificarlas, ya sea para bien o para mal, ya que en las que no (tiene influencia) es la naturaleza de las zonas la que determina el potencial de recarga. Retamal (2006) señala que los expertos que se consultaron para determinar cuál de los criterios para identificar las áreas prioritarias para la provisión de SEH revestía mayor importancia en la infiltración, tuvieron divergencias de opinión, ya que para un

grupo los elementos más importantes son los que no se pueden manejar como el tipo de roca, mientras que para otro grupo los determinantes son los que se pueden manejar como el uso de suelo o la cobertura vegetal.

Dicha caracterización entonces dará la base que permitirá orientar, ordenar y proponer alternativas para el manejo sostenible de estas zonas de recarga hídrica identificadas, en función de mejorar la disponibilidad de agua y su calidad.

Paso 9. Proponer estrategias y acciones para el manejo de las zonas potenciales de recarga hídrica

El noveno paso es realizar recomendaciones, proponer estrategias y acciones en pro de ordenar y mejorar el uso y manejo de dichas zonas en función de garantizar la sostenibilidad de los flujos de recarga hídrica y la calidad adecuada para el consumo humano, previniendo y manejando las posibles fuentes de contaminación que se puedan generar dentro de estas áreas.

Previo a la planificación e implementación de estrategias o acciones para el manejo de zonas de recarga hídrica es de importancia considerar ciertos conocimientos sobre: a) el contexto físico, el cual se refiere a las características físicas de dicha zonas, b) el contexto referente al manejo, donde se debe conocer sobre los manejos que se les han dado y se les están brindando a 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; todo esto servirá de base y/o referencia en el proceso de planificar las estrategias de intervención, manejo, ordenamiento y gestión de las zonas de recarga hídrica.

Paredes y Guerra (2006), un informe sobre la recuperación de las zonas de recarga hídrica en las quebradas del Aliso y Encañadas en Perú describen la estrategia de implementación de cómo se produjo dicho proceso, el cual se basó en la planificación y la ejecución de medidas estructurales y no estructurales en la recuperación del acuífero, mediante mejoras en las condiciones para que ocurriera la infiltración del agua en el suelo, definido por tres componentes: el medio ambiente físico y productivo, la organización social y la institución promotora y acompañante del proceso. Es decir que a las consideraciones anteriormente descritas le podemos agregar la organización social (tipos de organización) en el territorio y

sobre como ha funcionado el acompañamiento en los diferentes procesos por medio de promotores.

Es decir que con base en la caracterización (física, de manejo, legal y organizacional) de las zonas de recarga hídrica, se pretende ordenar y orientar el manejo sostenible de estas zonas en función, por una parte, de mantener las características que presentan dichas zonas que estén favoreciendo la recarga y por otra parte, mejorar y/o recuperar las características que se han venido alterando por los malos usos y manejos que les han brindado, en función de mejorar la infiltración y/o recarga hídrica, así como la calidad del agua en la comunidad.

Faustino (2001) describe algunas de las principales estrategias para implementar planes y proyectos de manejo de cuencas o microcuencas, las que se pueden adaptar, adoptar y considerar para el manejo de zonas de recarga hídrica:

Estrategias espaciales: son aquellas relacionadas a la intervención en el espacio de la cuenca y su entorno. Las que se pueden definir en función de las zonas de recarga identificadas.

Estrategias organizacionales: son aquellas orientadas a buscar la participación y movilización social de los actores, usuarios o beneficiarios de las cuencas.

Estrategias operativas: son aquellas relacionadas con el trabajo al nivel de finca, unidad de producción, parcela, zona de recarga, área demostrativa y/o microcuenca; implica la aplicación de tecnologías y prácticas.

Estrategias financieras: son aquellas orientadas a lograr los recursos necesarios para garantizar la ejecución del proyecto y sus actividades, en el corto, mediano y largo plazo.

Estrategias políticas e institucionales: son aquellas dirigidas a lograr el respaldo para la gestión de las diferentes actividades directas e indirectas, por ejemplo las ordenanzas municipales.

Paso 10. Difusión de los resultados del proceso de aplicación de la metodología

El décimo paso es dar a conocer los resultados y recomendaciones obtenidas del proceso de aplicación de la metodología a los comunitarios, extensionistas, organismos e instituciones locales, para la cogestión de las zonas potenciales de recarga hídrica en función de unir

esfuerzos y garantizar la continuidad y calidad del recurso hídrico en la subcuenca hidrográfica.

El BID (2002) señala que el proceso de evaluación no está completo hasta que se comunica o informa de manera tangible los resultados de este, a través de un informe impreso, ya que esto le proporciona un sentido de cierre de proceso y señala que es el momento de seguir adelante, guiándose por lo que se encontró.

Es por esto que la difusión de los resultados es muy importante, ya que por una parte se está dando a conocer la ubicación de las zonas potenciales de recarga en la comunidad o subcuenca, el potencial de recarga que poseen dichas áreas, el manejo que actualmente se les está dando a estas importantes áreas y las recomendaciones a seguir en función de mantener o recuperar las características de estas zonas que facilitan la infiltración y recarga de las fuentes de agua en la comunidad.

Así mismo, el BID (2001) señala ciertas características que deben contener dichos informes de comunicación o difusión de resultados: escritos para llegar a públicos definidos específicos, cortos pero analíticos (cuan cortos y analíticos dependen del público al que estén dirigidos), que reflejen las cuatro dimensiones del desempeño (fortalezas y debilidades, oportunidades y amenazas) y proponer recomendaciones y opiniones para mejorar el desempeño.

Es decir, que con la difusión se está realizando una campaña de enseñanza, aprendizaje y sensibilización a las comunidades acerca de las zonas de recarga hídrica, de lo mal que se han manejado estas áreas, de la importancia que tienen en cuanto garantizar la cantidad y calidad del agua, y lo que se debe hacer para mantener y/o recuperar estas importantes zonas en la comunidad o subcuenca.

Con esta propuesta la metodología se ha logrado identificar e integrar los elementos técnicos para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas con métodos prácticos conocidos y manejados por los comunitarios para evaluar cada uno de estos elementos que integran la metodología, es decir, que se cumple con el presente objetivo desarrollando un método que considera, tanto elementos técnicos como el conocimiento local, en la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.

4.2 Aplicación y validación de la propuesta metodológica para identificar zonas potenciales de recarga hídrica

4.2.1 Balance hídrico climático

De las 13 estaciones meteorológicas, se obtuvieron los datos de precipitación y temperatura mensual. Con dicha información se interpolaron (método Sepline) los datos y se obtuvo el mapa de precipitación para la subcuenca. Luego con los datos mensuales de temperatura a través del método Thornthwaite se determinó la evapotranspiración (ETP) para cada estación y se obtuvo el mapa de ETP para la subcuenca. Por último, se restó del mapa de precipitación la evapotranspiración y así se obtuvo el mapa del balance climático para la subcuenca (Figura 20).

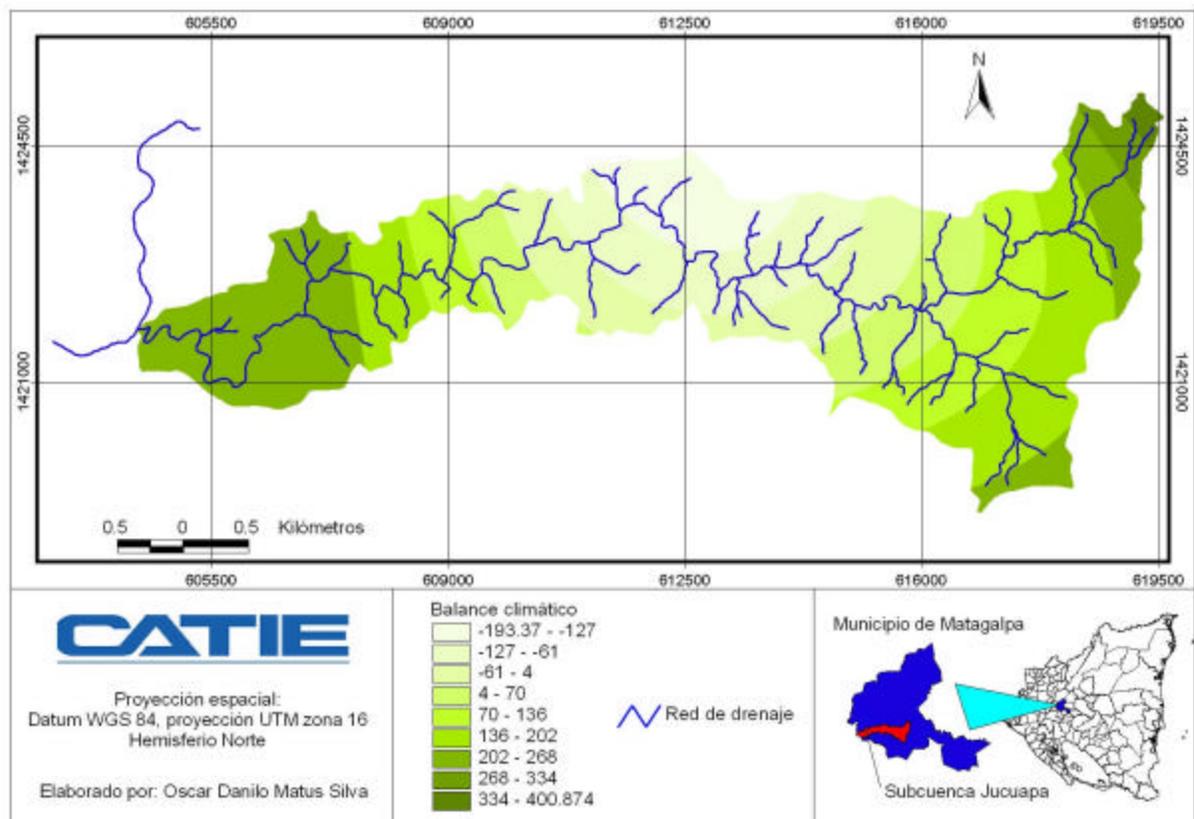


Figura 20: Mapa del balance hídrico climático de la subcuenca del río Jucuapa

En el mapa se puede apreciar que el balance climático va decreciendo de ambos extremos de la subcuenca hacia la parte media de esta; es decir, que los valores más altos se encuentran tanto en la parte alta, como en la baja, sin embargo, a la vez los valores más altos se encuentran en la parte alta de la subcuenca y los más bajos y negativos se encuentran en la parte media. Esto significa en términos de recarga, que en la parte alta y baja de la subcuenca existe mayor disponibilidad de agua para que infiltre o para que escurra y que dicha disponibilidad va disminuyendo hacia la parte media de la subcuenca, es decir que en la parte media de la subcuenca, en promedio, aparentemente no hay suficiente disponibilidad de agua para que se dé la recarga hídrica.

Es importante destacar que lo anterior no significa que en la parte media no pueda darse la recarga hídrica, ya que existen meses, semanas y/o días en los cuales las precipitaciones son mayores que la evapotranspiración, lo que significa que si puede ocurrir la recarga hídrica en dicha zona en estos meses, semanas y/o días; por otra parte, aún cuando las condiciones climáticas no sean favorables para que se de la recarga hídrica, la metodología propuesta permite identificar el potencial de las zonas evaluadas en función de sus características físicas que favorezcan la infiltración, por lo que, en la parte media de la subcuenca según el modelo propuesto (Figura 29) hay de moderadas a altas posibilidades para que ocurra la recarga hídrica, lo cual evidencia que en los meses o semanas donde las precipitaciones son mayores que la evapotranspiración en la parte media de la subcuenca si existe posibilidad de recarga.

4.2.2 Evaluación y definición de la zona de acción para aplicar la metodología

En principio se definió trabajar en la subcuenca del río Jucuapa por la incidencia que tiene el programa FOCUENCAS II, así como por las características, principalmente en cuanto a pendiente y relieve de la subcuenca, lo que permitió definir el modelo propuesto, así como su aplicación y por los problemas en cuanto a la cantidad y calidad de agua que se presenta en la subcuenca.

Debido a los problemas que enfrentan las comunidades de la subcuenca en cuanto a la cantidad y calidad de agua, el comité de cuenca del río Jucuapa, en el marco de trabajo del programa FOCUENCAS II, aprobó un subproyecto de protección de fuentes de agua en ocho fuentes seleccionadas en dicha subcuenca, el cual fue presentado y está siendo ejecutado por el

INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria), donde se trabajará en la elaboración de un plan de manejo de las zonas de recarga hídrica para cada fuente de agua.

Así la metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica se aplicó en la subcuenca del río Jucuapa ubicada en el departamento de Matagalpa Nicaragua, específicamente en ocho fuentes de agua ubicadas en las comunidades, de Nuestra Tierra, El Ocotal, El Ocote Sur, Jucuapa Centro, Jucuapa Occidental, Limixto y Jucuapa Abajo, que es el área de trabajo y acción del programa Focuecas II, el cual dentro de sus ejes de trabajo se encuentra la identificación y manejo de las zonas de recarga hídrica de la subcuenca.

4.2.3 Capacitar e involucrar a los diferentes actores en la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica

Primeramente se efectuó un taller participativo (Anexo 1) donde se brindaron los conceptos básicos sobre las zonas de recarga hídrica, algunos elementos a utilizar en la identificación de las zonas de recarga hídrica; también se brindó una presentación y explicación, paso a paso, de la metodología propuesta para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.

Lo que se busca con este paso de la metodología es que exista una participación interactiva de los diferentes actores, comités u cualquier otro tipo de organización que exista en la comunidad, que se dé este proceso de enseñanza – aplicación – aprendizaje y que sean ellos los que tomen la iniciativa en la identificación de las zonas de recarga hídrica, así como en la gestión y manejo de los recursos hídricos, es decir que sean ellos mismos los agentes de cambio dentro de su comunidad, con miras al empoderamiento y el auto desarrollo comunitario.

La aplicación de la metodología contó con la participación activa de los integrantes de los comités locales de cuenca del río Jucuapa y algunos integrantes de los comités de agua (que forman parte también del comité de cuenca) de las comunidades donde se encuentran ubicadas las fuentes de agua seleccionadas (Nuestra Tierra, El Ocotal, El Ocote Sur, Jucuapa Centro, Jucuapa Occidental, Limixto y Jucuapa Abajo), con los que se trabajó e identificaron las zonas potenciales de recarga hídrica para cada fuente de agua.

En la aplicación de la metodología ellos fueron los protagonistas activos; fue gracias a sus conocimientos acerca de la zona y a su experiencia que se logró identificar las zonas

potenciales de recarga para cada fuente, es decir, que ellos identificaron dichas zonas y también las evaluaron siguiendo el procedimiento metodológico propuesto.

En la aplicación se involucraron seis miembros del comité local de cuencas de la comunidad de Jucuapa Abajo, siete miembros del comité de la comunidad del Ocotol, cinco miembros del comité de la comunidad de Jucuapa Centro, cinco miembros del comité de la comunidad El Ocote Sur, nueve miembros del comité de la comunidad de Jucuapa Occidental, seis miembros del comité de la comunidad de Limixto y siete miembros del comité de la comunidad de Nuestra Tierra (Anexo 13).

4.2.4 Identificación de las fuentes de agua en la comunidad

La metodología se aplicó en las ocho fuentes de agua identificadas y seleccionadas (Figura 21) en el plan de protección de fuentes de agua del río Jucuapa elaborado por Martínez y Toruño (2006), con las que trabaja el programa Focuenas II y el comité de cuenca del río Jucuapa, esto como un aporte al esfuerzo conjunto del comité de cuencas, CATIE y el programa Focuenas II.

En la subcuenca del río Jucuapa, Martínez y Toruño (2006) identificaron 24 fuentes de agua, entre las que se encuentran tres quebradas, siete mini acueductos por gravedad, siete pozos naturales, seis pozos mejorados y el río que recorre la subcuenca del río Jucuapa hasta llegar a Santa Cruz (Sébaco).

De las 24 fuentes de agua identificadas seleccionaron ocho fuentes con las que trabajaron y con las que también trabaja el comité de cuencas y el programa Focuenas II, entre estas están cuatro mini acueductos, dos pozos mejorados, un pozo natural y una quebrada más mini acueducto. Los criterios para seleccionar dichas fuentes fueron, la ubicación de la fuente, tipo de fuente, uso y disponibilidad de agua en época seca y el número de familias beneficiarias.

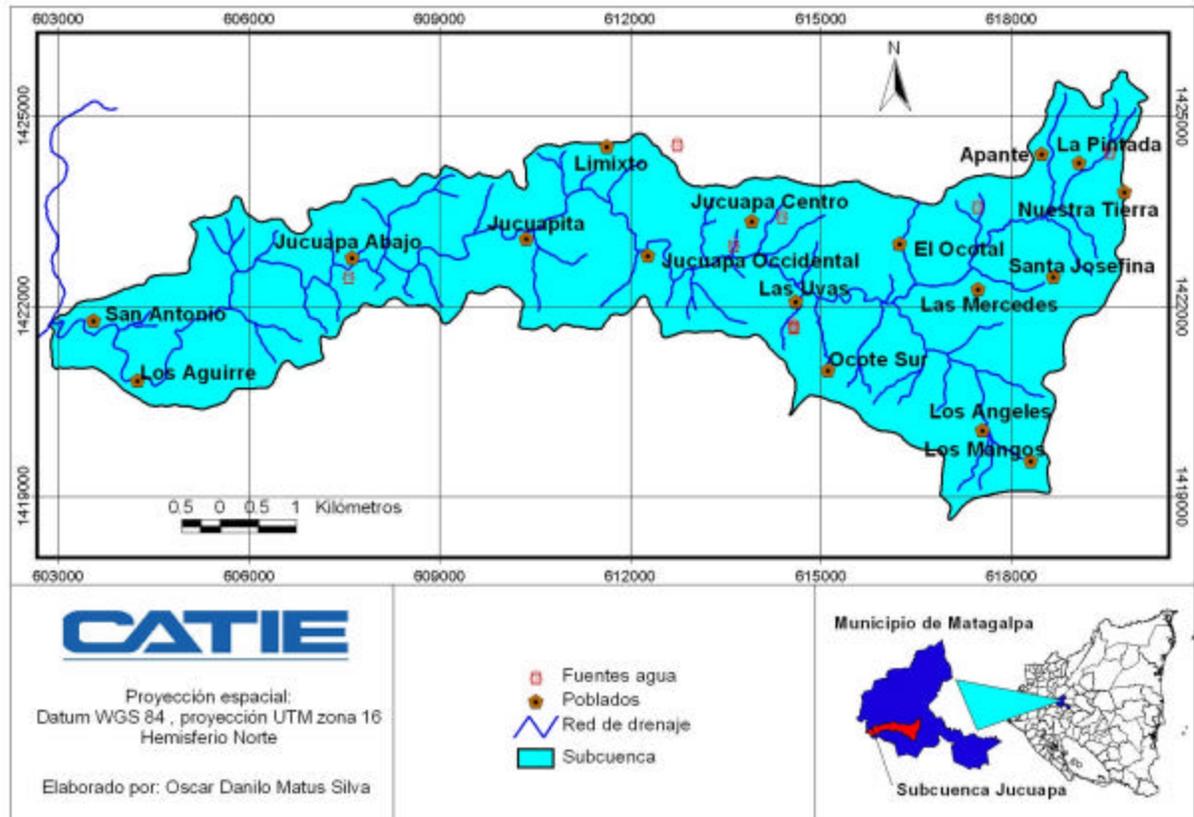


Figura 21: Fuentes de agua seleccionadas en el río Jucuapa

En los talleres donde se presentó el trabajo de tesis, se introdujeron los conceptos sobre zonas de recarga y los elementos prácticos para su identificación, los comunitarios elaboraron el mapa de su comunidad, donde ubicaron todas las fuentes de agua existentes en su territorio.

4.2.5 Primer acercamiento a las zonas potenciales de recarga hídrica a partir del conocimiento de los actores locales haciendo referencia a los elementos del modelo propuesto

Una vez que los comunitarios identificaron y localizaron las fuentes de agua con las que se trabajó, se visitó una por una, cada fuente seleccionada, donde ellos realizaron una evaluación teórica de las posibles zonas que se encontraban aguas arriba de las fuentes de agua que presentarían las características o cualidades de una zona de recarga, haciendo referencia a cada elemento de la metodología (pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, uso del suelo y cobertura vegetal permanente), según su experiencia y conocimiento, es decir, que se trataba de

identificar zonas con pendientes suaves, con tipo de suelo suelto y/o permeables, darse una idea del tipo de roca, del uso que le están dando a esa área y el área con cobertura vegetal permanente.

De esta forma se localizaron las zonas potenciales donde se pueden estar recargando las fuentes de agua, de acuerdo a las características de cada área que favorezca la infiltración; para luego en cada una de las áreas identificadas se realizó la evaluación práctica de cada uno de los elementos metodológicos.

Los comunitarios lograron identificar más de una zona potencial de recarga por cada fuente de agua seleccionada, sin embargo, no se evaluaron todas las zonas identificadas por los comunitarios, sino que solamente se evaluaba una de las zonas potenciales de recarga, con el fin de aplicar y validar la metodología.

4.2.6 Evaluación práctica de los elementos metodológicos en sitios identificados por actores locales

En este punto los comunitarios realizaron una evaluación práctica de los elementos metodológicos propuestos, utilizando las tablas de evaluación diseñadas para cada elemento, así como los métodos prácticos para que los comunitarios evalúen en campo cada criterio y poder definir, de acuerdo a las características encontradas de cada sitio, la posibilidad de recarga que posee.

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de cada sitio en las ocho fuentes de agua seleccionadas:

a) Pendiente

El proceso de evaluación de la pendiente y el microrelieve se realizó a través de un recorrido por la zona identificada, reconociendo y evaluando el relieve, y a la vez se determinó la pendiente en campo con la ayuda del aparato “A” o agronivel, que es una técnica conocida y manejada por los comunitarios en la determinación de la pendiente (Figura 22). En el anexo 7 se presenta la construcción y uso del agronivel.

En el cuadro 41 se presentan los resultados del proceso de evaluación de la pendiente y la forma del microrelieve en los diferentes sitios.



Figura 22: Cálculo de la pendiente con el agronivel

Cuadro 41. Evaluación de la pendiente por comunidad

COMUNIDAD	MICRORELIEVE	PENDIENTE (%)	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Nuestra Tierra	Moderadamente ondulados/ cóncavos	14.5	Alta	4
El Ocotal	Moderadamente ondulados/ cóncavos	10.4	Alta	4
Jucuapa Centro	Moderadamente ondulados/ cóncavos	6.81	Alta	4
Ocote Sur	Moderadamente ondulados/ cóncavos	9	Alta	4
Jucuapa Occidental	Moderadamente ondulados/ cóncavos	7.57	Alta	4
Limixto	Moderadamente ondulados/ cóncavos	12.4	Alta	4
Jucuapa Abajo	Moderadamente ondulados/ cóncavos	4.2	Alta	4

En el cuadro anterior se puede apreciar que al evaluar la pendiente, las zonas identificadas como potenciales para recarga tienen pendientes moderadamente onduladas a cóncavas, con un rango que va de 14.5% como la más fuerte hasta 4.2% la más baja, por lo que presenta alta posibilidad para que se dé la recarga en cada sitio evaluado, obteniendo todas las zonas ponderación de 4.

b) Tipo de suelo

El proceso de evaluación del tipo de suelo se realizó a través de la determinación de los diferentes tipos de textura y la capacidad de infiltración del suelo.

La textura del suelo se determinó a través de pruebas en campo al tacto (Anexo 8 y Figura 23) y la capacidad de infiltración por medio del infiltrómetro de anillo simple (Anexo 9 y Figura 24). En el cuadro 42 se presentan los resultados del proceso de evaluación del tipo de suelo y en el cuadro 43 los resultados de la evaluación de la capacidad de infiltración en los sitios evaluados.

Cuadro 42. Evaluación del tipo de suelo por comunidad

COMUNIDAD	TEXTURA Y CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Nuestra Tierra	Suelo franco	Alta	4
El Ocotal	Suelo franco arenoso	Muy alta	5
Jucuapa Centro	Suelo franco	Alta	4
Ocote Sur	Suelo franco	Alta	4
Jucuapa Occidental	Suelo franco	Alta	4
Limixto	Suelo franco	Alta	4
Jucuapa Abajo	Suelo franco arenoso	Muy alta	5

De acuerdo con la tabla anterior al evaluar la textura de los suelos se obtuvo que en cinco de los siete sitios se presenta un tipo de suelo franco (Nuestra Tierra, Jucuapa Centro, El Ocote Sur, Jucuapa Occidental y Limixto), obteniendo una ponderación general de cuatro, lo que significa que cuentan con una posibilidad alta para que ocurra la recarga hídrica en dichas zonas. Para el caso de las fuentes ubicadas en El Ocotal y Jucuapa Abajo se determinó que de acuerdo con la textura, el tipo de suelo en las zonas evaluadas es franco arenoso, alcanzando una ponderación máxima de cinco puntos, con posibilidades muy altas para que se dé la recarga hídrica en dichos sitios.



Figura 23: Determinación del tipo de suelo al tacto



Figura 24: Determinación de la capacidad de infiltración del suelo

Cuadro 43. Evaluación capacidad de infiltración

Comunidad	Infiltración (Cm/hora)
El Ocotal	66
Jucuapa Occidental	39
Limixto	46
Jucuapa Abajo	31
Jucuapa Centro	181
Nuestra Tierra	20

La prueba de infiltración no se pudo realizar en la fuente de agua ubicada de la comunidad del Ocote Sur.

De acuerdo con la evaluación para determinar la capacidad de infiltración de los suelos, se obtuvo que todos los sitios evaluados presentan muy alta capacidad de infiltración, lo que es una buena señal de la alta capacidad o del potencial de los suelos para que ocurra la recarga en los lugares evaluados. Así mismo al comparar los diferentes sitios evaluados se tiene, que la zona identificada en Jucuapa Centro es la que presenta el mayor potencial para que ocurra la recarga y el menor potencial de los sitios evaluados lo tiene Nuestra Tierra. Es importante considerar el estado de humedad del suelo al momento de la prueba, el cual para todos los casos fue muy bajo, lo que se aprecia en los resultados altos de infiltración para todos los casos. Maderey (2005) señala que la infiltración varía en proporción inversa a la humedad del suelo, es decir, un suelo húmedo presenta menor capacidad de infiltración que un suelo seco. Otro aspecto a considerar respecto a los datos obtenidos es que solamente se realizó una prueba por sitio y en un tiempo máximo de observación de 15 a 25 minutos.

c) **Tipo de roca**

El procedimiento que se siguió en la determinación de la porosidad y/o permeabilidad del tipo de roca en los diferentes sitios evaluados se describe en el anexo 12.

En el cuadro 44 se presentan los resultados del proceso de evaluación de las características de las rocas evaluadas en los distintos sitios (Figura 25).



Figura 25: Determinación del tipo de roca

Cuadro 44. Evaluación del tipo de roca por comunidad

COMUNIDAD	TIPO DE ROCA	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Nuestra Tierra	Roca moderadamente permeable	Moderada	3
El Ocotal	Roca moderadamente permeable	Moderada	3
Jucuapa Centro	Rocas permeables	Alta	4
Ocote Sur	Rocas permeables	Alta	4
Jucuapa Occidental	Rocas pocos permeables	Baja	2
Limixto	Roca moderadamente permeable	Moderada	3
Jucuapa Abajo	Roca moderadamente permeable	Moderada	3

De acuerdo con la evaluación del tipo de roca en los diferentes sitios se obtuvo que las ponderaciones están entre 2 como la más baja y cuatro como la más alta; para Jucuapa Occidental las rocas son poco permeables por lo que según este criterio existe baja posibilidad para la recarga hídrica en dicho sitio; en Nuestra Tierra, El Ocotal, Limixto y Jucuapa Abajo se encontró que el tipo de roca es moderadamente permeable y la posibilidad para que ocurra la recarga según este criterio es moderada; para Jucuapa Centro y Ocote Sur el tipo de roca es permeable con altas posibilidades de que ocurra la recarga hídrica en dichas zonas.

d) Cobertura vegetal permanente

La evaluación de este elemento se realizó en campo a través de un recorrido y visualizando la cobertura y estratos presentes en la zona potencial de recarga hídrica (Figura 26). En el cuadro 45 se presentan los resultados del proceso de evaluación del porcentaje de cobertura vegetal en los diferentes sitios evaluados.



Figura 26: Evaluación de la cobertura y usos del suelo

Cuadro 45. Evaluación para la cobertura vegetal permanente por comunidad

COMUNIDAD	COBERTURA VEGETAL	PORCENTAJE	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Nuestra Tierra	Buena	80	Alta	4
El Ocotál	Baja	45	Baja	2
Jucuapa Centro	Muy baja	20	Muy baja	1
Ocote Sur	Muy Baja	10	Muy baja	1
Jucuapa Occidental	Baja	30	Baja	2
Limixto	Moderada	60	Moderada	3
Jucuapa Abajo	Muy baja	15	Muy baja	1

El cuadro anterior muestra que al evaluar (en situ) la cobertura vegetal en las diferentes áreas, obtuvieron puntuaciones desde 1 como la más baja, a 4 la más alta; para Jucuapa Centro, Ocote Sur y Jucuapa Abajo se obtuvieron las puntuaciones más bajas, es decir, (uno), lo que significa que para esas zonas, según este criterio, la posibilidad para que ocurra la recarga es muy baja. El Ocotál y Jucuapa Occidental alcanzaron una puntuación de dos con baja cobertura vegetal y con posibilidades para que ocurra la recarga en dichas zonas bajas. En Limixto se obtuvo una puntuación de tres lo que quiere decir que cuenta con una cobertura vegetal moderada y con moderadas posibilidades para que se dé la recarga hídrica. Nuestra Tierra alcanzó la ponderación más alta (cuatro), esto significa que la zona evaluada cuenta con una buena cobertura vegetal y altas posibilidades para que ocurra la recarga hídrica.

e) **Uso del suelo**

La evaluación de este elemento se realizó en campo con la participación de los diferentes actores locales (comités locales de cuenca) a través de un recorrido y visualizando los diferentes usos realizados en la zona potencial de recarga hídrica (Figura 27). En el cuadro 46 se presentan los resultados del proceso de evaluación de los usos del suelo en las diferentes zonas identificadas y evaluadas.



Figura 27: Evaluación del uso del suelo

Cuadro 46. Evaluación para determinar el uso del suelo por comunidad

COMUNIDAD	USO DEL SUELO	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Nuestra Tierra	Bosque natural	Muy alta	5
El Ocotal	Bosque natura	Muy alta	5
Jucuapa Centro	Agrícola, con cercas vivas y barreras vivas	Alta	4
Ocote Sur	Potrero con árboles dispersos para pastoreo directo con rotación de potreros	Alta	4
Jucuapa Occidental	Potrero con rotación y árboles dispersos en potreros	Alta	4
Limixto	Bosque natural	Muy alta	5
Jucuapa Abajo	Agricultura obras de conservación de suelo	Moderada	3

El cuadro muestra que para Nuestra Tierra, El Ocotil y Limixto el uso del suelo es bosque natural, lo que significa que cuentan con muy altas posibilidades para que se dé la recarga hídrica en dichas zonas; para el caso de Jucuapa Centro, Ocote Sur y Jucuapa Occidental se identificó el uso con sistemas agroforestales y/o silvopastoriles, es decir, que de acuerdo con el uso que están dando a dichas zonas, estas cuentan con altas posibilidades para que ocurra la recarga hídrica. En Jucuapa Abajo la zona que se evaluó le están dando un uso para agricultura con obras de conservación de suelo y agua, lo que significa, que cuenta con posibilidades moderadas para que se dé la recarga hídrica.

4.2.7 Determinar el potencial de recarga hídrica en las zonas identificadas

En este punto se aplica la ecuación o el modelo propuesto para determinar la posibilidad de recarga para cada sitio identificado y evaluado por los comités de cuenca de cada comunidad y se clasifica la posibilidad de recarga.

En el cuadro 47 se muestra la ponderación de cada elemento evaluado, la puntuación alcanzada de cada sitio y la posibilidad de recarga de dichos lugares, mediante la aplicación del modelo:

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

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

$$ZR = 0.27(4) + 0.23(4) + 0.12(3) + 0.25(4) + 0.13(5)$$

$$\mathbf{ZR = 4.01}$$

El mismo procedimiento se aplica para cada sitio evaluado, para determinar la posibilidad de recarga de cada zona identificada.

Cuadro 47. 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	0.65	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
Ocote 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

De acuerdo con el cuadro 40 donde se clasifican las posibilidades de recarga y el cuadro 47 que muestra el resumen de evaluación para cada criterio, se obtuvo que las zonas identificadas y evaluadas en Nuestra Tierra, El Ocotal y Limixto presentan altas posibilidades para que ocurra la recarga hídrica, por presentar características que favorecen la infiltración del agua en el suelo. Las áreas identificadas y evaluadas en Jucuapa Centro, Ocote Sur, Jucuapa Occidental y Jucuapa Abajo tienen moderada posibilidad para que ocurra la recarga hídrica, que con un buen manejo pueden mejorar su capacidad de recarga hídrica.

4.2.8 Elaboración del mapa de zonas potenciales de recarga hídrica identificadas

Una vez que los comités locales de cuenca identificaron y evaluaron cada una de las zonas potenciales de recarga, se procedió a georeferenciar cada zona de recarga con la ayuda de GPS. Dicha georeferenciación se realizó siguiendo la conformación del relieve en función de la pendiente, es decir, que se recorría toda el área y se observaba bien la forma del relieve y la pendiente, buscando que existiera uniformidad en el área potencial de recarga en cuanto a estas características, definiendo así los límites de dichas zonas.

Con las zonas identificadas y georeferenciadas se procedió a descargar los puntos al programa ArcView GIS, donde se elaboraron los polígonos de las zonas identificadas y el mapa de las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas por los comités de la cuenca del río Jucuapa.

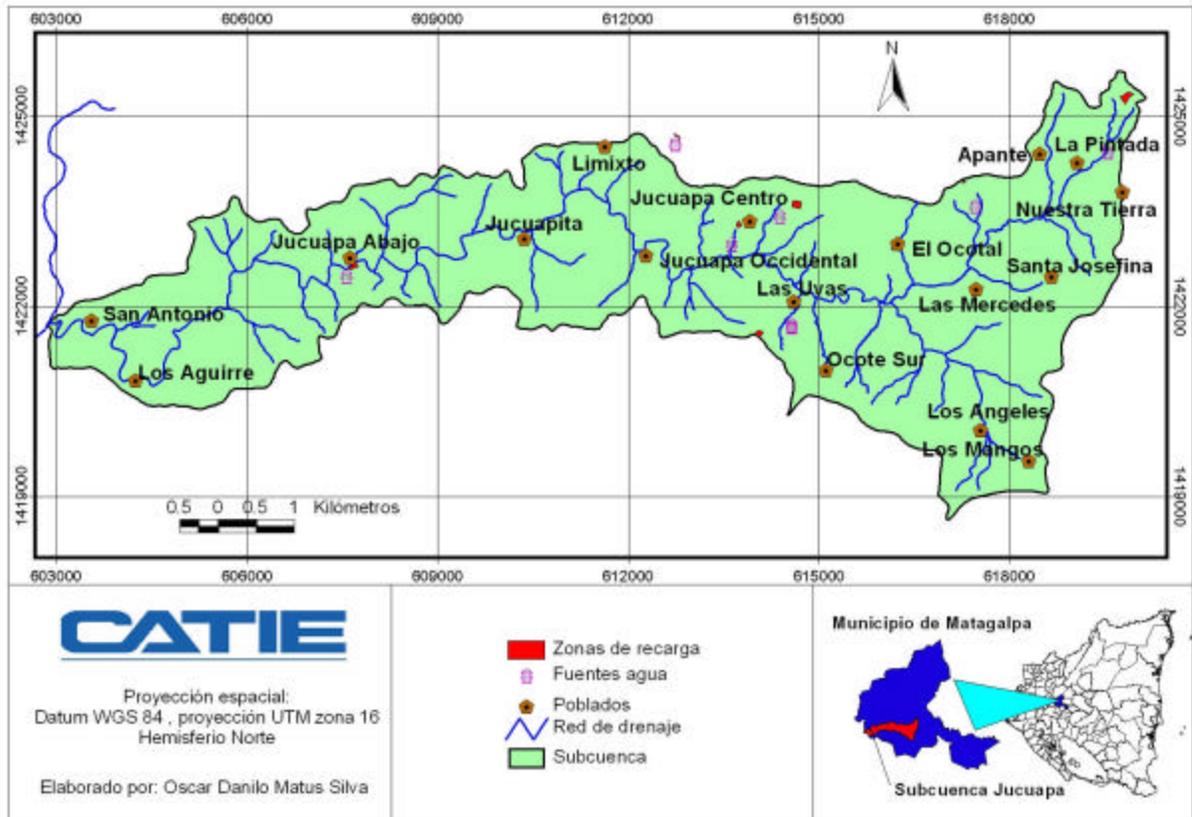


Figura 28: Zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Jucuapa

4.2.9 Caracterización del área identificada

La caracterización de las zonas identificadas se realizó con base en las evaluaciones y observaciones efectuadas durante el proceso de aplicación de la metodología y se describen a continuación.

a) Nuestra Tierra

La zona identificada y evaluada como potencial en Nuestra Tierra presenta las siguientes características:

- ✍ El relieve es moderadamente ondulado a cóncavo y la pendiente promedio de 14.5%.
- ✍ El tipo de suelo es franco, suelto y con buenas características para la infiltración del agua.
- ✍ El tipo de roca es moderadamente permeable, un poco suave, lo que significa que permite una moderada infiltración de agua a través de ella.

- ✍ Presenta una buena cobertura vegetal el suelo 80%, lo que permite que exista un mayor contacto del agua con el suelo al reducir la velocidad del agua, lo que se traduce en mayor posibilidad de infiltración.
- ✍ En el área se encuentra un bosque natural, lo que permite reducir el impacto de la gota de lluvia, mantener una buena humedad en el suelo, la hojarasca produce materia orgánica que favorece a las características del suelo para que se dé una buena infiltración del agua.
- ✍ Se pudo observar que en el área se introduce de forma no autorizada ganado bovino, para realizar actividades de pastoreo.
- ✍ Con base en la evaluación efectuada por el comité de cuenca, en todas estas características encontradas y según el cuadro 40 para determinar la posibilidad de recarga, podemos decir que dicha zona cuenta con altas posibilidades de ocurrencia de la recarga hídrica.

b) El Ocotal

La zona identificada y evaluada en esta comunidad presenta las siguientes características:

- ✍ El relieve es moderadamente ondulado con una pendiente promedio de 10.4%, lo que significa que esta característica permite que exista una buena posibilidad de recarga, al permitir que haya un mayor contacto del agua con el suelo y una baja proporción de escurrimiento superficial.
- ✍ Se presenta un tipo de suelo franco arenoso donde se dan altas tasas de infiltración, pero que también se pueden dar altas posibilidades de amenaza de contaminación y de erosión.
- ✍ El tipo de roca es moderadamente permeable, semi suaves y con moderadas posibilidades para que permitan la infiltración del agua a través de ellas.
- ✍ El área presenta una baja cobertura vegetal permanente, es decir, alrededor de un 45%, por lo que las posibilidades de infiltración se ven reducidas y los suelos son propensos a la erosión.
- ✍ Se observó que el área es de bosque natural, con regeneración sin manejo, lo que facilita la infiltración del agua al mantener buena humedad, producción de hojarasca y materia orgánica y el sistema radicular a diferentes profundidades.
- ✍ Con base en la evaluación efectuada por el comité de cuenca, en las características encontradas y según el cuadro 40 para determinar la posibilidad de recarga, se obtuvo que dicha zona cuenta con altas posibilidades para que ocurra la recarga hídrica.

c) Jucuapa Centro

La zona identificada y evaluada en esta comunidad presenta las siguientes características:

- ✍ Relieve moderadamente ondulado a casi plano con una pendiente promedio de 6.81%, con altas posibilidades para que se dé la recarga hídrica al permitir mayor contacto y permanencia del agua con el suelo y menor escurrimiento superficial.
- ✍ El tipo de suelo es franco, suelto, poroso, es decir con altas posibilidades para que ocurra la infiltración del agua.
- ✍ El área presenta un tipo de roca permeable, suave, porosa, lo que le da buenas propiedades para la infiltración del agua.
- ✍ El área cuenta con muy poca cobertura vegetal, es decir, alrededor del 20%, por lo que la posibilidad para que se dé la infiltración es muy baja, favoreciendo el escurrimiento superficial.
- ✍ La zona identificada la utilizan principalmente para agricultura de subsistencia, lo que puede favorecer la compactación de capas un poco profundas sino se realizan actividades de subsolación, aunque las capas superficiales por ser cultivadas presentan características que favorecen la infiltración; también se observan algunas obras de conservación de suelo como cercas vivas y barreras vivas.
- ✍ Con base en la evaluación efectuada por el comité de cuenca, considerando las características de la zona evaluada y según el cuadro 40 para determinar la posibilidad de recarga, se puede decir que esta cuenta con una moderada posibilidad para que ocurra la recarga hídrica.

d) El Ocote Sur

La zona identificada y evaluada como potencial para que se dé la recarga hídrica en Ocote Sur presenta las siguientes características:

- ✍ El relieve es moderadamente ondulado, con una pendiente promedio de 9%, presentando altas posibilidades para que se dé la infiltración del agua y disminuyendo la escorrentía superficial.
- ✍ El tipo de suelo es franco, con buena porosidad, permeable y buenas posibilidades para que ocurra la infiltración.

- ✍ Las rocas presentan características de ser permeables, suaves, lo que facilita la infiltración del agua a través de ellas, favoreciendo la recarga de los acuíferos.
- ✍ En la zona evaluada la cobertura vegetal permanente es muy baja, con un 10% del área total, lo que afecta el proceso de infiltración, es decir, que disminuye la posibilidad de recarga, al estar el suelo desprotegido, favoreciendo la erosión y afectando las características del suelo que favorecen la infiltración del agua.
- ✍ En la zona se realiza pastoreo directo y rotación de potreros, se observan árboles dispersos por el área y siempre está cubierto con pasto, por lo que se puede decir que existen moderadas posibilidades para la infiltración, al estar siempre con cobertura y los árboles con las diferentes profundidades de las raíces favorecen el proceso de infiltración del agua en diferentes estratos del suelo y subsuelo.
- ✍ Con base en la evaluación efectuada por el comité de cuenca, considerando las características de la zona evaluada y según el cuadro 40 para determinar la posibilidad de recarga, tenemos que esta cuenta con una moderada posibilidad para que ocurra la recarga hídrica.

e) Jucuapa Occidental

La zona identificada y evaluada como potencial para que se dé la recarga hídrica en Jucuapa Occidental presenta las siguientes características:

- ✍ El relieve es moderadamente ondulado, con una pendiente promedio de 7.5%, lo que permite que haya un buen contacto del agua con el suelo, favoreciendo la infiltración y limitando la escorrentía superficial.
- ✍ Se encontró que el tipo de suelo es franco, con buenas características (suelto, poroso, con materia orgánica) que lo hacen permeable y favorecen la infiltración del agua.
- ✍ El tipo de roca es poco permeable, moderadamente duras, lo que reduce la infiltración y/o con bajas posibilidades para que haya recarga por dificultar el paso del agua a través de ella.
- ✍ La zona presenta una baja cobertura vegetal permanente con un 30% del área total, por lo que la posibilidad de recarga se reduce, por estar el suelo un tanto desprotegido contra la erosión y la evaporación.

- ✍ En el área hay potreros con pastos tradicionales de la zona, existen árboles dispersos, realizan un pastoreo directo con rotación de potreros y siempre está cubierto con zacate natural, por lo que las posibilidades para que ocurra la infiltración son altas.
- ✍ Con base en la evaluación efectuada por el comité de cuenca, considerando las características de la zona evaluada y según el cuadro 40 para determinar la posibilidad de recarga, las posibilidades para que se dé la recarga hídrica en el área son moderadas.

f) Limixto

La zona identificada y evaluada como potencial para que se dé la recarga hídrica en Limixto presenta las siguientes características:

- ✍ El relieve es moderadamente ondulado, con una pendiente promedio de 12.4%, presentando buenas posibilidades para la infiltración del agua, al permitir un buen tiempo de contacto del agua con el suelo.
- ✍ En cuanto al tipo de suelo este es de tipo franco, lo que significa que cuenta con buena permeabilidad para que se dé la infiltración del agua en el suelo y pueda penetrar hacia capas más profundas.
- ✍ El tipo de roca que se identificó en el área es moderadamente permeable, un poco suave, y un poco porosa, lo que permite una moderada infiltración del agua a través de ella, favoreciendo el proceso de recarga hídrica.
- ✍ La cobertura vegetal permanente del área identificada es moderada, con 60% del área total, lo que le da a la zona una moderada posibilidad de ocurrencia para la recarga hídrica, por la humedad que pueda mantenerse en el área y la producción de hojarasca para generar materia orgánica.
- ✍ En el área hay presencia de un bosque natural, sin manejo de la regeneración, lo que permite que haya una muy buena posibilidad para que ocurra la recarga hídrica, debido al sistema radicular en sus distintas profundidades, la producción de materia orgánica y la protección del follaje al impacto de la gota de lluvia, aunque esto también brinda un porcentaje de intercepción del agua que nunca llega a estar disponible para la infiltración o el escurrimiento superficial.
- ✍ Con base en la evaluación efectuada por el comité de cuenca, considerando las características de la zona evaluada y según el cuadro 40 para determinar la posibilidad de recarga, esta área cuenta con altas posibilidades para que ocurra la recarga hídrica.

g) Jucuapa Abajo

La zona identificada y evaluada como potencial para que se dé la recarga hídrica en Jucuapa Occidental presenta las siguientes características:

- ✍ El relieve es casi plano, con una pendiente promedio de 4.2%, lo que da buen tiempo de contacto entre el agua y el suelo, con poco escurrimiento y con muy buenas posibilidades para la recarga hídrica.
- ✍ Se identificó un tipo de suelo franco arenoso, lo que facilita que el proceso de infiltración, por sus características de presentar textura gruesa y bastante permeabilidad.
- ✍ El área cuenta con un tipo de roca moderadamente permeable, un poco suave y poco porosa, es decir que permite una moderada infiltración del agua a través de ella y una moderada posibilidad de recarga.
- ✍ La zona cuenta con una muy baja cobertura vegetal permanente (15% del área total), lo que se traduce en que haya muy bajas posibilidades de recarga hídrica, ya que el suelo está desprotegido y propenso a ser afectado por la escorrentía superficial y erosión, lo que afecta las características del suelo que favorecen la infiltración del agua.
- ✍ En la zona se encuentran realizando actividades de agricultura con algunas obras de conservación de suelos como barreras vivas, acequias, hay árboles frutales dispersos y cercas vivas, todo esto contribuye a que existan condiciones favorable para que ocurra la recarga hídrica, por lo que el área cuenta con moderadas posibilidades para que se dé la recarga o infiltración del agua.
- ✍ Con base en la evaluación efectuada por el comité de cuenca, considerando las características de la zona evaluada y según el cuadro 40 para determinar la posibilidad de recarga, esta área cuenta con una moderada posibilidad de ocurrencia de la recarga hídrica.

4.2.10 Estrategias y acciones para el manejo de las zonas identificadas

Este punto se discutirá con mayor detalle en el tercer objetivo donde se presentarán la estrategias y/o acciones para el manejo de las zonas de recarga hídrica.

4.2.11 Dar a conocer los resultados de la aplicación de la metodología a los diferentes actores y autoridades locales

Este punto se refiere a la difusión de los resultados obtenidos del proceso de aplicación de la metodología a las diferentes instancias locales; para efectos del estudio se espera que una vez que la metodología sea aprobada por el comité evaluador, se realice una presentación al comité de cuencas del río Jucuapa, representantes de los diferentes comités locales, universidades y gobierno local en el departamento de Matagalpa, Nicaragua.

Según la opinión de los comités locales de cuenca de la subcuenca del río Jucuapa, para poder ellos aplicar la propuesta metodológica primeramente necesitan contar con el acompañamiento técnico y luego ellos podrán aplicarla por si solos, sin el acompañamiento técnico, esto como parte de un proceso de adopción de la metodología.

Así mismo mencionaron la necesidad de contar con un manual muy práctico, claro, con un lenguaje sencillo y bien ilustrado que los guíe paso a paso en la aplicación de la propuesta metodológica, con este manual y la facilitación técnica un par de ocasiones podrán por si solos aplicar la misma. También mencionaron la necesidad de que primeramente se les brindara una capacitación sobre el manual y/o la aplicación.

Al comparar los procedimientos para determinar las zonas de recarga hídrica de la propuesta metodológica con el método RAS usado para determinar la recarga de las aguas subterráneas, el método usado en el desierto de Chihuahua para la identificación y mapeo de potenciales zonas de recarga, el modelo analítico de Schosinski y Losilla para determinar infiltración y el método para determinar las áreas de recarga hídrica propuesto por INAB se encontró lo siguiente (Cuadro 48):

Cuadro 48. Comparación de procedimientos entre la metodología propuesta y otros métodos

Elementos de comparación	Metodología propuesta para identificar zonas potenciales de recarga hídrica	Otros métodos para determinar recarga e identificar zonas de recarga hídrica
Información	Ofrece una alternativa al no disponer de suficiente información técnica, ya que se puede trabajar con la información y conocimiento que los actores locales manejan, facilitando la aplicación en cualquier microcuenca o subcuenca.	Se necesita disponer de mucha información técnica de la zona de estudio, que en muchas ocasiones no se cuenta con dicha información, lo que limita aplicar dichos métodos.
	Por su carácter práctico no se requiere procesar la información con la que se dispone para generar otra, basta con la que se dispone de los actores locales.	A partir de la información disponible es necesario procesar más la información para generar otra información y aplicar los métodos, por ejemplo con los datos de precipitación es necesario elaborar mapas de precipitación.
	Debido al bajo nivel de complejidad no se requiere contar con capas de mapas de las microcuencas o subcuencas para aplicar la metodología. Se cuenta con el conocimiento de los actores locales acerca de la zona de estudio que equivale a una fotografía o mapa de la zona.	Para aplicar estos métodos es necesario contar con capas de mapas (tipo de suelo, precipitación, infiltración, geología, uso del suelo, etc.) que es información básica para aplicar dichos métodos.
Complejidad	Gracias a lo práctico y bajo nivel de complejidad de la metodología no es necesario contar con la ayuda de programas complejos como el ArcView GIS para generar y/o procesar la información.	Es necesario usar el programa ArcView GIS para realizar un cruce o transposición de los mapas temáticos (tipo de suelo, precipitación, geología, etc.) y así procesar y generar información.
	Por su connotación práctica, de baja complejidad y la participación de actores locales no se necesita contar con personal capacitado en programas complejos, porque los procedimientos para evaluar cada elemento de la metodología son prácticos y manejables para los actores locales. Sin embargo, es necesario contar con la facilitación técnica de los procedimientos en un inicio como parte de un proceso de adopción y apropiación de la metodología.	Se requiere contar personal capacitado que maneje el programa ArcView GIS y todos los procedimientos técnicos para generar la información básica de cada método y evaluar cada elemento de los métodos.
	Por ser un método práctico y aplicado en campo por los actores locales se hace complicado aplicar la metodología en subcuencas grandes y no es factible aplicarla en cuencas hidrográficas por el tamaño de estas. Es una alternativa para ser aplicada en microcuencas y subcuencas hidrográficas que no se encuentran bien instrumentadas y no se puedan aplicar métodos técnicos-científicos.	Estos métodos son fácilmente aplicables en cuencas grandes, que por lo general son las que se encuentran bien instrumentadas y se lleva bastante información. Al contrario en microcuencas o subcuencas pequeñas es un poco complicado debido a que estas no se encuentran bien instrumentadas y no se cuenta con suficiente información para aplicar dichos métodos.
Participación	Es un método que trata de combinar elementos técnicos (científico-técnico) con el conocimiento local de las comunidades y	Son métodos que por su connotación técnico y científico no consideran el conocimiento local de las comunidades, por

	métodos prácticos y manejables por los actores locales en la evaluación de cada elemento del modelo propuesto.	lo que dichos métodos no pueden ser aplicados por actores locales, comités de cuencas, sino solamente personal capacitado.
	Al involucrar a diferentes actores de la comunidad en la aplicación, facilita que estos tomen conciencia, vean como se están manejando estas áreas y que asuman roles y responsabilidades concretas en el manejo de estas áreas.	Son métodos científicos-técnicos que no involucran a los actores locales en su aplicación, lo que dificulta que los comunitarios asuman responsabilidades y roles mas activos en mejorar el manejo de dichas zonas.
Precisión	Los procedimientos para evaluar cada elemento son técnicos, pero menos precisos que los usados por los otros métodos. Así por ejemplo para determinar el tipo de suelo se utilizan pruebas de campo a través del tacto para textura.	Los procedimientos para determinar y evaluar cada elemento de dichos métodos son técnicos y precisos, por ejemplo utilizan mapas de tipos de suelo, que son elaborados a partir de métodos científico-técnicos.
	El nivel de precisión es más bajo que los otros métodos técnicos-científicos en identificar las zonas de recarga. Por lo que el método propuesto evalúa el potencial o posibilidad para que ocurra la recarga en los sitios identificados.	De contar con la información necesaria para aplicar los procedimientos son métodos que proporcionan información bastante acertada acerca de la recarga y las zonas de recarga.
Costo económico	Es un método más barato en su aplicación que los otros métodos.	Se necesita de suficiente recursos económicos para aplicar dichos métodos.

4.2.12 Validación del modelo propuesto

La validación del modelo propuesto consistió en elaborar mapas con la información disponible y hacer un análisis comparativo de las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas por los comunitarios (Figura 28), el mapa de potencial de recarga utilizando el mismo modelo propuesto y aplicándolo con la ayuda del programa ArcView (Figura 29) y el mapa de recarga hídrica según el método RAS (Figura 30) de la subcuenca río Jucuapa.

En el análisis y comparación es importante considerar las particularidades de los métodos; por una parte el modelo propuesto solo considera las características físicas (pendiente, tipo de suelo, uso del suelo, tipo de roca y cobertura vegetal) en función de cómo estas favorecen o no en el proceso de infiltración del agua y el método RAS considera características climáticas como la precipitación y la evapotranspiración, así como un coeficiente de infiltración integrado por la pendiente, tipo de suelo y cobertura vegetal.

4.2.12.1 Mapa del potencial de recarga hídrica según modelo propuesto

En la elaboración del mapa para determinar el potencial de recarga de la subcuenca se utilizaron las unidades de mapeo tipo de suelo, usos del suelo del cual también se derivó la cobertura vegetal, geología y pendiente; cada una de las cuales fue evaluada según las tablas propuestas en la metodología para evaluar cada elemento (unidad de mapeo) y por último, con la ayuda de la herramienta “Map Calculador” del programa “ArcView”, se aplicó el modelo propuesto, obteniendo así el mapa de potencial de recarga de la subcuenca (Figura 29).

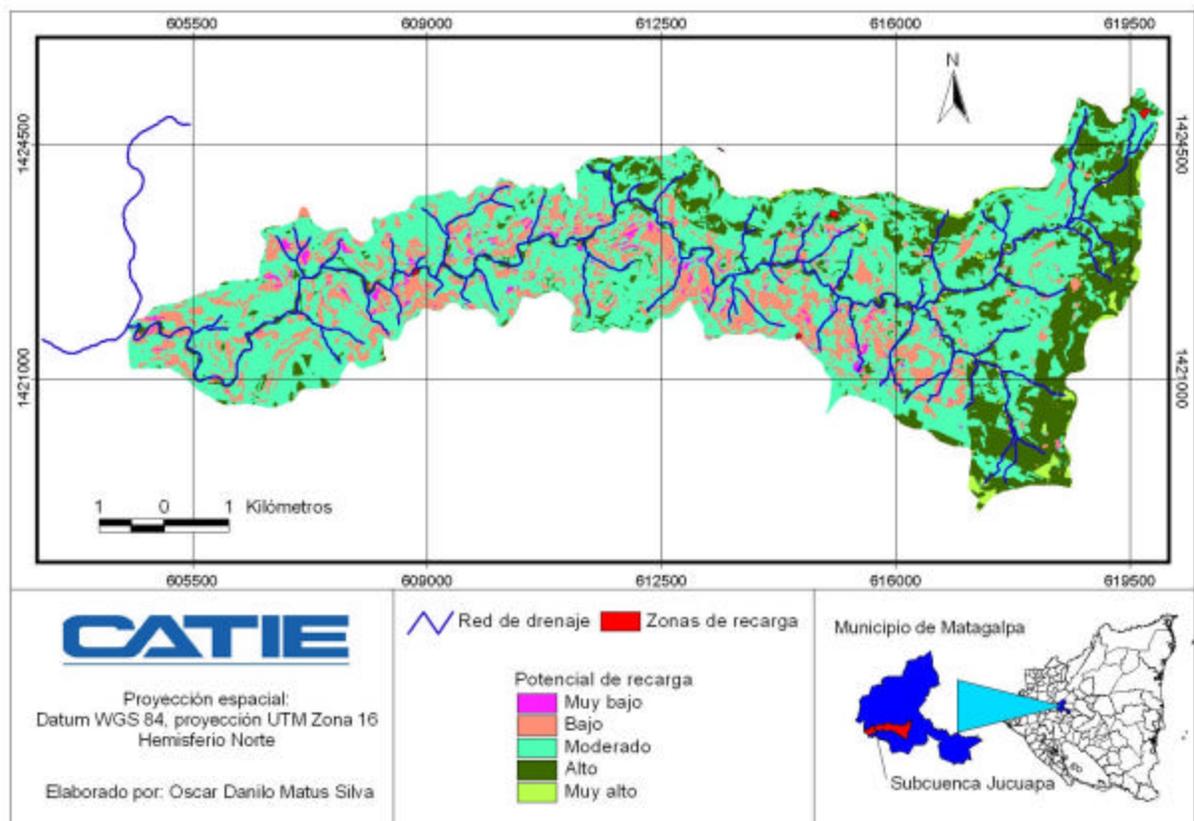


Figura 29: Mapa de potencial de recarga hídrica de la subcuenca del río Jucuapa (método propuesto)

En el mapa anterior se puede apreciar, al aplicar el modelo propuesto, que en la subcuenca existen las cinco categorías de posibilidad de recarga, de las cuales, en la subcuenca predomina una moderada posibilidad para que ocurra la recarga con un 59,40% del área total, seguida por una alta posibilidad de ocurrencia de recarga con un 21,01% del área total, luego se encuentra una baja posibilidad de ocurrencia de recarga con un 16,72% del área total, en

cuarto lugar está una muy alta posibilidad de ocurrencia de recarga con 1,64% del área total y el 1,22% del área total de la subcuenca cuenta con una muy baja posibilidad para que ocurra la recarga hídrica. Es decir que la subcuenca por sus características físicas se clasifica como buena para que ocurra la recarga hídrica o la infiltración del agua en el suelo, al encontrarse un 80.41% del área total entre categorías de moderada y alta posibilidad de ocurrencia de recarga hídrica. Dicho de otra manera la cantidad de agua que precipita y queda disponible en la subcuenca tiene de moderadas a altas posibilidades para que infiltre y recargue los acuíferos.

Al comparar el mapa de potencial de recarga (Figura 29) con el mapa del balance climático (Figura 20), se nota que la parte alta de la subcuenca cuenta con las mayores disponibilidades de agua, ya sea para que infiltre y recargue o para que escurra (según el balance climático) y según el mapa de potencial de recarga, la parte alta de la subcuenca cuenta con una moderada a alta posibilidad para que ocurra la recarga hídrica; es decir, que gran parte del agua que precipita y se encuentra disponible en la parte alta de la subcuenca de acuerdo a sus características físicas cuenta con altas a moderadas posibilidades para que infiltre y recargue los acuíferos de la subcuenca.

Al comparar las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas por los comunitarios (Figura 29), así como la clasificación de su potencial de recarga que obtuvieron de la evaluación efectuada (por comunitarios) con el mapa de potencial de recarga de la subcuenca elaborado con la ayuda del programa ArcView y aplicando el mismo modelo propuesto, se encontró bastante concordancia y/o similitud en dicha clasificación como lo muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 49. Comparación posibilidad de recarga de la subcuenca efectuada por comunitarios y la realizada con ayuda del programa ArcView (modelo propuesto)

Comunidad	Posibilidad de recarga evaluada por comunitarios	Posibilidad de recarga evaluada con el programa ArcView (modelo propuesto)
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

El cuadro anterior muestra la coincidencia al aplicar el modelo propuesto de dos formas distintas, encontrando similitud en los resultados obtenidos, lo que evidencia la validez del modelo y procedimientos para identificar las zonas y evaluar su potencial de recarga hídrica de forma participativa con actores locales. Sin embargo, es de importancia destacar que las escalas de comparación no son semejantes, ya que, por un lado los comunitarios identifican las zonas de recarga para fuentes de agua, las que son zonas pequeñas (polígonos rojos figura 29), mientras que el mismo modelo aplicado con la ayuda de unidades de mapeo y el programa ArcView, identifican las zonas de recarga a nivel de la subcuenca. Por lo que en aplicaciones futuras para mejorar la escala de comparación se podrían tomar o evaluar más puntos distribuidos en las diferentes partes de la subcuenca y/o fuentes de agua, lo que dará mayor número de polígonos y una mejor comparación o precisión y por consiguiente mayor validez de los resultados.

4.2.12.2 Mapa de recarga hídrica según el método RAS

Para elaborar el mapa de recarga hídrica de la subcuenca haciendo uso del método RAS, primeramente se elaboraron las unidades de mapeo precipitación y evapotranspiración a partir de información obtenida de 13 estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca; con dichas unidades de mapeo se procedió a estimar el balance hídrico climático, para lo cual se restó del mapa de precipitación el mapa de evapotranspiración con la ayuda del programa ArcView; luego haciendo uso de las tablas propuestas en el método se evaluaron las unidades de mapeo

pendiente, tipo de suelo y uso del suelo para determinar el coeficiente de infiltración para la subcuenca y por último con toda la información lista se procedió a aplicar el modelo del método RAS, con la ayuda del programa ArcView, obteniendo así el mapa de recarga para la subcuenca (Figura 30).

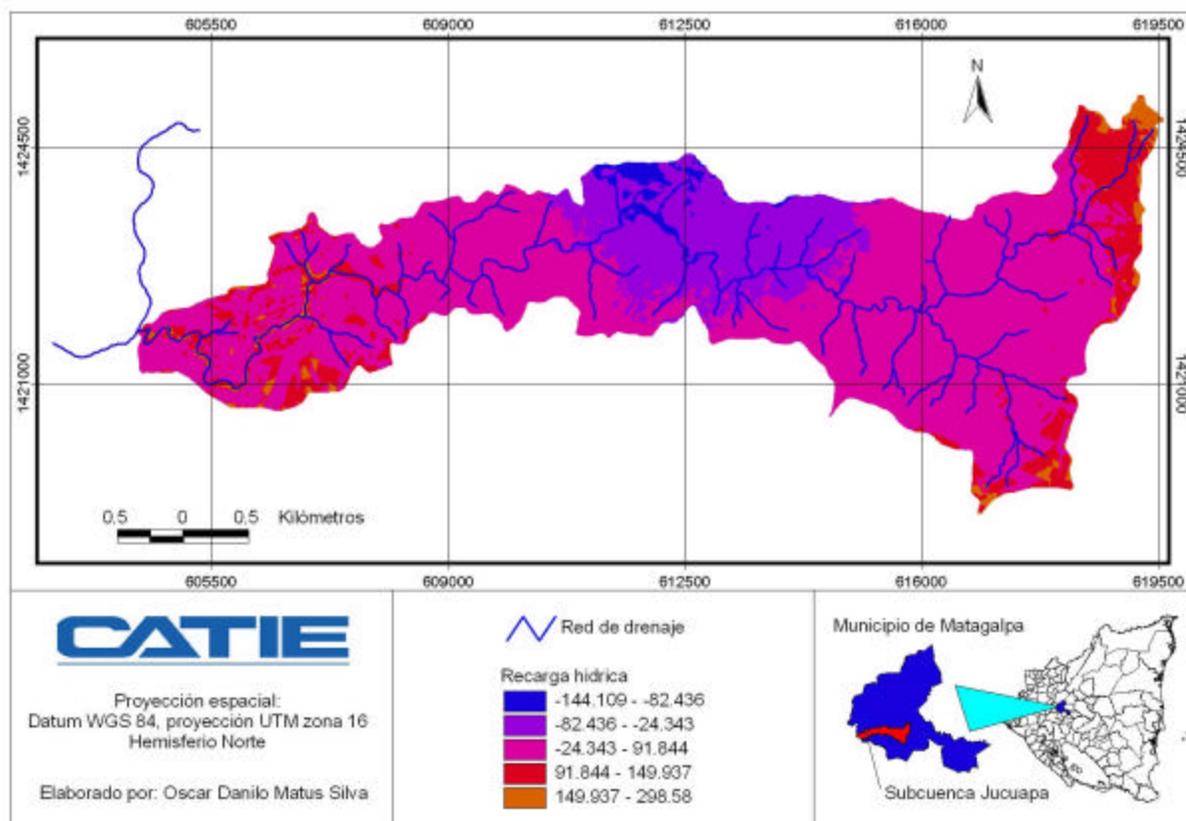


Figura 30: Mapa de recarga hídrica subcuenca río Jucuapa (método RAS)

El mapa muestra que las zonas con mayor recarga se encuentran dispersas en pequeñas áreas en la parte alta y baja de la subcuenca con rangos de recarga que van de 91,84 a 298,58 mm/año, el rango de recarga que predomina en la subcuenca es el que va de -24,34 a 91,84 mm/año y el área donde aparentemente no hay recarga hídrica se encuentra en la parte media de la subcuenca con rangos que van de -144,10 a -24,34 mm/año, esto no significa que no exista recarga del todo, debido a que existen meses, semanas y/o días del año donde las precipitaciones son mayores que la evapotranspiración, quedando disponible agua para que infiltre o escurra, lo cual va depender de las características físicas de la subcuenca para que ocurra la infiltración del agua en el suelo, que según el mapa de posibilidad de recarga (Figura

29) en esta parte de la subcuenca se encuentran predominando los rangos de posibilidad de recarga moderada y alta, lo que significa que sí hay posibilidad para que exista recarga hídrica en la parte media de la subcuenca.

El mapa de recarga hídrica (Figura 30) tiene un compartimiento bastante similar al mapa de balance climático (Figura 20) debido a que la mayor disponibilidad de agua (mapa balance climático) en la subcuenca se encuentra en los extremos de esta (parte alta y baja) y va disminuyendo a medida que se acerca a la parte media, el mismo comportamiento encontramos en el mapa de recarga (método RAS), la mayor recarga se encuentra en la parte alta y baja de la subcuenca y va disminuyendo hacia la parte media, y obviamente la similitud se debe a la cantidad de agua disponible para que infiltre o escurra después de hacer el balance climático, así mismo se tiene que según las características físicas de la subcuenca expresadas en el mapa de potencial de recarga (Figura 29) clasifican a la parte media con altas a moderadas posibilidades de recarga, la parte alta con muy alto a moderado potencial para que se dé la recarga hídrica y la parte baja con moderada posibilidad de ocurrencia de recarga, lo que está en función de las disponibilidad de agua en dichas zonas. Es decir que existe coincidencia entre el mapa de recarga (método RAS) y el mapa de potencial de recarga (método propuesto), los que se encuentran relacionados en función de la cantidad de agua disponible para que exista la recarga hídrica.

Lo anterior se puede evidenciar al comparar el mapa de potencial de recarga (modelo propuesto) de la subcuenca con el mapa de recarga (método RAS), encontramos concordancia en la parte alta de la subcuenca donde según el mapa de recarga hídrica (método RAS) es una de las partes donde se da la mayor recarga en la subcuenca, es donde existe mayor disponibilidad de agua (balance climático) y es la parte que según sus características físicas (mapa del potencial de recarga hídrica) presenta un rango de muy alta a moderado potencial para que ocurra la recarga hídrica (predominando una alta posibilidad de ocurrencia de recarga hídrica); es decir que la recarga hídrica es función de la cantidad de agua disponible para que infiltre y las características físicas de la zona que favorezcan la infiltración del agua en el suelo.

4.3 Estrategias y acciones para el manejo de zonas potenciales de recarga hídrica

Este objetivo se realizó con base a la información de la problemática en la subcuenca, obtenida de las entrevistas a comunitarios y técnicos que tienen incidencia en dicho territorio, de talleres realizados en las comunidades, así como de la información secundaria obtenida de literatura consultada. De igual forma, se recavaron las alternativas de solución, estrategias y acciones para brindarles un manejo adecuado a las zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Jucuapa.

La planificación de un territorio se basa en la participación de la organización social e institucional, orientada al manejo y conservación de los recursos naturales y la implementación de tecnologías innovadoras con el propósito de recuperar el ecosistema (Paredes y Guerra 2006).

Cubero (2001) menciona que cuando en una tierra con determinadas limitaciones se desarrollan prácticas específicas de manejo y conservación de suelos, las cuales corrigen dichas limitaciones, la tierra deberá ser reclasificada según las limitaciones que permanezcan en dicha tierra.

Así por ejemplo, la pendiente, erosión sufrida, pedregosidad y fertilidad pueden modificarse con prácticas específicas de manejo y conservación de suelos; el efecto del viento puede corregirse con la implementación de rompevientos y el drenaje pueden también ser modificados con obras de avenamiento siempre y cuando la textura y la permeabilidad del suelo lo permitan (Cubero 2001).

Para el manejo de las zonas de recarga hídrica es de importancia contar con ciertos conocimientos sobre el contexto de su estado físico, de manejo y legal, que sirva de base para orientar eficientemente su manejo adecuado en pro de garantizar la eficacia en la implementación de las prácticas en función, y a la vez de mejorar la cantidad y calidad del agua para consumo humano y para otros usos.

4.3.1 Contexto sobre el estado físico de la zona de recarga hídrica

El contexto físico se refiere a las características y/o estado físico en que se encuentra la zona potencial de recarga. Este es un elemento muy importante a ser considerado en la

planificación, el manejo y ordenamiento de las zonas potenciales de recarga hídrica, porque da una idea o referencia para orientar bien nuestra planificación. A continuación se presentan algunas consideraciones del contexto físico a tener en cuenta en el manejo de las zonas de recarga hídrica:

- ✍ Conocer y/o saber identificar en campo las características físicas de los suelos como la textura, porosidad, capacidad de infiltración que permiten definir la permeabilidad de los suelos.
- ✍ Conocer y saber identificar en campo sobre las características de las rocas presentes en las zonas potenciales de recarga hídrica como permeabilidad, fractura, fallas, lo que permite saber sobre el tipo de recarga en la zona.
- ✍ Conocer y saber determinar la pendiente en la zona de recarga, así como los efectos positivos y negativos que esta puede generar en el manejo de dichas zonas, al ser combinada con ciertas prácticas inadecuadas de manejo.
- ✍ Saber sobre las precipitaciones en la zona potencial de recarga, si llueve mucho o poco, si existe suficiente cantidad de agua para que se produzca la recarga hídrica o no.
- ✍ Conocer la ubicación de los manantiales u ojos, pozos, en la comunidad.
- ✍ Conocer sobre la productividad de las fuentes de agua (manantiales, pozos), realizando aforos.
- ✍ Conocer sobre el porcentaje de cobertura y tipo de cobertura vegetal presente en la zona potencial de recarga hídrica.
- ✍ Conocer sobre la contaminación de las zonas de recarga hídrica y poder identificar la fuentes contaminantes.

4.3.2 Contexto sobre el manejo de la zona de recarga hídrica

En este contexto debemos conocer sobre el manejo pasado y actual de las zonas potenciales de recarga hídrica frente a su capacidad de uso, es decir, que es importante conocer el contexto físico y relacionarlo con los usos que le están brindando y las prácticas que están implementando, teniendo como punto de referencia los buenos usos del suelo y la implementación de prácticas que favorezcan la infiltración del agua en el suelo. Entre los aspectos a considerar dentro del contexto de manejo de las zonas de recarga hídrica están:

- ✍ Conocer sobre los usos que se les están dando a las zonas potenciales de recarga y si se encuentran acorde con su capacidad de uso.
- ✍ Conocer sobre las prácticas de manejo que se encuentran aplicando en la zona de recarga, las que favorecen el proceso de infiltración, así como las prácticas que no favorecen.
- ✍ Conocer sobre las ventajas y beneficios de aplicar prácticas adecuadas de manejo en las zonas de recarga hídrica que favorecen la producción de agua y la producción agropecuaria.
- ✍ Conocer acerca de principales limitantes de las zonas potenciales de recarga frente al manejo que le están realizando.
- ✍ Conocer sobre las capacidades, limitantes y conciencia de los comunitarios en el manejo de las zonas de recarga hídrica.
- ✍ Conocer la problemática económica y social de los comunitarios en las zonas de recarga hídrica que tiene incidencia en el manejo que se encuentra realizando a dichas zonas, así como la topología del productor conocer si es grande, mediano o pequeño.

4.3.3 Contexto legal en el manejo de zonas potenciales de recarga hídrica

Otro aspecto importante a considerar para orientar el manejo, planificación y ordenamiento de las zonas potenciales de recarga es el contexto legal en lo referente a la tenencia de la tierra y el marco jurídico relacionado con los recursos naturales. Así por ejemplo, si las zonas de recarga coinciden con una propiedad privada y se encuentran con un uso inadecuado que altere las características que favorecen la infiltración, habrá que recurrir, bajo el amparo del marco jurídico de un uso controlado y de protección de las zonas de recarga hídrica. Dentro de las consideraciones a tener en contexto legal se encuentran:

- ✍ Conocer la situación legal sobre la tenencia de la tierra en las zonas potenciales de recarga hídrica, si es propia, alquilada, de la municipalidad o del estado.
- ✍ Conocer sobre el marco jurídico (leyes) que rigen el manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales, como por ejemplo ley del agua, de área protegidas, ley forestal, ley de ordenamiento territorial, entre otras.
- ✍ Conocer sobre ordenanzas municipales que tienen relación con el manejo del agua, ordenamiento territorial u otras en las cuencas o subcuencas.

4.3.4 Estrategias y/o acciones propuestas por comunitarios y extensionistas para el manejo de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua

Con base en las entrevistas realizadas a comunitarios y técnicos que tienen incidencia en la subcuenca, de talleres realizados en las diferentes comunidades e información secundaria obtenida de diagnósticos realizados en la subcuenca, se obtuvo información acerca de la problemática que los afecta, así como también de las propuestas de solución que se plantearon, con dicha información se lograron obtener las estrategias y acciones para el manejo de las zonas de recarga hídrica y fuentes de agua en la subcuenca del río Jucuapa.

Una vez que se obtuvo la lista de estrategias y/o acciones para hacerle frente a las problemáticas identificadas en la subcuenca del río Jucuapa y el manejo adecuado de las zonas de recarga hídrica, en función de mantener, mejorar y recuperar las características de dichas zonas que favorecen la infiltración, se procedió a realizar una clasificación de estas de acuerdo a las funciones u objetivos de cada estrategia y/o acción, la que se describe a continuación.

4.3.4.1 Estrategias y acciones para mejorar la infiltración del agua en el suelo y recuperación de fuentes de agua

- ✍ Reforestación en parte alta de la subcuenca y ribera de ríos. (A)
- ✍ Establecimiento y manejo de obras de conservación de suelo y agua para favorecer la infiltración como acequias, lagunetas, cajuelas, diques, barreras vivas y muertas, manejo de rastrojos, no quemar. (E)
- ✍ Conservar especies nativas.(A)
- ✍ Incentivos para reforestar. (E)
- ✍ Pago por servicios ambientales.(E)
- ✍ No continuar ampliando la frontera agrícola. (A)
- ✍ Actualmente se encuentra ejecutando un subproyecto financiado por el fondo ambiental del comité de la subcuenca del río Jucuapa de protección de fuentes de agua para consumo humano en las ocho fuentes de agua seleccionadas. (A)
- ✍ Aplicar las ordenanzas municipales para frenar el despale.(E)
- ✍ Establecimiento de sistemas agroforestales y silvopastoriles. (E)
- ✍ Siembra al espeque. (A)
- ✍ Rotación de potreros evitando el sobrepastoreo. (A)

4.3.4.2 Estrategias y/o acciones para mejorar el uso y conservación de los suelos

- ☒ Incorporación de rastrojos y abonos orgánicos en las parcelas. (A)
- ☒ Dejar en descanso las tierras uno a más años. (A)
- ☒ Uso y manejo de abonos verdes, siembra de gandúl y canavalia.(A)
- ☒ Vigilancia para prevenir quemas en los bosques y mantener buenas rondas contra fuego. (A)
- ☒ Asociación de cultivos. (A)
- ☒ Rotación de cultivos. (A)
- ☒ Diseñar planes de finca de acuerdo a su potencial. (E)

4.3.4.3 Estrategias y/o acciones para mejorar la disponibilidad de agua

- ☒ Perforar nuevos pozos. (A)
- ☒ Construcción de pilas y canales para captar agua de lluvia. (E)
- ☒ Evitar retención de agua en la parte media de la subcuenca. (A)
- ☒ Cosecha de agua. (A)

4.3.4.4 Acciones para disminuir la contaminación de los acuíferos

Con base en la problemática sentida en la subcuenca por los diferentes actores, ellos consideran de gran importancia implementar acciones en la prevención, mejora y recuperación de la calidad del agua que se usa en la subcuenca, para lo cual propusieron una serie de acciones orientadas a contrarrestar la contaminación en la subcuenca, las que se describen a continuación.

- ☒ Manejo de aguas mieles y pulpa de café.
- ☒ Construcción de beneficios ecológicos.
- ☒ El comité de cuencas ha solicitado y ya dispone del apoyo del grupo temático CAFÉ del CATIE, con el cual se ejecuta una línea de acción investigación dirigida a paliar este problema (contaminación por la actividad cafetalera) y aportar soluciones viables para el sector cafetalero, por ser el principal rubro de agro exportación nacional. Ya se han construidos beneficios ecológicos en la parte alta y media de la subcuenca.
- ☒ Construcción y ubicación de letrinas.
- ☒ Manejar embase de productos químicos.
- ☒ Uso racional de químicos y uso de productos naturales en el combate de plagas.

- ✍ Solicitar al MINSA facilite el tratamiento para el agua potable (Coloración).
- ✍ Manejo del café tradicional (sin químicos).
- ✍ Reforestar y proteger las fuentes de agua y dar un buen cuidado a los manantiales.

4.3.4.5 Estrategias o ejes transversales a implementar en las diferentes categorías identificadas

- ✍ Cooperación técnica.
- ✍ Concienciación a la población.
- ✍ La organización de la comunidad, por ejemplo, lo mencionado por los comunitarios y técnicos como es organizar los comités de agua y trabajar en la gestión para el mantenimiento del miniacueducto y fuentes de agua que abastecen a las comunidades.
- ✍ Capacitación en relación a las actividades a ejecutar, por ejemplo, lo que proponen los comunitarios y técnicos, capacitar en temas sobre el uso del agua doméstica y agrícola; capacitar sobre el uso y manejo de las fuentes de agua.

Con el propósito de monitorear y medir los resultados e impacto de las prácticas de manejo implementadas en las zonas potenciales de recarga hídrica, es necesario disponer de indicadores prácticos, de fácil aplicación en campo y de bajo costo que faciliten y permitan visualizar dichos alcances, resultados e impactos. A continuación se presentan algunos indicadores prácticos para monitorear los impactos y/o alcance de las prácticas de manejo implementadas en las zonas de recarga hídrica:

4.3.4.6 Indicadores prácticos para medir el impacto de las prácticas de manejo

PASOLAC (2005) extrajo de los grupos de discusión algunos indicadores según la experiencia de productores para medir el impacto de las prácticas de manejo en la recuperación de fuentes de agua implementadas en Nicaragua:

- ✍ **El caudal de agua.** Este es el indicador más utilizado; se centra en el volumen de agua producido (m³) por unidad de tiempo.
- ✍ **Profundidad (m) o nivel freático** del agua al perforar un pozo. Los productores observan que después de implementar las tecnologías de Conservación de Suelo y Agua (CSA), al excavar un pozo el nivel del agua está más cerca de la superficie del suelo.

- ✍ **El período de reposición** de volúmenes de agua extraída (m³/hr) de pozos o manantiales. Es el tiempo que necesita la fuente para reponer el volumen de lo extraído.
- ✍ **El número de ojos de agua** o manantiales que brotan en las fincas que implementan tecnologías de CSA. Si el número aumenta es un buen síntoma del manejo apropiado de la zona de recarga hídrica.
- ✍ **Permanencia de las fuentes de agua** durante la época crítica de la estación seca. Este indicador se refiere al período durante la estación mencionada que dura de 4 a 6 meses, en que la fuente produce o contiene agua a partir de la finalización de la estación lluviosa.

4.3.5 Discusión sobre las estrategias y acciones propuestas

Paredes y Guerra (2006) describen la propuesta de planificación territorial en zonas de recarga hídrica, para reducir la vulnerabilidad frente a la sequía implementada en las quebradas Aliso y Encañada, ubicadas en el caserío de Poroporito del distrito de Ichocán, provincia de San Marcos, región de Cajamarca, Perú en el período comprendido entre el año 1989 a 1998:

Dicha propuesta consistió en capacitar y transferir tecnologías innovadoras, partiendo de la recuperación física y productiva de la parcela campesina, para luego recuperar el caserío y finalmente la unidad hidrológica. Como resultado de la aplicación de la propuesta se obtuvo **la recuperación del acuífero, orientado por lo menos a solucionar en parte las limitaciones de frente a la escasez de agua.**

La propuesta ayudó en la recuperación de las áreas destinadas a la producción agrícola y áreas comunales productoras de agua, recuperando el ecosistema. Es de importancia destacar que los impactos alcanzados son el resultado de la interacción de la población e instituciones.

La estrategia de implementación se basó en la recuperación del territorio desde la planificación y la ejecución de **medidas estructurales y no estructurales.**

Las tecnologías **estructurales** implementadas consistieron en el diseño y construcción de obras mecánicas estructurales como:

- ✍ Terrazas de formación lenta
- ✍ Zanjas de infiltración
- ✍ Diques de contención

✍ Instalación de barreras vivas

Estas tecnologías se implementaron con la finalidad de estabilizar, recuperar y controlar el arrastre de los suelos, lograr que infiltre el agua y aprovechar mejor el terreno.

Como resultado de la implementación de las medidas mecánicas estructurales se logró mejorar la capacidad de captación e infiltración de agua en la zona de recarga del acuífero. El volumen captado es 36,144 m³ en la zona de terrazas y el volumen infiltrado por año llega a 33, 976 m³. Como resultado se tiene el incremento significativo del caudal de agua de 0.06 l/s a 1.08 l/s en época de lluvia y 0.26 l/s en época de estiaje, volumen que es aprovechado para uso doméstico de 17 familias.

Impactos relacionados con la implementación de **medidas estructurales**

a) **Estabilización del suelo y control de la erosión**

- ✍ Recuperación de suelos, incremento de la productividad de los cultivos y mejoramiento del microclima producto de la implementación de medidas estructurales como: construcción de terrazas, instalación de barreras vivas.
- ✍ Control de la erosión de los suelos, logrando la formación “artificial” de la terraza con el tiempo y a la vez el incremento de la fertilidad del suelo. Esto se logró en chacras y áreas comunales productivas, áreas destinadas a la captación e infiltración de agua de lluvia, evitando la pérdida de los suelos por causa de la escorrentía superficial.
- ✍ Permite retener el agua por mayor espacio de tiempo, por lo que el suelo permanezca húmedo más tiempo y las especies vegetales nativas y/o cultivadas desarrollen bajo estas condiciones.
- ✍ Las zanjas de infiltración es otra medida estructural que permitió la conservación del suelo, reduciendo la escorrentía superficial y favorece la infiltración artificial del agua de lluvia.

b) **Incremento del caudal de agua**

- ✍ La mayor disponibilidad del recurso hídrico ha permitido la instalación de los sistemas de aprovechamiento de agua para uso doméstico y agropecuario, beneficiando una población de 215 personas que representa el 61% de la población total del caserío.
- ✍ Se ha incrementado el caudal de agua en la quebrada El Aliso en cinco veces su caudal inicial, de 0.06 l/s a 0.26 l/s en época de estiaje y 1.08 l/s en temporada de lluvia.

- ✍ En la quebrada Encañada el incremento del caudal es de 0.29 l/s a 0.73 l/s en estiaje y 1.96 l/s en temporada de lluvia.
- ✍ Realizado el balance hídrico de la quebrada Encañada, presenta un caudal de 0.22 l/s en época de estiaje frente a un caudal de 3.04 l/s en temporada de lluvias.

c) Incremento de la producción local

- ✍ Incremento de la producción y rentabilidad de los cultivos, intensificando principalmente la producción agrícola de papa alcanzando un rendimiento de 3000 kg en un área de 500 m².
- ✍ Instalación de cultivos de alfalfa de la variedad California y Pallasquina, obteniendo en promedio cuatro cortes por año con un rendimiento de 1 500 kg / corte en áreas o parcelas no mayores de 450 m².

d) Incorporación de áreas al secano a áreas bajo riego

- ✍ La instalación del sistema de riego ha permitido incorporar 0.6 ha bajo riego, resultado de la mayor disponibilidad de agua en el caserío.

Las medidas **no estructurales** tuvieron como base la participación activa de la organización social y se diseñaron y ejecutaron actividades como:

- ✍ Talleres de sensibilización.
- ✍ Cursos de capacitación.
- ✍ Acompañamiento técnico.

Como resultado de estas medidas (no estructurales), se obtuvo formación y constitución de las juntas administradoras del agua para uso doméstico y agrícola, y la constitución del comité de conservación de suelos del caserío, fortalecido y capacitado en el manejo y gestión de los recursos naturales y productivos.

Impactos relacionados con la implementación de **medidas no estructurales**

Se ha fortalecido la capacidad de las organizaciones en el tema de manejo y gestión de los recursos naturales y productivos, generando herramientas metodológicas e implementación de tecnologías que tuvo como base la participación activa de la población, como propuesta de planificación territorial, constituyendo en el caserío las siguientes organizaciones:

- ✍ El comité de conservación de suelos del caserío.
- ✍ Juntas administradoras de agua potable.
- ✍ La junta de regantes.

PASOLAC (2005) presenta el caso de la finca Los Laureles ubicada en la comunidad de Santa Isabel, municipio de Condega, Estelí, Nicaragua (Área protegida Mira flores), en la cual aplicaron tecnologías de Conservación de Suelo y Agua (CSA) en la zona de recarga para la recuperación de las fuentes de agua, lo que se describe a continuación:

En la zona de recarga hídrica (por encima de la fuente) se conserva 1.4 ha de bosque en regeneración natural. Aledaño a dicha área hay 1 ha de café agroforestal que también contribuye a proteger la fuente.

Las principales tecnologías introducidas mediante el proceso de transferencia son:

- ✍ La no quema.
- ✍ Manejo de la regeneración natural del bosque.
- ✍ Barreras vivas de pasto de corte (Taiwán).
- ✍ Barreras muertas de piedra.
- ✍ Diques de piedra.

También se realizan otras prácticas de manejo sostenible de suelos y agua (MSSA), entre ellas:

- ✍ Siembra de frutales.
- ✍ Siembra en curvas a nivel.
- ✍ Rotación de cultivos.
- ✍ Abonos verdes (terciopelo).
- ✍ Lombricultura.
- ✍ Cercas vivas.

El señor Morán (dueño de la finca) afirma, como parte de su experiencia, que las acequias de laderas no le resultaron, principalmente, por la demanda intensiva de mano de obra; es importante aclarar que se está refiriendo a la demanda de mano de obra en la implementación de la práctica y no a la efectividad de la práctica como tal, ya esta práctica se ha implementado por otros proyectos (como en las zonas de recarga de las quebradas Aliso y Encañadas) y han

dado buenos resultados. Así mismo destaca que la combinación de las técnicas aplicadas por un lapso de cinco años ha dado como resultado la recuperación de las fuentes de agua.

Los principales resultados obtenidos como producto de la aplicación de estas técnicas son:

- ✍ Surgió un nuevo ojo de agua permanente durante la estación seca, anteriormente la finca contaba con dos ojos de agua; los que producen 8,35 m³/día.
- ✍ Una quebrada que anteriormente se secaba, ahora es permanente lo que contribuye con volumen importante de agua para las actividades de la finca.
- ✍ Considerando que las necesidades básicas de agua para esta familia de seis miembros son de 0,3 m³ /día, hay un excedente de aproximadamente 8 m³/día. En esta zona hay unos 130 días de la estación seca que son considerados como muy críticos; se podría estimar que el productor y su familia ahora cuentan con 1,085 m³ adicionales de agua para este período.
- ✍ El excedente de agua producida es utilizada con fines productivos: en un estanque de cultivo de tilapia con capacidad de 7.2 m³; para el riego de 0.7 ha de papa; para consumo del ganado y para beneficiado de café. Con esta disponibilidad de agua durante todo el año, dicha familia se autoabastece de la finca la cual les genera ingresos adicionales para satisfacer otras necesidades.
- ✍ La sombra de la cobertura forestal actual en la zona de recarga hídrica se estima en un 80%, la que aumentó en un 100% de la cobertura anterior, manteniendo siempre el área forestal de 1.4 ha, con una composición arbórea muy variada.
- ✍ El buen manejo general de la finca contribuye al mantenimiento de la diversidad faunística.

Como se puede apreciar, las estrategias y/o acciones propuestas por los comunitarios y técnicos de la subcuenca del río Jucuapa coinciden con las que se han implementado a lo largo de los años por otros programas, proyectos y comunidades para el manejo y recuperación de las zonas de recarga (mejorar la infiltración y recuperación de los volúmenes de agua), las que ha dado buenos resultados e impactos positivos para mejorar la cantidad, disponibilidad y calidad del agua.

Así mismo los comunitarios y técnicos proponen una amplia gama de alternativas para el manejo, recuperación y mantenimiento de las zonas de recarga hídrica y fuentes de agua, las que aplicándolas correctamente y a largo plazo podrán obtener los mismos resultados e impactos positivos que en otras subcuencas o cuencas hidrográficas.

Para lograr implementar estas alternativas es necesario contar con el apoyo técnico y financiero de instituciones u organizaciones que trabajen en función del manejo de los recursos naturales y por supuesto con todo el interés y empeño de las comunidades inmersas en la subcuenca; se hace necesario que las comunidades, organismos y gobiernos locales trabajen juntos en la búsqueda de soluciones, es decir, que se organicen para gestionar y que a través de la cogestión se logre la complementariedad de las acciones para lograr implementar dichas alternativas de solución.

Algo muy importante es que en estas gestiones no se está partiendo de cero, ya que al tocar las puertas de las instituciones u organismos nacionales e internacionales se le plantearán alternativas de solución a la problemática que afectan a la subcuenca y no los problemas, lo que facilita los procesos y se garantiza, tanto la implementación de las alternativas, como la participación de los diferentes actores locales, al salir de ellos las propuestas de solución y la gestión de los recursos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Referente a la propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica:

- 1) De acuerdo al análisis estadístico Chi Cuadrado, con un nivel de significancia del 95% se encontró que no existen diferencias entre la opinión y/o el conocimiento de comunitarios, técnicos y especialistas con relación a los criterios o elementos (pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y tipo de roca) a usar en la identificación de zonas de recarga hídrica.
- 2) Se logró integrar elementos o criterios técnicos con el conocimiento local, en la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.
- 3) Los elementos que integran la metodología propuesta sirven para estimar el potencial de recarga hídrica y en cierta medida estiman el potencial de ocurrencia de la recarga acuífera (al considerar pendientes bajas, microrelieves cóncavos, la cobertura vegetal y la geología).
- 4) La metodología permite capturar el conocimiento de los comunitarios lo que facilita la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.
- 5) La metodología permite transmitir conocimientos, compartir experiencias y concienciar sobre el manejo adecuado de los recursos naturales y el medio ambiente.
- 6) La propuesta metodológica ofrece una alternativa práctica para identificar zonas de recarga hídrica y no necesita de información técnica (como datos meteorológicos o unidades de mapeo) en dicho proceso porque parte del conocimiento y la información que los actores locales tienen de su territorio y de los procedimientos prácticos para evaluar el modelo propuesto.
- 7) La metodología propuesta fue diseñada y/o elaborada para ser aplicada por actores locales, comités de agua, comités locales de cuenca, extensionistas y organismos que trabajen en la gestión del recurso hídrico, dejando claro que hay otras opciones metodológicas pero por su carácter técnico-científico y sus

altos costos de implementación son complicadas y menos accesible para ser aplicadas por dichos actores.

- 8) Aún cuando las condiciones climáticas en una subcuenca no sean muy favorables para que ocurra la recarga hídrica, la metodología propuesta permite identificar cuales son las zonas con mayor potencial para que esta se dé, por sus características biofísicas que favorecen la infiltración, lo que permite orientar la planificación, coordinación e implementación de estrategias para la gestión de los recursos hídricos.
- 9) De forma indirecta la metodología permite identificar el potencial de amenaza de contaminación del agua subsuperficial y/o subterránea, al estar fundamentada en el proceso de infiltración del agua en el suelo, por lo tanto zonas con alto potencial para que ocurra la recarga hídrica tendrán también alto potencial de amenaza para que ocurra la contaminación.

Referente a la aplicación y validación de la propuesta metodológica para identificar zonas potenciales de recarga hídrica:

- 1) En la aplicación de la propuesta metodológica con los comités locales de cuencas, se pudo verificar que bs comunitarios cuentan con el conocimiento para ubicar e identificar las zonas potenciales de recarga hídrica dentro de su territorio.
- 2) El procedimiento propuesto para identificar y evaluar el potencial de recarga es entendible y manejable por los actores locales según la opinión de estos, así como también lo evidencian los resultados obtenidos del proceso de aplicación.
- 3) En la aplicación de la metodología en conjunto con los comités locales de cuencas se obtuvo: que las zonas identificadas y evaluadas en Nuestra Tierra, El Ocotil y Limixto presentan altas posibilidades para que ocurra la recarga hídrica por presentar características que favorecen la infiltración del agua en el suelo; las áreas identificadas y evaluadas en Jucuapa Centro, Ocote Sur, Jucuapa Occidental y Jucuapa Abajo tienen una moderada posibilidad para que ocurra la recarga hídrica

- 4) De acuerdo al balance hídrico climático realizado en la subcuenca, en la parte alta y baja es donde existe mayor disponibilidad de agua para que se dé la recarga hídrica o para que escurra el agua y en la parte media de la subcuenca aparentemente no hay suficiente disponibilidad de agua para que ocurra la recarga hídrica, cuando se realizan los análisis a partir de promedios anuales tanto de precipitación como de evapotranspiración.
- 5) De acuerdo a la aplicación del modelo propuesto (con la ayuda del programa ArcView) la subcuenca presenta buenas características para que ocurra la recarga hídrica, al encontrarse un 80% del área total con categorías que van de alta a moderada posibilidad de ocurrencia de recarga hídrica.
- 6) Se encontró bastante similitud entre los resultados obtenidos de aplicar el modelo y procedimiento (propuesto) por comunitarios y el mismo modelo propuesto con la ayuda del programa ArcView, es decir, que las categorías de posibilidad de ocurrencia de recarga asignadas por los comunitarios y las que resultaron a través de correr el modelo en el programa de ArcView son parecidas, lo que significa que el modelo y procedimientos para identificar y evaluar zonas de recarga hídrica de forma participativa con actores locales fue aceptable o válido.
- 7) Hay bastante similitud o concordancia entre el mapa de recarga (método RAS) y el mapa de potencial de recarga (modelo propuesto) en la parte alta de la subcuenca; sin embargo, en la parte media, según el método RAS al realizar análisis a partir de datos promedios anuales de precipitación y evapotranspiración aparentemente no hay recarga, lo que difícilmente es verás, ya que hay meses o semanas durante las cuales la precipitaciones superan la evapotranspiración ocurriendo así la recarga; mientras que de acuerdo al modelo propuesto la parte media de la subcuenca presenta una predominancia de moderadas a altas posibilidades de ocurrencia de la recarga hídrica.
- 8) La metodología brinda una alternativa técnica, práctica y de bajo costo a los actores locales, comités de cuenca y diferentes formas organizativas presentes en el territorio para identificar zonas con altos potenciales para que ocurra la recarga hídrica.

Referente a las estrategias y acciones para el manejo de las zonas potenciales de recarga hídrica:

- 1) Las principales estrategias y acciones que proponen técnicos y comunitarios para el manejo de zonas de recarga son: reforestación principalmente con especies nativas, establecimiento y manejo de obras de conservación de suelo y agua (acequias, diques, barreras vivas y muertas, manejo de rastrojo, lagunetas), establecimiento de sistemas agroforestales y silvopastoriles, rotación de cultivos y de potreros, capacitación, concienciación de la población y pagos por servicios ambientales.
- 2) Los actores locales necesitan del acompañamiento técnico y de recursos económicos (financiamiento) para aplicar las estrategias y acciones en el manejo sostenible de las zonas potenciales de recarga hídrica.

5.2 Recomendaciones

- 1) Es necesario previo a la aplicación de la metodología realizar un taller participativo donde se expongan, expliquen y compartan los procedimientos planteados a seguir en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.
- 2) Es útil y necesario contar con el apoyo de un manual práctico, con un lenguaje sencillo y claro, y bien ilustrado que muestre paso a paso los procedimientos a seguir en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.
- 3) Complementario a las capacitaciones y al manual práctico es importante efectuar un acompañamiento técnico en el proceso de aplicación de la metodología como parte del proceso de familiarización, adopción y empoderamiento de la metodología.
- 4) Es recomendable consolidar la estructura organizativa de los comités locales de cuencas y mediante la gestión compartida y colaborativa buscar recursos económicos y/o financieros y el acompañamiento técnico, para aplicar las estrategias y acciones en el manejo de las zonas potenciales de recarga hídrica.

- 5) Se debe planificar, coordinar, gestionar e implementar un plan para manejar adecuada y sosteniblemente la parte media de la subcuenca en función de mejorar las condiciones ambientales y la disponibilidad de agua para consumo humano y usos múltiples.
- 6) Se debe continuar aplicando la metodología para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, tanto en las ocho fuentes de agua con las que se trabajó, ya que no se pudieron evaluar todas las áreas identificadas por los comunitarios, como en el resto de fuentes de agua existentes en cada comunidad para poder disponer con información completa acerca de las zonas potenciales de recarga en toda las fuentes de agua de la subcuenca.
- 7) Al ser las zonas potenciales para que ocurra la recarga hídrica, también son áreas con amenaza potencial de contaminación del agua, es importante considerar dentro de las estrategias y acciones medidas para prevenir, manejar y mitigar la contaminación.
- 8) Se recomienda ajustar el modelo propuesto según las condiciones o características de las subcuencas donde se pretenda aplicarlo, ya que dicho modelo se diseñó según las características de una cuenca de montaña donde el principal elemento es la pendiente, pero en condiciones de cuencas planas habría que ajustarlo, analizando y discutiendo sobre el o los elemento que tomaría mayor importancia en dicha identificación.
- 9) En cuencas o subcuencas donde se disponga de información cartográfica (unidades de mapeo) para aplicar el modelo propuesto es recomendable apoyarse en el programa ArcView, correr el modelo y determinar así el potencial de recarga hídrica.
- 10) En futuras aplicaciones de la metodología propuesta con el fin de mejorar la comparación de los resultados (zona de recarga a nivel de fuentes de agua) que se puedan obtener de forma participativa (con actores locales) y los resultados de aplicar el modelo con unidades de mapeo (zonas de recarga a nivel de subcuenca o microcuenca), es recomendable que en la identificación con los actores locales (participativamente) se evalúe un mayor número de zonas potenciales de recarga para fuentes de agua distribuidas en las partes altas,

medias y bajas de subcuencas o microcuencas, con el fin de realizar una mejor comparación y obtener mejores resultados.

- 11) Se recomienda continuar realizando validaciones de la metodología con otros métodos técnicos-científicos más precisos que definan las zonas de recarga o en su efecto 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.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, M. 1997. Fundamentos de hidrología de superficie. Cuernavaca, México, Lisuma. 303p.
- Arguello R, GE. 1992. Modelación hidrológica continua en tiempo real de la cuenca del río Virilla, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 128 p.
- Astorga, E. 2006. Material de referencia en curso de gestión integrada del recurso hídrico. Turrialba, CR, CATIE. 80 p.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 2003. Desarrollo rural de autogestión comunitaria ¿Qué hemos aprendido? Washington, D.C. Consultado 8 agosto. 2007. Disponible en www.aliadossierrarural.org/portal/docs/bid2.pdf
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID); Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID). 2002. Evaluación organizacional: marco para mejorar el desempeño. Washington, DC. BID 217 p.
- Calvo, L. 2005. Métodos de riego: un enfoque practico para el diseño. San José, Costa Rica, Colorgraf. 168p.
- Camps, F. 2000. Participación comunitaria y gestión alternativa de conflictos. Consultado 8 agosto 2007. Disponible en <http://www.grecmail.org/en/docpdf/Participacin%20Comunitaria%20y%20GAC.pdf>
- Carrica, Jorge C. y Lexow, Claudio. 2004. Evaluación de la recarga natural al acuífero de la cuenca superior del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Rev. Asoc. Geol. Argent., abr. /jun. 2004, vol.59, no.2, p.281-290. ISSN 0004-4822. Disponible en Web: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0004-48222004000200011&script=sci_arttext
- Castany, G. 1971. Tratado práctico de las aguas subterráneas. Barcelona. Ed. Omega. 672 p.
- CATIE. 2006. Uso de principios, criterios e indicadores para monitorear y evaluar las acciones y efectos de políticas en el manejo de los recursos naturales. Turrialba, CR. 70 p.
- Córdoba N. 2002. Calidad del agua y su relación con los usos actuales en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Thesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 158 p.

- 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.
- _____, G. 2000. Comentarios sobre la utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en las sequías. *Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 94 (2):197-203.
- Cubero, D. 2001. Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras. San José, CR, MAG. 18 p.
- Díaz, M. J; Gómez, D. 2001. Caracterización y sondeo de la microcuenca del río Jucuapa. Managua, Ni. Proyecto FOCUENCAS- CATIE-ASDI. 79 p.
- Dourojeanni, A. 1994. Políticas públicas para el desarrollo sustentable: La gestión integrada de cuencas. Santiago de Chile, CEPAL. 238 p.
- Escobar, G. 2003. Manual de geología para ingenieros. Manizales, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Disponible en web: http://www.geocities.com/manualgeo_00/
- Faustino, J. 2006. Notas de clase para el curso identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica. San Salvador, CATIE.113 p.
- Faustino, J.; García, S. 2001. Enfoques y criterios prácticos para aplicar el manejo de cuencas. San Salvador, El Salvador, Visión Mundial. 125 p.
- Ferretti, J. 2003. El recurso agua en el desarrollo de América Latina y el Caribe. In Día de las Américas: resúmenes. Kyoto, Japón. p. 7- 12.
- Fernández Escalante E. 2005. Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia). *ECOSISTEMAS*. 14 (003). Disponible en web: www.revistaecosistemas.net/pdfs/143.pdf
- Flores M. 2004. Criterios hidrogeológicos para la formulación del plan de gestión en el acuífero del Valle de Sébaco. Thesis Mag.Sc. Managua, Nicaragua, UNAN. 153 p.
- Fox, V. 2004. Ceremonia de inicio de preparación hacia el IV foro mundial del agua. In Japón y CA: Participación y compromisos del tercer foro y acciones en la región por Satoshi Ojima. San Salvador, El Salvador. 1 disco compacto. (Foro Centroamericano del agua: avances, retos y desafíos para la gestión del agua CD-ROM).

- FORGES. Sf. Método RAS para determinar la recarga de aguas subterráneas. San Salvador, El Salvador. 40 p.
- Gavande, S. 1972. Física de suelos: principios y aplicaciones. México, limusa. 351 p.
- Geilfus, F. 2005. 80 Herramientas para el desarrollo participativo. IICA, GTZ. 208 p.
- Granados O, A. 2005. Usos 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. CRISOL, fusión de ideas 1(1):55-76. Disponible en www.uacj.mx/IADA/OfertaAcademica/MaestriaDesarrollo/crisol1.pdf
- González, M. 2004. Evaluación de compromisos regionales adquiridos para el PACADIRH, las cumbres mundiales y foros de agua. In foro Centroamericano del agua: avances, retos y desafíos para la gestión del agua. San Salvador, El Salvador. 1 disco compacto.
- Henríquez, H; Cabalceta, A. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con enfoque agrícola. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 111 p.
- INAB. 2003. Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual Técnico. Guatemala. 106 p.
- INAB. 2005a. Identificación de las tierras forestales de captación y regulación hidrológica, la subcuenca los Vados, cuenca río Los Esclavos. Guatemala. 69 p.
- _____. 2005b. Programa de Investigación de Hidrología Forestal. Guatemala. 38 p.
- Instituto Tecnológico de Santo Domingo. 2001. Democracia, participación popular y reforma constitucional. Republica Dominicana. 300p.
- Jiménez O., F. 2006a. Conceptos básicos en manejo de cuencas. Material de referencia en curso de maestría en Manejo de Cuencas Hidrográficas I. Turrialba, CR, CATIE. 6 p.
- _____; Faustino; Campos. 2006b. Documento de curso de postgrado cogestión de cuencas hidrográficas: bases conceptuales de la cogestión adaptativa de cuencas hidrográficas. Managua, Nicaragua, CATIE. 20 p.
- _____; F. 2006c. Medición de los componentes del balance hídrico en SAF. Material de referencia en curso metodologías de investigación en sistemas agroforestales, Turrialba, CR, CATIE. 12 p.

- _____; F. 2006d. La cuenca hidrográfica como unidad de planificación, manejo y gestión de los recursos naturales. Turrialba, CR, CATIE. 29 p.
- Kiersch, B. 2000. Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia, FAO. 11 p.
- Levasseur; Oliver; Somarraba. 2000. Sistemas agroforestales tradicionales en una comunidad maya en Belice. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 21-23.
- Losilla, M. 1986. Aguas subterráneas; generalidades, ocurrencia, tipos de acuíferos. In *Curso bases hidrológicas para el manejo de cuencas*. Mayo 1987. Turrialba, CR, CATIE. 9 p.
- Losilla, M. 1986. Protección de las zonas de recarga de los acuíferos. In *Curso bases hidrológicas para el manejo de cuencas*. Mayo 1987. Turrialba, CR, CATIE. 8 p.
- Maderey, R. 2005. Principios de hidrogeografía: estudio del ciclo hidrológico. México, DF, Instituto de Geografía de la UNAM. Disponible en: <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia/index.html>
- Martínez, A; Toruño, I. 2006. Plan de protección para fuentes de agua de consumo humano, subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Monografía ingeniero agrónomo. Matagalpa, Nicaragua, UNAN-CUR Matagalpa. 224 p.
- Meléndez; Fuster. 1973. Geología. Tercera edición. Madrid, España, Universidad de Madrid. 896 p.
- Mendoza B. 2005. Tecnologías utilizadas en los actuales sistemas de producción y conservación en la Subcuenca del Río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 143 p.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA). 2001. Informe del estado ambiental en Nicaragua. Managua, Nicaragua. 165 p. Disponible en: www.centrogeo.org.mx/unep/documentos/Nicaragua/NICARAGUA.pdf
- Mora, C; Valverde, G. 2005. Geología: procesos de la dinámica interna y externa. Segunda edición. Cartago, CR. 376 p.
- Morales, J. 2003. Metodología de Planificación Ambiental Participativa para Formular el Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC) de la Subcuenca del Río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 238 p.

- Núñez S. 1981. Fundamentos de edafología. San José, Costa Rica, EUNED. 216 p.
- Núñez S. 2001. Manejo y conservación de suelos. San José, Costa Rica, EUNED. 263 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1981. Contaminación de las aguas subterráneas. España. 191 p.
- PASOLAC. 2005. Recuperación de fuentes de agua en las laderas del trópico seco de Nicaragua. Managua, Nicaragua. 40 p. Consultado el 6 de septiembre del 2007. Disponible en http://www.pasolac.org.ni/files/publicacion/1181144352_FUENTES%20DE%20AGUA.pdf
- Paredes, A; Guerra, C. 2006. Recarga de acuíferos desde el ordenamiento territorial para reducir la vulnerabilidad frente a la sequía. Lima, Perú, CIP. 29 p.
- Perevochtchikova, M; Carrillo, J; Peñuela A; Muños P. 2004. Servicios ambientales hidrológicos en México 2003/2004: visión geográfica. México. 16 p. Disponible en web:http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=11435769561servicios_ambientales_hidrologicos.pdf
- Pierre, R. 1971. Recarga de los acuíferos subterráneos. In Seminario sobre las aguas subterráneas. Granada, España, FAO. p. 79-86.
- Prins, C. 2005. Procesos de innovación rural en América Central: reflexiones y aprendizajes. Turrialba, CR, CATIE. 245 p.
- RAMSAR. 2005. Lineamientos para el manejo de las aguas subterráneas a fin de mantener las características ecológicas de los humedales. Uganda. 42 p.
- Richters, E. 1985a. Descripción del uso de la tierra en áreas rurales: perfil general. Turrialba, CR, CATIE. 8 p.
- _____, E. 1985b. Introducción al manejo del uso de la tierra y una de sus actividades principales: la evaluación de tierras. Turrialba, CR, CATIE. 18 p.
- Rivera, K. 2005. Diagnóstico agrosocioeconómico, una herramienta para planificar la gestión, en la subcuenca del río Jucuapa. Matagalpa, Nicaragua, INTA. 17 Diapositivas. Disponible en web: www.Rivera.gob.ni/mesas/SOCIOECONOMIA/DIAGNOSTICO%20AGROSOCIOECONOMICO.pdf
- Sánchez S. 2004. Hidrogeología. Departamento de geología, Universidad de Salamanca España. Disponible en web: <http://web.usal.es/~javisan/hidro/>

- Schosinsky y Losilla. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central* 23: 43-55
- Segerer, C; Villodas; E. 2006. Hidrología I: infiltración. Material de referencia en curso de ingeniería civil, facultad de ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. 10 p.
- Stadtmuller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo. Una revisión bibliográfica. Turrialba, CR, CATIE. 62 p.
- UNESCO. 1986. Manual de uso y conservación del agua en zonas rurales de América Latina y el Caribe: agua, vida y desarrollo, tomo 2. 120 p.
- Vásquez V; Chang N. 1992. El riego: principios básicos, tomo I. 160 p.
- Veenhuizen, R. 2000. Revisión de bases técnicas. In Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia experiencias en América Latina. FAO. p. 6 - 23 consultado el 30 agosto 2007. Disponible en <http://www.fao.org/Regional/LAmerica/prior/reclnat/pdf/capta/rev.pdf>
- Villón, M. 2004. Hidrología. Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. 386 p.
- World Visión. 2004. Manual de Manejo de Cuencas. El Salvador, World Visión. 154 p.

7. ANEXOS

Anexo I.

Diseño metodológico para la ejecución de eventos de capacitación a productores (as)

INFORMACIÓN GENERAL

Nombre del evento

ZONAS DE RECARGA HÍDRICA: conceptos y elementos para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica

Tipo de evento

Taller participativo

Municipio

Matagalpa

Facilitador

Oscar Danilo Matus Silva

Calendario ejecución de eventos

Comunidad	Fecha	Lugar	Actividad	Técnico de apoyo
Ocote Sur	06/02/2007	Paulo Cruz	Taller participativo	Ing. Jhonny Montalván
Las Mercedes	07/02/2007	Presentación Orozco	Taller Participativo	Ing. Roger Mendoza
Ocotal	13/02/2007	Casa comunal	Taller participativo	Ing. Jhonny Montalván
Jucuapa Centro	16/02/2007	Casa de la mujer	Taller participativo	Ing. Arlen Payán
Jucuapa Occidental	21/02/2007	Silvano Aguilar	Taller participativo	Ing. Arlen Payán
Jucuapa abajo	22/02/2007	Casa de la mujer	Taller participativo	Ing. José R. Jarquín
Limixto	23/02/2007	Casa comunal	Taller participativo	Ing. José R. Jarquín

JUSTIFICACIÓN

En la subcuenca del río Jucuapa históricamente se han dedicado a la producción de granos básicos, café, hortalizas y ganadería en pequeña escala; donde las malas prácticas agropecuarias y forestales (cultivo de granos básicos en áreas de alta pendiente, deforestación especialmente a orillas de ríos y fuentes de agua, quema, uso excesivo de agroquímicos, sobrepastoreo, lavado de ropa en el río y beneficiado de café) desarrolladas a través del tiempo han provocado un desequilibrio ambiental, degradación de los recursos naturales (agua, suelo, bosque) y problemas sociales en las comunidades de la subcuenca (inseguridad alimentaria, problemas de salud pública, emigración en busca de mejores condiciones de vida, disputa por los derechos de agua).

La degradación y pérdida de las zonas de recarga hídrica está dado por los niveles de erosión de los suelos, la compactación y la deforestación que aunados disminuyen la infiltración del agua, favoreciendo la escorrentía superficial y disminuyendo la cantidad de agua que pueda llegar a los acuíferos subterráneos. La convergencia de estos factores afecta con mayor grado las zonas de pendientes muy inclinadas que favorecen la escorrentía. El hombre a través de la implementación de las diferentes actividades agrícolas, industriales, forestales y pecuarias, en sitios no apropiados, ha generado esta situación, donde las áreas de recarga se han venido disminuyendo, limitando la disponibilidad y la calidad del agua.

En la subcuenca del río Jucuapa se está presentando este escenario donde por acciones antrópicas de mal uso de la tierra, un pobre manejo ambiental y un deficiente manejo del agua a causa de la falta de reglas claras y la creciente competencia por el recurso hídrico, está resultando en el acelerado deterioro de las áreas de recarga hídrica y en la disminución de la oferta de agua en la subcuenca.

Ante esta situación es imperante la necesidad de establecer reglas claras que surgen del seno de las comunidades para que los pobladores se apropien, las adopten y las apliquen; así como hacer un alto y reflexionar sobre los usos, el manejo y la conservación que se está dando a los recursos naturales y el ambiente. Bajo este marco es de importancia identificar las zonas potenciales de recarga hídrica de las fuentes de agua de las comunidades en la subcuenca que permita orientar el uso, manejo y conservación de dichas áreas, en función de garantizar la disponibilidad y calidad del agua para sus diferentes usos.

OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS

Objetivo general

Participantes conozcan conceptos y elementos de las zonas de recarga hídrica, que les permita realizar un primer acercamiento de las áreas potenciales de recarga hídrica de las fuentes de agua en sus comunidades.

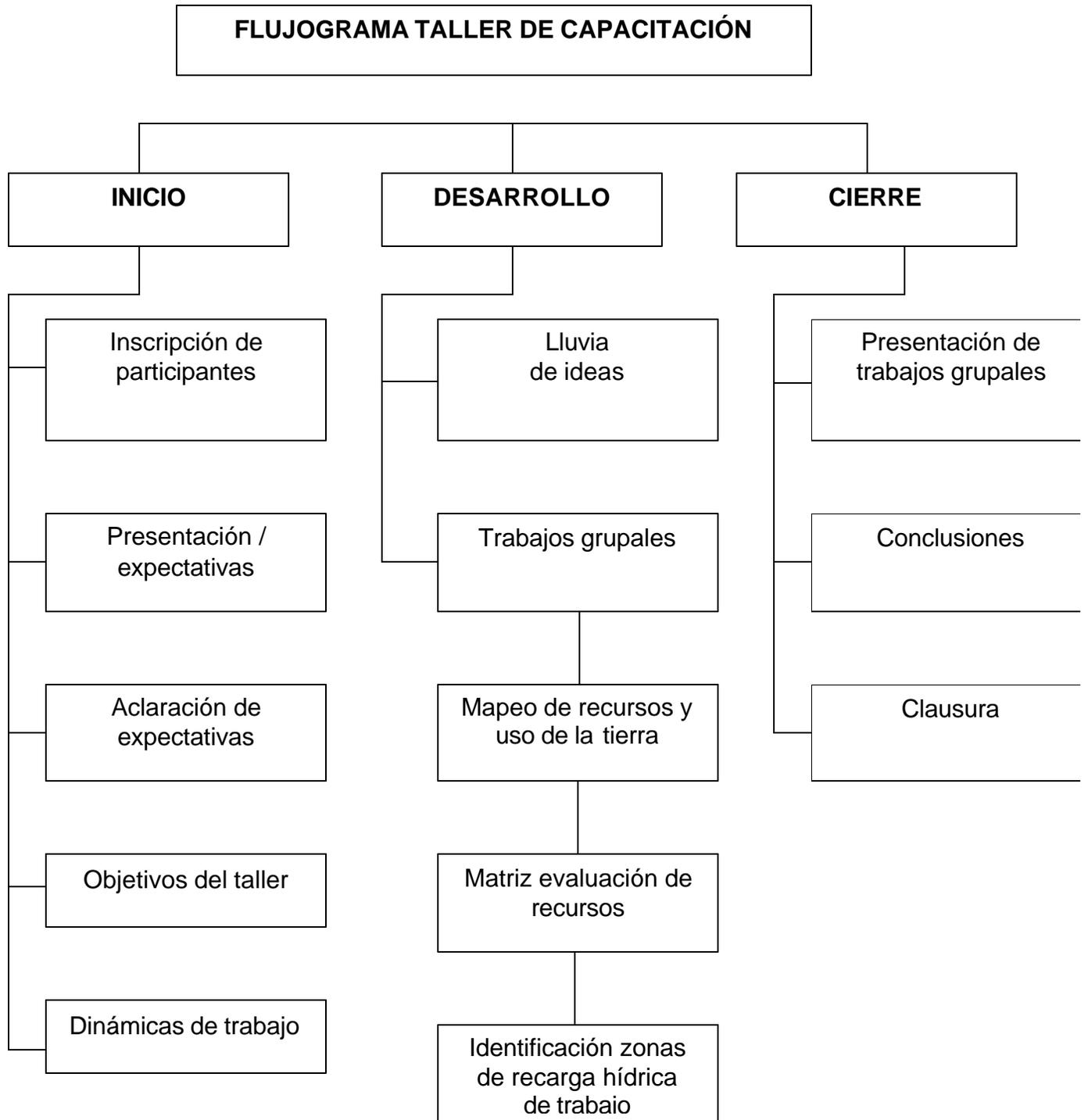
Objetivos específicos

- ✍ Construir con los y las participantes los conceptos básicos que ayuden a entender que son las áreas de recarga hídrica y su importancia en el manejo de los recursos hídricos.
- ✍ Brindar algunos elementos técnicos que combinados con sus conocimientos ayuden a comunitarios identificar las áreas potenciales de recarga hídrica en sus comunidades.
- ✍ Realizar un mapeo y evaluación del estado de los recursos naturales más relevantes de la comunidad.

Resultados esperados

RESULTADOS ESPERADOS	INDICADOR DE VERIFICACIÓN
Participantes construyen conceptos relacionados a las zonas de recarga hídrica.	Participantes contestan preguntas relacionadas con los conceptos construidos.
Participantes conocen, proporcionan y aplican elementos técnicos y los combinan con sus conocimientos para identificar zonas potenciales de recarga hídrica.	Mapa de zonas potenciales de recarga hídrica de las fuentes de agua en la comunidad. Elementos brindados por participantes para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.
Realizado el mapeo y evaluación de los principales recursos naturales de la comunidad.	Mapa de principales recursos naturales y matriz de evaluación de dichos recursos en la comunidad.

FLUJOGRAMA DEL EVENTO



PROGRAMA DEL EVENTO

Por la mañana

Hora	Actividad	Responsable
9:00 AM	Inscripción de participantes	Oscar Matus
9:00 – 9:25 AM	Presentación de asistentes y sus expectativas	Oscar Matus
9:25 – 9:30 AM	Aclaración de expectativas	Oscar Matus
9:30 – 9:40 AM	Objetivos del taller	Oscar Matus
9:40 – 9:50 AM	Dinámicas de trabajo	Oscar Matus
9:50 – 10:05 AM	REFRIGERIO	Participantes
10:05 – 11:15 AM	Dinámica de grupo lluvia de ideas	Oscar Matus
11:15 – 12:00 MD	Trabajos en grupo	Oscar Matus
12:00 – 12:30 PM	Presentación de trabajos grupales	Oscar Matus
12:30 – 12:35 PM	Clausura	Oscar Matus
12:35 PM	ALMUERZO	Participantes

Por la tarde

Hora	Actividad	Responsable
1:00 PM	Inscripción de participantes	Oscar Matus
1:00 – 1:25 PM	Presentación de asistentes y sus expectativas	Oscar Matus
1:25 – 1:30 PM	Aclaración de expectativas	Oscar Matus
1:30 – 1:40 PM	Objetivos del taller	Oscar Matus
1:40 – 1:50 PM	Dinámicas de trabajo	Oscar Matus
1:50 – 2:05 PM	REFRIGERIO	Participantes
2:05 – 3:15 PM	Dinámica de grupo lluvia de ideas	Oscar Matus
3:15 – 4:00 PM	Trabajos en grupo	Oscar Matus
4:00 – 4:30 PM	Presentación de trabajos grupales	Oscar Matus
4:30 – 4:35 PM	Clausura	Oscar Matus
4:35 PM	COMIDA	Participantes

DISEÑO METODOLÓGICO

A continuación se realiza una descripción y explicación de cada una de las actividades a ejecutar durante el taller de capacitación.

1. Inscripción de participantes

Objetivo

Contar con un registro de verificación que permita constatar la asistencia al evento de capacitación de los pobladores y/o todos los invitados.

Desarrollo

La actividad consiste en que cada participante proporcione sus datos personales, para lo cual se le proporcionará un formato que contará con elementos como nombres y apellidos, sexo, número de cédula, comunidad y firma.

2. Presentación y expectativas de los participantes

Objetivo

Conocer a los y las participantes y las expectativas que tienen acerca del taller.

Desarrollo

Cada individuo da a conocer su nombre y apellido, y lo que espera del taller.

3. Aclaración de expectativas

Objetivo

Esclarecer las percepciones sobre el taller.

Desarrollo

El facilitador de manera rápida explicará los motivos del taller y aclarará las dudas al respecto.

4. Presentar los objetivos del taller

Objetivo

Dar a conocer a los y las participantes los objetivos planteados ha cumplir con el desarrollo del taller.

Desarrollo

Esta actividad consiste en que el facilitador presenta en papelones a los y las participantes los objetivos a cumplir en el evento, se analizan y reflexiona.

5. Dinámicas de trabajo a usar en el evento

Objetivo

Dar a conocer y explicar las dinámicas de trabajo que se utilizarían en el evento y que permitirán cumplir los objetivos planteados.

Desarrollo

El facilitador presenta en papelones los diferentes herramientas metodológicas a usar en el taller, explica en qué consiste cada una de ellas y orienta sobre la forma de organización para aplicarlas.

6. Lluvia de ideas

Objetivo

Obtener información acertada y rápida del conocimiento local acerca de lo que entienden por zonas de recarga hídrica (o de mayor infiltración del agua en el suelo) y de como ellos identificarían estas áreas en campo.

Desarrollo

Para esta dinámica se conformarán cuatro grupos de trabajo (uno por cada pregunta)

- ✍ Consiste en introducir la dinámica con las preguntas
 - ¿Qué entienden por zonas de recarga hídrica o de mayor infiltración del agua en el suelo?
 - ¿Cómo identificarían las zonas potenciales de recarga hídrica en campo?
 - ¿Según su experiencia cuáles son los mejores sitios para que ocurra la recarga/infiltración? ¿Qué características deben tener (tipo de suelo, cobertura vegetal permanente, pendientes, uso del suelo)?
- De acuerdo a su experiencia ¿Qué tipo de vegetación favorece más la infiltración del agua en el suelo? Se escribirán las preguntas en papelones.
- ✍ Orientar a los grupos que deben visualizar todas las ideas expresadas sobre tarjetas (una por tarjeta).
- ✍ El facilitador reúne todas las tarjetas por grupo (pregunta) y las coloca sobre la pizarra, leyendo cada una en voz alta.
- ✍ Se procede a consensuar con todos los participantes lo realizado por cada grupo, se realizará un ejercicio de análisis, se construyen los conceptos y se identifican los elementos para determinar las zonas de recarga hídrica.

7. Trabajos en grupo

Objetivo

Que las y los participantes identifiquen las zonas potenciales de recarga hídrica de las fuentes de agua de su comunidad (mapa de dichas zonas), que realicen la identificación y mapeo de los principales recursos naturales en la comunidad y efectúen una evaluación del estado de esos recursos naturales.

Desarrollo

Esta actividad consiste en conformar tres grupos de trabajo para que se trabaje cada uno de los temas, identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, mapeo de los principales recursos naturales y evaluación de dichos recursos naturales.

- ✍ La identificación de zonas potenciales de recarga hídrica de las fuentes de agua en la comunidad, se realizará con base en los elementos proporcionados en el taller, así como en las experiencias y conocimientos de las y los integrantes del grupo de trabajo. El procedimiento a seguir será:
 - ✍ Identificación de manantiales o puntos de agua que los beneficien en la comunidad.
 - ✍ Determinar áreas de recepción de agua (aguas arriba del punto de descarga).
 - ✍ Identificar evidencias prácticas y experiencia local o personal.
 - ✍ Utilizar los elementos básicos para identificar las áreas potenciales de recarga hídrica (suelo, pendiente, cobertura permanente, uso del suelo, precipitación).
 - ✍ Determinar áreas de influencia a través del mapeo en campo.
 - ✍ Caracterización de las zonas identificadas y delimitadas.
 - ✍ Mapeo final y memoria descriptiva.
- ✍ Mapeo de los principales recursos naturales de la comunidad. El facilitador discutirá con los y las integrantes del grupo como se hará el mapa y que temas se incluirán (camino, ríos, fuentes de agua, bosque, topografía del terreno, etc), así como ayudará con el arranque (puntos de referencia) y luego deja que el grupo trabaje solo.
- ✍ Matriz de evaluación de los recursos naturales. El facilitador en conjunto con los integrantes del grupo establecerán los parámetros y criterios de evaluación, se preparará una matriz que integre los diferentes criterios elegidos, concensuar sobre la escala sencilla de ponderación y por ultimo se procede a efectuar la evaluación donde se puede trabajar por consenso (todos se ponen de acuerdo sobre una puntuación) o por votación (cada uno apunta su evaluación).

Matriz de evaluación de recursos

RECURSOS	CANTIDAD ¿Hay suficiente para todos?	CALIDAD	PROBLEMÁTICA	SOLUCIONES
Agua				
Suelo				
Bosque				

8. Presentación de trabajos grupales

Objetivo

Que los y las participantes den a conocer o socialicen el trabajo realizado dentro de cada grupo, se generen discusiones alrededor de cada trabajo y llegue a un consenso y se anoten todas las opiniones.

Desarrollo

Cada grupo de trabajo presentará en papelones los resultados logrados, explicarán lo realizado; el facilitador fomentará la discusión y se incorporarán los comentarios de los diferentes participantes.

9. Clausura

Objetivo

Brindar las conclusiones del evento, agradecer la participación y colaboración a los asistentes al taller, y coordinar próximas acciones.

Anexo 2.

Lista de asistencia a eventos de capacitación

Lugar: El Ocotal

Total de participantes: 40 Mujeres 5 Hombres 35

Fecha: 13 de febrero del 2007

Temática: ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

Nº	Nombre y Apellido	H	M	Firma
1	Nelson David Martínez	X		
2	Leonel Ochoa Figueroa	X		
3	Ventura Orozco López	X		
4	David Martínez Cruz	X		
5	Justiniano Ramos Fernández	X		
6	Henry García Martínez	X		
7	Efraín Martínez Quintero	X		
8	José Antonio Orozco Sequeira	X		
9	Santos Pérez Orozco	X		
10	Clemente Orozco Escobar	X		
11	Ángel Ochoa Figueroa	X		
12	Gustavo Martínez Masis	X		
13	Mario Aguilar Castro	X		
14	Julio Martínez Quintero	X		
15	Juana Ríos Orozco		X	
16	Juana Ernestina Martínez		X	
17	Celia Castro Pérez		X	
18	Feliciano Quintero Sánchez	X		
19	Heriberto Ochoa Figuero	X		
20	Jesús Ochoa Figueroa	X		
21	José Ramón Castro Ochoa	X		
22	Timoteo Castro Orozco	X		
23	Juan Francisco Castro Pérez	X		
24	Rolando Aguilar Orozco	X		
25	Miguel Ángel Pérez	X		
26	Virgilio García Aguilar	X		
27	Mercedes López Mercado	X		
28	Martín Antonio Ochoa	X		
29	Erling Ricardo Aguilar	X		
30	Noel Sequeira Lanza	X		
31	Aura María Días Leiva		X	
32	Ronaldo Castro Pérez	X		
33	Rufino Herrera Arauz	X		
34	Marcial Orozco Castro	X		
35	Francisco Antonio Rayo	X		
36	Cesar Flores Escoto	X		
37	Celso Nazario Castro	X		
38	Aura Esther Orozco		X	
39	Alim Francisco Rayo López	X		
40	Pedro Pablo Salgado Castro	X		

Lugar: Jucuapa Centro

Total de participantes: 30 Mujeres 6 Hombres 24

Fecha: 16 de febrero del 2007

Temática: ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

Nº	Nombre y Apellido	H	M	Firma
1	Anastasio Martínez Valle	X		
2	Juan Valle	X		
3	Concepción Rayo Hernández		X	
4	Bernarda Flores		X	
5	Adrián Martínez Castro	X		
6	Nelson Valle	X		
7	Carmelo Dávila	X		
8	Rolando Martínez	X		
9	José Vallejos	X		
10	Cruz Méndez Rodríguez	X		
11	Augusto Salmerón	X		
12	Narciso García	X		
13	Martín Hernández	X		
14	Álvaro Dávila	X		
15	Alejandra de la Cruz González		X	
16	Gerardo Rodríguez	X		
17	Juan de Dios Dávila	X		
18	Carlos González	X		
19	Francisco Dávila	X		
20	Ronald Dávila	X		
21	Santiago Leiva	X		
22	Janethe López		X	
23	José Andrés Martínez	X		
24	Juan José Castro	X		
25	Pedro Ramos	X		
26	Jesús Cruz	X		
27	Heliodoro Méndez	X		
28	Octaviana Maran		X	
29	Pedro Flores	X		
30	Arlen Payán		X	

Lugar: Jucuapa Occidental

Total de participantes: 27 Mujeres 11 Hombres 16

Fecha: 20 de febrero del 2007

Temática: ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

Nº	Nombre y Apellido	H	M	Firma
1	Silvano Aguilar	X		
2	William Aguilar	X		
3	Amanda Chavarría		X	
4	Rosalba Cruz		X	
5	Epifanía Aguilar		X	
6	Luisa Flores		X	
7	José Luis Aguilar	X		
8	José Teodoro Aguilar	X		
9	Leonel Hernández	X		
10	León Calixto	X		
11	Yader Cruz	X		
12	Erlinda Matus		X	
13	Gustavo Aguilar	X		
14	Rubén Aguilar	X		
15	Santa Mari Flores	X		
16	Uriel Aguilar	X		
17	Byron Flores	X		
18	Marcial González	X		
19	Auxiliadora Cruz Altamirano		X	
20	Freddy Aguilar	X		
21	Martha Aguilar		X	
22	Amadeo Flores	X		
23	Enagelina Flores		X	
24	Rigoberta		X	
25	Valeria Méndez		X	
26	Leopoldo Aguilar	X		
27	Arlen Payán		X	

Lugar: Las Mercedes

Total de participantes: 32 Mujeres 3 Hombres 29

Fecha: 07 de febrero del 2007

Temática: ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

Nº	Nombre y Apellido	H	M	Firma
1	Presentación Orozco Sequeira	X		
2	Oscar René Sosa Ruiz	X		
3	German Hernández	X		
4	Martín López Téllez	X		
5	Juan José Lorente Salina	X		
6	Roberto Escobar	X		
7	Víctor Gómez Salgado	X		
8	Juan José Salgado	X		
9	Isidra del Carmen Colindre		X	
10	Santos Colindre Godinez	X		
11	Pedro Velásquez	X		
12	Ricardo salas	X		
13	Eduardo Jesús Rodríguez	X		
14	Presentación Cruz Cruz	X		
15	Genaro González	X		
16	Pablo Días Sánchez	X		
17	Mario Concepción Flores	X		
18	Emiliano Días	X		
19	Pablo Pérez Fernández	X		
20	Santos Antonio Rodríguez	X		
21	Donaldo Orozco	X		
22	Armando González	X		
23	José Bolívar Granado	X		
24	Marcial Cruz Ramos	X		
25	Felicidad Altamirano		X	
26	Raymundo Díaz	X		
27	Genoveva López		X	
28	Oscar Danilo Fernández	X		
29	José Adán Orozco	X		
30	Victoriano Granado	X		
31	Santos Sixto Hernández	X		
32	Roger Mendoza Ríos	X		

Lugar: Limixto

Total de participantes: 23 Mujeres 5 Hombres 18

Fecha: 23 de febrero del 2007

Temática: ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

Nº	Nombre y Apellido	H	M	Firma
1	Roberto Hernández	X		
2	Antonia Díaz Solórzano		X	
3	Magdalenio Díaz Rodríguez	X		
4	Simón Obregón López	X		
5	Santiago Díaz Flores	X		
6	Rafael Aguilar Rodríguez	X		
7	José Isabel Méndez Méndez	X		
8	Amada Castro Sánchez		X	
9	Nery Solórzano Mejía		X	
10	Jerling Hernández Mercados		X	
11	Baltasar Sosa	X		
12	Faustino Díaz Hernández	X		
13	Félix Díaz Méndez	X		
14	Juan Francisco Méndez Flores	X		
15	Fabio Alonso Salgado	X		
16	Nelson Salgado Alonso	X		
17	Alberto Sánchez Díaz	X		
18	Virgilio Días Gómez	X		
19	Rosa Salgado Herrera		X	
20	Isidro Díaz Gómez	X		
21	Pedro Díaz Pérez	X		
22	José Heliodoro Flores Méndez	X		
23	José Ramón Jarquín	X		

Lugar: Ocote Sur

Total de participantes: 37 Mujeres 8 Hombres 29

Fecha: 06 de febrero del 2007

Temática: ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

Nº	Nombre y Apellido	H	M	Firma
1	Pablo Cruz	X		
2	Severiano Cruz Cruz	X		
3	Antonio Castro Morales	X		
4	Pedro Orozco Espino	X		
5	Carmelo Cruz Cruz	X		
6	Pedro José Escoto Leiva	X		
7	Mauricio Cruz Ramos	X		
8	Benedicto Méndez Díaz	X		
9	Sabino García Ramos	X		
10	Saturnino Orozco Espino	X		
11	Pedro Julio Flores Rivas	X		
12	Manuel Méndez Leiva	X		
13	Jairo Cruz Ramos	X		
14	Miguel Flores Ramos	X		
15	Francisco Betanco Matus	X		
16	Noel Emiliano Leiva Tercero	X		
17	Henry Francisco Díaz Cruz	X		
18	Alfredo Betanco Méndez	X		
19	Fedelina Ramos Salgado		X	
20	Leonor Díaz Orozco		X	
21	Francisco Javier Cruz Ramos	X		
22	Petrona Cruz Ramos		X	
23	Hipólita Cruz Ramos		X	
24	Azucena Herrera		X	
25	Domilita Orozco López		X	
26	Norman Alonso Fernández	X		
27	Denis Alonso Fernández	X		
28	Balvino Ramos Alonso	X		
29	David Santiago López	X		
30	Orlando Rayo Orozco	X		
31	José María Díaz	X		
32	José Ángel Díaz Orozco	X		
33	Carmen Díaz Orozco	X		
34	Alexander Antonio García	X		
35	José Ramón Jarquín	X		
36	Noelia García Salazar		X	
37	Karla Flores Centeno		X	

Lugar: Jucuapa Abajo

Total de participantes: 33 Mujeres 14 Hombres 19

Fecha: 22 de febrero del 2007

Temática: ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

Nº	Nombre y Apellido	H	M	Firma
1	Anita Matus Mairena		X	
2	Johana Flores Peralta		X	
3	Fidencio Matus López	X		
4	Samuel López G	X		
5	Marcos Rizo Martínez	X		
6	Antonio González	X		
7	Delfín Gómez Montenegro	X		
8	Sobeyda Matus Gómez		X	
9	Angélica Mejía Vidaurre		X	
10	Dimas Matus Sánchez	X		
11	Eddy Fanor Sánchez	X		
12	Felipe Salgado Herrera	X		
13	María Magdalena Salgado		X	
14	Jilma Salgado Herrera		X	
15	Terencio García	X		
16	Leonel Barbas González	X		
17	Francisco Salgado Flores	X		
18	Julio Salgado Herrera	X		
19	Gumercinda Chavarria		X	
20	Juan Sánchez Herrera	X		
21	Javier José Matus Mairena	X		
22	Elinor Chavarria Gómez		X	
23	Petrona Guillen Castro		X	
24	Nicolás Rizo Martínez	X		
25	Víctor Salgado Matus	X		
26	María Cristina Salgado Gómez		X	
27	Ligia Salgado Herrera		X	
28	Jamilethe García Averzuz		X	
29	Nalia García		X	
30	José Ramón Jarquín	X		
31	Calixto Escobar Benavides	X		
32	Alberto Hernández Blandòn	X		
33	Dania Matus Sánchez		X	

PROTOCOLO DE ENTREVISTA SEMI-ESTRUCTURADA-COMUNITARIOS

Saludos y presentación.

Explicar objetivo de la entrevista.

Se está desarrollando un estudio de investigación cuyo objetivo es la elaboración participativa de una metodología para la delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca de Jucuapa. Dicho estudio se realiza dentro del marco de trabajo del Programa FOCUENCAS II para el manejo sostenible del agua y medio ambiente con la participación del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) en coordinación con el Comité de Cuencas del río Jucuapa.

El propósito de la investigación es coleccionar información relacionada con el estudio o conocimiento de las aguas subterráneas y/o subsuperficiales considerando el conocimiento o aspectos técnicos, el conocimiento local de las comunidades, combinar ambos conocimientos y construir en conjunto con los diferentes actores y colaboradores una metodología práctica y de fácil aplicación en campo que permita delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. La identificación de estas áreas nos permitirá orientar el uso, manejo y conservación de dichas zonas en función de garantizar la disponibilidad y calidad del agua para sus diferentes usos.

En el diseño o elaboración de la metodología se requiere recabar u obtener información de los diferentes actores locales relacionada con las zonas de mayor infiltración del agua en el suelo (áreas de recarga) dentro de su finca o la comunidad y la forma o manera de como según su experiencia se podrían identificar estas zonas, es decir, qué elementos o criterios consideraría para delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica. Por lo cual le solicito permiso para entrevistarle, no sin antes aclararle que su participación es voluntaria si no desea participar o alguna pregunta no desea contestar puede comunicármelo. Por otro lado, le aclaro que su respuesta es anónima, por lo que no colocamos su nombre en la entrevista. Si mi pregunta no es clara o necesita alguna explicación por favor pregúnteme con mucho gusto le aclaro o le formulo la pregunta de otra forma.

Información general

Comunidad	
Años de vivir en la comunidad	
Sexo y edad	
Número de personas que habitan en su casa	
Fuente de ingreso	
Número de personas que trabajan	
¿Hay fuentes de agua en su finca (que tipo)?	
¿De dónde toma el agua para consumo de la comunidad?	

¿Explicar al entrevistado que es una zona de recarga hídrica y como ocurre la infiltración?

1. ¿Qué lugar en su finca se estanca el agua? ¿Dónde se infiltra rápido? ¿Qué características tienen los lugares con infiltración rápida? (tipo de suelo, vegetación, topografía, lluvias, uso del suelo, etc.)
2. ¿Cuáles son los mejores sitios o los mas apropiados para que se dé la infiltración del agua en el suelo?
3. ¿Qué métodos o formas conoce usted para localizar los sitios de mayor infiltración en su finca o comunidad? ¿es efectivo? ¿Cuáles son las ventajas y desventajas (lista)?
4. ¿Qué características cree usted debe tener un suelo para que favorezca la infiltración? (Textura, materia orgánica, permeabilidad, profundidad, porosidad, etc.)
5. ¿Usted cree que las piedras influyen o tiene que ver con la infiltración del agua en el suelo? ¿Por qué?
6. ¿Conoce usted los tipos de piedra que hay en su finca o comunidad? ¿Los puede identificar, qué tipos conoce / me los puede mencionar? ¿Cuál cree usted favorece más la infiltración? ¿Por qué?
7. ¿De qué manera cree usted que las pendientes influyen en la infiltración (positiva o negativamente)? ¿Por qué?
8. ¿Dónde cree usted que se favorece la infiltración en:
Pendientes pronunciadas
Lugares ondulados
Sitios planos?
9. ¿Cree usted que una buena cobertura del suelo tiene que ver con la infiltración del agua? ¿Por qué?
10. ¿Según su experiencia que tipo de vegetación favorece más la infiltración del agua en el suelo? (un bosque, pasto, malezas, cultivos anuales, frutales, otros) ¿Por qué? Según su experiencia enumere en orden de prioridad las tres coberturas que favorecen más la infiltración.
11. ¿Conoce algún tipo de planta que le indique a usted donde se encuentra el agua? ¿Qué planta?
12. ¿Usted cree que la lluvia es un factor que favorece la infiltración? ¿Por qué? ¿En dónde hay mayor infiltración en los lugares que llueve mucho o en lo que llueve poco?
13. ¿Qué prácticas agropecuarias (agricultura y ganadería) cree usted no favorecen la infiltración del agua? (lista de práctica) ¿Por qué?
14. ¿Qué prácticas agropecuarias (agrícolas y pecuarias) conoce que favorecen la infiltración del agua en el suelo? (lista de práctica)
15. ¿Como identificaría usted los sitios de mayor infiltración/recarga en su finca?
16. ¿Como reconoce o localiza los sitios para perforar un pozo? ¿Qué métodos o formas conoce usted para localizar los sitios donde perforar pozos? ¿Qué características deben tener estos sitios? Por ejemplo tipo de suelo, pendiente, vegetación, cercanía a ríos o fuentes de agua, etc.
17. ¿Considera usted que son efectivos estos métodos que usted conoce, los han aplicado, a dado buen resultado? ¿Cuál es el más efectivo?
18. ¿Tienen ventajas estos métodos o formas de localizar dichos sitios? ¿Cuáles? ¿Cuáles son las desventajas según usted que tiene el método o forma de localizar dichos sitios?
19. ¿Qué prácticas que se realizan en la subcuenca favorecen o no la calidad de las aguas? (lista de práctica)
20. ¿Considera usted que en la subcuenca será una prioridad alta actualmente o en el futuro la protección de las zonas de recarga? ¿Por qué?

Anexo 4.

Diálogo semi-estructurado para técnicos



PROTOCOLO DE ENTREVISTA SEMI-ESTRUCTURADA-TÉCNICOS

Saludos y presentación.

Explicar objetivo de la entrevista.

Se está desarrollando un estudio de investigación cuyo objetivo es la elaboración participativa de una metodología para la delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Jucuapa. Dicho estudio se realiza dentro del marco de trabajo del Programa FOCUENCAS II para el manejo sostenible del agua y medio ambiente con la participación del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) en coordinación con el Comité de Cuencas del río Jucuapa.

El propósito de la investigación es coleccionar información relacionada con el estudio o conocimiento de las aguas subterráneas y/o subsuperficiales considerando el conocimiento o aspectos técnicos, el conocimiento local de las comunidades, combinar ambos conocimientos y construir en conjunto con los diferentes actores y colaboradores una metodología práctica y de fácil aplicación en campo que permita delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. La identificación de estas áreas permitirá orientar el uso, manejo y conservación de dichas zonas en función de garantizar la disponibilidad y calidad del agua para sus diferentes usos.

En el diseño o elaboración de la metodología se requiere recabar u obtener información de los diferentes actores locales relacionada con las zonas de mayor infiltración del agua en el suelo (áreas de recarga) dentro de su finca o la comunidad y la forma o manera de como según su experiencia se podrían identificar estas zonas, es decir, que elementos o criterios consideraría para delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica. Por lo cual le solicito permiso para entrevistarle, no sin antes aclararle que su participación es voluntaria si no desea participar o alguna pregunta no puede o no desea contestar puede comunicármelo. Por otro lado le aclaro que su respuesta es anónima, por lo que no colocamos su nombre en la entrevista. Si mi pregunta no es clara o necesita alguna explicación por favor pregúnteme con mucho gusto le aclaro o le formulo la pregunta de otra forma.

1. ¿Puede explicarme que entiende por recarga hídrica?
2. ¿Qué entiende por zonas de recarga hídrica?
3. ¿Ha identificado en campo alguna vez zonas de recarga hídrica o áreas de gran infiltración? ¿Cómo lo ha realizado?(procedimiento)
4. ¿Qué características considera usted tienen estos lugares (zonas de recarga/áreas de gran infiltración)? o ¿Cuáles son los mejores sitios para que ocurra la recarga?
5. ¿Qué métodos o formas prácticas conoce usted para localizar los sitios de mayor infiltración/zona de recarga hídrica? ¿Puede explicarlos? ¿Los ha aplicado? ¿Son efectivos? ¿Puede comentarme sobre ventajas o desventajas de estos métodos?
6. ¿Qué características debe tener un suelo para que favorezca la infiltración?
7. ¿El tipo de roca/piedra influye en la recarga/infiltración? ¿Por qué?
8. ¿Puede identificar los tipos de roca/piedra en campo? ¿Qué tipos de piedra conoce? ¿Cuáles favorecen la infiltración y Cuáles no? ¿Por qué?
9. ¿De qué manera las pendientes influyen en la infiltración/recarga hídrica (positiva o negativamente)? ¿Por qué?
10. ¿De qué manera el relieve influye en la infiltración y recarga hídrica?
11. ¿De qué forma la cobertura del suelo influye en la infiltración del agua y/o la recarga?
12. ¿Según su experiencia que tipo de vegetación favorece más la infiltración del agua en el suelo? (un bosque, pasto, malezas, cultivos anuales, frutales, otros) ¿Por qué?
13. ¿Conoce algún tipo de planta que le indique a usted donde se encuentra el agua? ¿Qué planta?
14. ¿Cómo la lluvia o la distribución de estas favorece o no la infiltración? Por ejemplo que ocurre cuando la $P=E$, $P>E$ o $P<E$ (P =precipitación, E =evapotranspiración).
15. ¿Considera que el cambio climático influye en la recarga y/o identificación de las zonas de recarga? ¿Por qué?
16. ¿Qué prácticas agropecuarias (agricultura y ganadería) cree usted no favorecen la infiltración del agua? (lista de práctica) ¿Por qué?
17. ¿Qué prácticas agropecuarias (agrícolas y pecuarias) conoce que favorezcan la infiltración del agua en el suelo? (lista de práctica)
18. ¿Qué elementos utilizaría en la identificación de las zonas de recarga hídrica/mayor infiltración de forma práctica y de fácil aplicación en campo?
19. ¿Qué métodos o formas conoce usted para localizar los sitios donde perforar pozos?
20. ¿Qué características deben tener estos sitios? Por ejemplo tipo de suelo, pendiente, vegetación, cercanía a ríos o fuentes de agua, etc.
21. ¿Considera usted que son efectivos estos métodos que usted conoce, los ha aplicado, a dado buen resultado? ¿Cuál es el más efectivo? ¿Puede comentarme sobre ventajas o desventajas de estos métodos?
22. ¿Qué practicas que se realizan en la subcuenca favorecen o no la calidad de las aguas? (lista de prácticas)
23. ¿Cuáles son las estrategias que consideraría para el manejo de las zonas de recarga hídrica?
24. ¿Usted cree que los comunitarios cuentan con los recursos o condiciones para aplicar las estrategias de manejo en las zonas de recarga hídrica?
25. ¿Considera usted que en la subcuenca será una prioridad alta actualmente o en el futuro la protección de las zonas de recarga? ¿Por qué?

PROTOCOLO DE ENTREVISTA SEMI-ESTRUCTURADA-ESPECIALISTAS

Saludos y presentación.

Explicar objetivo de la entrevista.

Se está desarrollando un estudio de investigación cuyo objetivo es la elaboración participativa de una metodología para la delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca de Jucuapa. Dicho estudio se realiza dentro del marco de trabajo del Programa FOCUENCAS II para el manejo sostenible del agua y medio ambiente con la participación del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) en coordinación con el Comité de Cuencas del río Jucuapa.

El propósito de la investigación es coleccionar información relacionada con el estudio o conocimiento de las aguas subterráneas y/o subsuperficiales considerando el conocimiento o aspectos técnicos, el conocimiento local de las comunidades, combinar ambos conocimientos y construir en conjunto con los diferentes actores y colaboradores una metodología práctica y de fácil aplicación en campo que permita delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. La identificación de estas áreas nos permitirá orientar el uso, manejo y conservación de dichas zonas en función de garantizar la disponibilidad y calidad del agua para sus diferentes usos.

En el diseño o elaboración de la metodología se requiere recabar u obtener información de los diferentes actores locales relacionada con las zonas de mayor infiltración del agua en el suelo (áreas de recarga) dentro de su finca o la comunidad y la forma o manera de como según su experiencia se podrían identificar estas zonas, es decir, que elementos o criterios consideraría para delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica. Por otro lado se recabará información del conocimiento de especialistas en geología, hidrogeología o profesiones afines con el estudio de las aguas subterráneas de cómo según su experiencia se pueden identificar de forma práctica y de fácil aplicación en campo por comunitarios y/o extensionistas las zonas de recarga hídrica o que elementos consideraría en dicha identificación. Por lo cual le solicito permiso para entrevistarlo.

1. ¿Puede explicarme que es la recarga hídrica?
2. ¿Qué es una zona de recarga hídrica?
3. ¿Cómo se clasifican las zonas de recarga hídrica?
4. ¿Qué relación se puede indicar entre el ciclo hidrológico y la recarga hídrica?
5. ¿Es importante considerar el balance hídrico o balance climático en la identificación práctica (de campo con productores) de zonas potenciales de recarga hídrica? ¿Por qué?
6. ¿Ha identificado en campo y de forma practica alguna vez zonas de recarga hídrica? Si la repuesta es sí ¿Cómo lo ha realizado?(procedimiento)
7. ¿Cuáles son los métodos que conoce para localizar las zonas de recarga hídrica? ¿Puede explicarlos? ¿Los ha aplicado? ¿Son efectivos? ¿Puede comentarme sobre ventajas o desventajas de estos métodos?

8. ¿Qué características considera usted deben tener las buenas zonas para la recarga hídrica? (tipo de suelo, vegetación, topografía, lluvias, uso del suelo, tipos de roca etc.) Explique cada una
9. ¿Puede explicarme un poco como identificar de forma práctica y de fácil comprensión para extensionistas y actores locales los tipos de roca que favorecen y no la recarga?
10. ¿Según su experiencia qué tipo de vegetación favorece mas la infiltración del agua en el suelo? (un bosque, pasto, malezas, cultivos anuales, frutales, otros) ¿Por qué?
11. ¿Conoce algún tipo de planta que le indique a usted donde se encuentra el agua en el subsuelo o a mayor profundidad? ¿Qué planta?
12. ¿Cómo la lluvia o la distribución de estas favorece o no la infiltración/recarga? Por ejemplo que ocurre cuando la $P=E$ o $P>E$ (P =precipitación, E =evapotranspiración).
13. ¿Considera que el cambio climático influye en la recarga y/o identificación de las zonas de recarga? ¿Por qué?
14. ¿Qué prácticas agropecuarias (agricultura y ganadería) cree usted no favorecen la recarga hídrica? (lista de práctica)
15. ¿Qué prácticas agropecuarias (agrícolas y pecuarias) conoce que favorecen la recarga hídrica? (lista de práctica)
16. ¿Qué elementos o criterios prácticos y de fácil aplicación para extensionistas y/o actores locales utilizaría en la identificación de las zonas de recarga hídrica en cuencas hidrográficas?
17. ¿Qué métodos o formas conoce usted para localizar los sitios donde perforar pozos?
18. ¿Qué característica deben tener estos sitios? Por ejemplo tipo de suelo, pendiente, vegetación, cercanía a ríos o fuentes de agua, etc.
19. ¿Considera usted que son efectivos estos métodos que usted conoce, los ha aplicado, a dado buen resultado? ¿Cuál es el más efectivo? ¿Puede comentarme sobre ventajas o desventajas de estos métodos?
20. ¿Cuál es la importancia de identificar las zonas de recarga hídrica en el manejo y gestión del recurso hídrico?
21. ¿Cuáles son las estrategias que consideraría para el manejo de las zonas de recarga hídrica?
22. ¿Considera usted que es una prioridad alta actualmente o será en el futuro la protección de las zonas de recarga? ¿Por qué?

Anexo 6.

Diseño metodológico para taller de evaluación de la metodología propuesta

INFORMACIÓN GENERAL

Nombre del evento

Taller de evaluación y/o consulta de la metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa.

Tipo de evento

Taller participativo

Municipio

Matagalpa

Facilitador

Oscar Danilo Matus Silva

Fecha ejecución del evento

Martes 29 de mayo del 2007

JUSTIFICACIÓN

La evaluación es un proceso que permite verificar de manera concreta el cumplimiento de los objetivos, esto genera información que nos habilita para reaccionar oportunamente, realizar ajustes y reorientar las acciones con el fin de obtener los alcances, impactos y resultados esperados.

Lo que se pretende con el trabajo de investigación es elaborar participativamente, con diferentes actores locales, una metodología práctica y de fácil aplicación en campo para la delimitación de las zonas potenciales de recarga hídrica en cuencas hidrográficas, aplicado a la subcuenca del río Jucuapa y contribuir con esto ha orientar el ordenamiento, manejo sostenible y conservación de estas áreas con el único propósito de garantizar la continuidad y calidad del recurso hídrico.

En este sentido se ha desarrollado un proceso de consulta a comunitarios, extensionistas, especialistas y revisión de literatura, con el propósito de lograr concertar participativamente la metodología para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, considerando e integrando el conocimiento local con los aspectos técnicos científicos.

Como producto de este proceso se ha logrado elaborar una metodología que busca ser la más sencilla y práctica en su aplicación para que en coordinación los actores locales puedan identificar y delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas.

Como parte del proceso metodológico diseñado para alcanzar el objetivo de la investigación y dándole continuidad a dicho proceso, se considera evaluar o someter a consideración de los diferentes actores insertos en este proceso la metodología, para que tenga el carácter participativo, en el cual se considera la opinión de los actores locales y se logre la concertación de los conocimientos locales y técnico científico.

Considerando lo expuesto anteriormente se sustenta y justifica la ejecución del presente taller donde se pretende evaluar y/o consultar la metodología elaborada participativamente para la identificación y delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa Matagalpa.

OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS

Objetivo general

Someter a consulta la metodología preliminar identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, con extensionistas que trabajan en la subcuenca río Jucuapa, para que evalúen los elementos de esta, la forma de determinarlos en campo y el grado de facilidad o complejidad para su aplicación en campo.

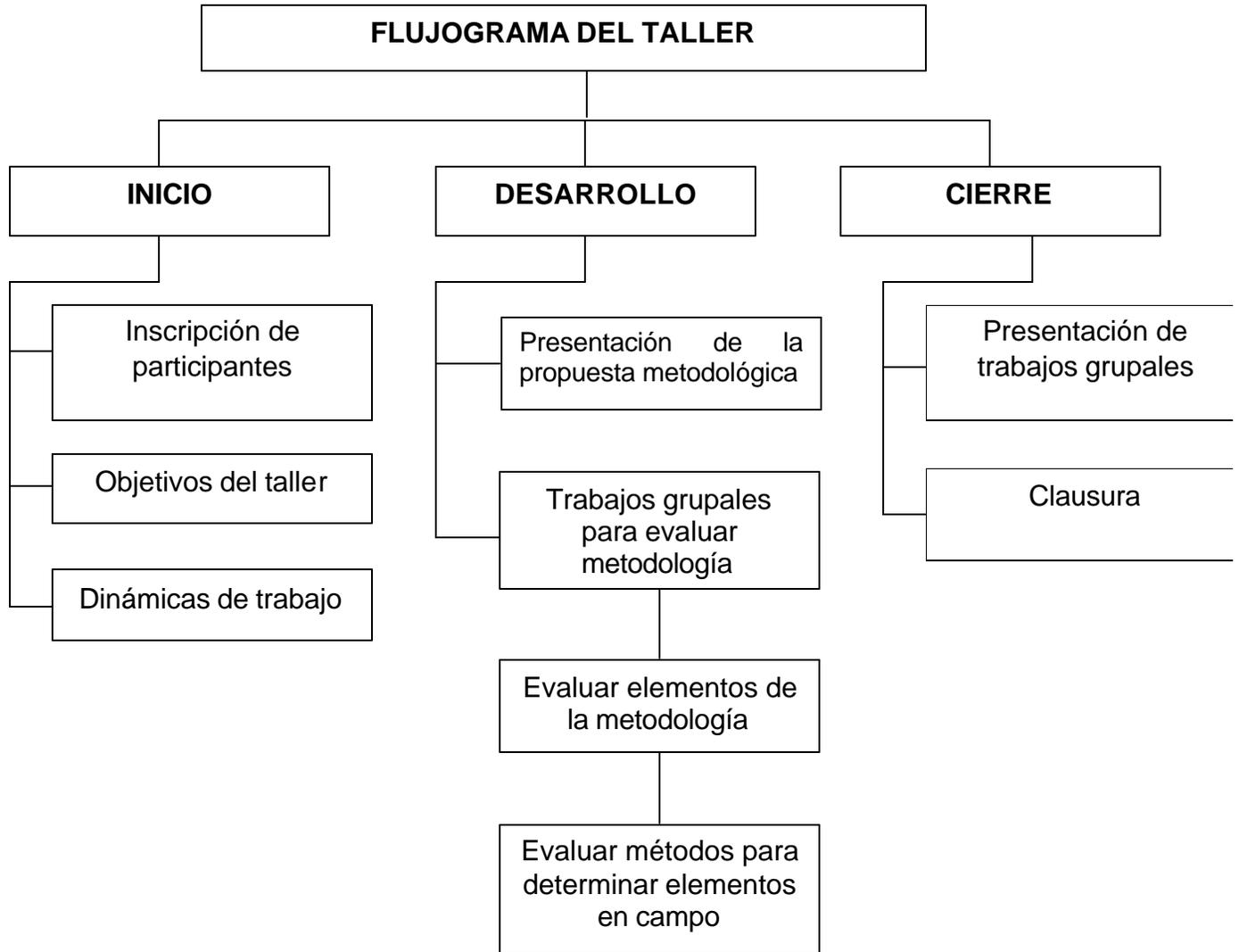
Objetivos específicos

- ☞ Que los participantes evalúen, brinden sus opiniones y sugerencias sobre los elementos de la metodología, agregando o manteniendo los elementos que se les presentan.
- ☞ Participantes evalúan los métodos propuestos para determinar en campo cada uno de los elementos de la metodología y su grado de facilidad o complejidad, brindan sus opiniones, proponen formas más sencillas y prácticas, y/o aprueban las propuestas.

Resultados esperados

RESULTADOS ESPERADOS	INDICADOR DE VERIFICACIÓN
Evaluados, mejorados y/o aprobados los elementos propuestos de la metodología por los potenciales usuarios.	Memorias de las evaluaciones realizadas por los participantes, donde expresan sus aportes y/o aprueban lo propuesto.
Evaluados, mejorados y/o aprobados los diferentes métodos prácticos para determinar los elementos metodológicos, así como su grado de facilidad y complejidad para aplicarlos en campo.	Memorias de las evaluaciones realizadas por los participantes, donde expresan sus aportes y el grado de facilidad y/o complejidad de los métodos propuestos.

FLUJOGRAMA DEL EVENTO



PROGRAMA DEL EVENTO

Hora	Actividad	Responsable
9:00 – 9: 20 AM	Inscripción de participantes	Oscar Matus
9:20 – 9:30 AM	Objetivos del taller	Oscar Matus
9:30 – 9:35 AM	Metodología y/o Dinámicas de trabajo	Oscar Matus
9:35 – 10:25 AM	Presentación de la propuesta metodológica en la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.	Oscar Matus
10:25 – 10:35 AM	REFRIGERIO	Participantes
10:35 – 11:35 AM	Dinámica de trabajo para evaluar los elementos de la metodología y los métodos propuestos para determinar dichos elementos en campo.	Participantes
11:35 – 12:35 AM	Presentación de trabajos grupales	Participantes
12:35 – 12:40 MD	Clausura	Oscar Matus y participantes
12:40 PM	ALMUERZO	Participantes

DISEÑO METODOLÓGICO

A continuación se realiza una descripción y explicación de cada una de las actividades a ejecutar durante el taller.

1. Inscripción de participantes

Objetivo

Contar con un registro de verificación que permita constatar la asistencia al taller de los miembros de los comités locales de cuencas del río Jucuapa y los técnicos/extensionistas invitados.

Desarrollo

La actividad consiste en que cada participante nos brinde sus datos personales, para lo cual se le proporcionará un formato que contará con elementos como: nombres y apellidos, sexo, número de cédula, comunidad y firma.

2. Presentar los objetivos del taller

Objetivo

Dar a conocer a los y las participantes los objetivos planteados ha cumplir con el desarrollo del taller.

Desarrollo

Esta actividad consiste en que el facilitador presenta en diapositivas a los y las participantes los objetivos a cumplir en el evento, se analizan y reflexiona.

3. Metodología y/o dinámicas de trabajo ha usar en el evento

Objetivo

Dar a conocer y explicar las dinámicas de trabajo que utilizaremos en el evento y que nos permitirán cumplir los objetivos planteados.

Desarrollo

El facilitador presenta en diapositivas las diferentes herramientas metodológicas a usar en el taller, explica en qué consiste cada una de ellas y orienta sobre la forma en que nos organizaremos para aplicarlas.

4. Presentación de la propuesta metodológica para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.

Objetivo

Presentar a los y las participantes un pequeño análisis de las entrevistas realizadas a comunitarios, extensionistas y especialistas, así como de los diferentes métodos que se usan en el estudio de las aguas subterráneas; lo que sirve de base para definir los elementos de la metodología de identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.

Presentar y explicar en qué consiste la metodología y cada uno de los pasos propuestos que se emplearán en la aplicación de la metodología y/o identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.

Todo esto servirá de base para los trabajos grupales, en los cuales los participantes evaluarán la propuesta metodológica que se les presenta.

Desarrollo

El facilitador presenta en diapositivas el análisis de las entrevistas (comunitarios, extensionistas, especialistas) y métodos que estudian las aguas subterráneas, así como la propuesta metodológica para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica. Se realiza una explicación y se aclaran las dudas que puedan surgir.

5. Dinámicas de trabajos en grupo

Objetivo

Que las y los participantes analicen, discutan, y brinden sus opiniones, sugerencias y/o recomendaciones sobre los elementos que integran la metodología y de los métodos para determinarlos, así como la facilidad a complejidad para aplicarlos en campo.

Desarrollo

Esta actividad consiste en someter los elementos y métodos identificados para determinarlos (los elementos) en campo a consulta con los diversos actores, realizando una evaluación y/o priorización entre elementos y dentro, es decir, de la forma para evaluar en campo cada elemento de la metodología.

En este proceso se conformarán dos grupos de trabajo para que evalúen, brinden sus opiniones, validen, agreguen nuevos criterios y se llegue a concertar participativamente la metodología.

El **primer grupo** realizará la evaluación de los elementos que conforman la metodología y los pasos para aplicarla. Para lo cual se le entregarán los elementos y los pasos a seguir.

Se preparará una matriz que integre los elementos, los pasos de la metodología y los criterios a evaluar, concensuar sobre la escala sencilla de ponderación y por último, se procede a efectuar la evaluación donde se puede trabajar por consenso (todos se ponen de acuerdo sobre una puntuación) o por votación (cada uno apunta su evaluación).

La evaluación de los elementos se efectuará utilizando la siguiente matriz diseñada para tal fin:

Criterios Elementos	¿Influye o no en la recarga, por qué?	¿Es una característica importante de las zonas de recarga o no?	¿Es importante considerarlo en la identificación de zonas de recarga o no?
Pendiente			
Forma del relieve			
Tipo de suelo			
Tipo de roca			
Cobertura vegetal			
Uso del suelo			

¿Agregaría algún otro elemento o dejaría tal como se le presentan los elementos que integran la metodología? ¿Cuál? ¿Por qué?

¿Siguen los pasos una secuencia y orden lógico para su aplicación o no?

¿Cambiaría o mantendría el orden de los pasos a seguir en la metodología?

Sugerir un orden de acuerdo a una secuencia lógica

Pasos	Ordenar de acuerdo ha secuencia lógica
Primer paso	
Segundo paso	
Tercer paso	
Cuarto paso	
Quinto paso	
Sexto paso	

Séptimo paso	
Octavo paso	

¿Agregaría algún otro paso o dejaría tal como se le presentan los pasos a seguir en la aplicación de la metodología? ¿Cuál? ¿Por qué?

El **segundo grupo** realizará la evaluación dentro de cada elemento, es decir, el método empleado para determinar o evaluar cada elemento de la metodología de forma práctica en campo, así como determinar el grado de facilidad o complejidad de estos métodos para ser aplicados por comunitarios y extensionistas.

Esta evaluación consiste en presentar (entregar) al grupo las diferentes formas de coleccionar, obtener y/o evaluar cada elemento en campo y que en conjunto evalúen y decidan sobre la forma más comprensible, y de fácil aplicación en campo.

Se preparará una matriz que integre las formas de coleccionar y evaluar cada elemento en campo, concensuar sobre la escala sencilla de ponderación y por último se procede a efectuar la evaluación donde se puede trabajar por consenso (todos se ponen de acuerdo sobre una puntuación) o por votación (cada uno apunta su evaluación).

La evaluación de los elementos se efectuará haciendo uso de la siguiente matriz diseñada para tal fin:

Método para evaluar en campo cada elementos	¿Conocen el método, lo han aplicado?	¿Lo entiende, es claro, lo podrá aplicar en campo?	¿Qué otro método práctico conocen para determinar?	¿Cuáles son las limitantes que considera para su aplicación?	¿Cómo es la efectividad del método?
Pendiente (agronivel)					
Tipo de suelo (textura al tacto o por sedimento)					
Tipo de roca (extraer muestras de pozos o quebradas)					
Cobertura vegetal (visual en campo)					
Uso del suelo (visual en campo)					

6. Presentación de trabajos grupales

Objetivo

Que los y las participantes den a conocer o socialicen el trabajo realizado dentro de cada grupo, se generen discusiones alrededor de cada trabajo y lleguen a un consenso y se anoten todas las opiniones.

Desarrollo

Cada grupo de trabajo presentará en papelones los resultados logrados, explicarán lo realizado, el facilitador fomentará la discusión y se incorporarán los comentarios de los diferentes participantes.

7. Clausura

Objetivo

Brindar las conclusiones del evento, agradecer la participación y colaboración a los asistentes al taller, y coordinar las fechas aplicación de la metodología con los diferentes comités de cuencas en las ocho fuentes de agua seleccionadas.

Anexo 7.

Lista de asistencia a evento taller de evaluación de la metodología propuesta

Lugar: Auditorio secretaría ambiental (alcaldía de Matagalpa)

Fecha: 29 de mayo del 2007

Temática: Evaluación de la propuesta metodológica para identificar zonas potenciales de recarga hídrica

Nº	Nombre y Apellido	Institución
1	Yara Sáenz	ALMAT
2	Roger Rodríguez	ALMAT
3	Roger Mendoza	INTA
4	Roniel Vega	INTA
5	Luis Torres	MAGFOR
6	Virginia López	UNAN (Matagalpa)
7	Alejandro Vargas	UNAN (Matagalpa)
8	Marvin Vallejos	Fundación Guardabarranco
9	Isabel Toruño	CATIE / FOCUENCAS II

Anexo 8.

Ponderación de elementos de la metodología aplicando el método de clasificación y peso relativo

Método de clasificación

Variables	Extensionistas										Sumatoria	Peso promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Pendiente y micro relieve.	20	50	40	50	10	10	15	20	50	15	280	28.00
Tipo de suelo.	40	20	20	15	30	40	20	10	10	20	225	22.50
Tipo de roca.	5	5	15	10	20	10	15	15	10	15	120	12.00
Cobertura vegetal permanente.	30	10	15	15	30	30	30	40	20	30	250	25.00
Uso del suelo.	5	15	10	10	10	10	20	15	10	20	125	12.50
TOTAL											1000	100.00

Método del peso relativo

Variables	Extensionistas										Sumatoria	Peso promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Pendiente y micro relieve.	3	5	5	5	4	3	1	4	5	3	38	25.33
Tipo de suelo.	5	4	4	4	2	4	4	2	3	4	36	24.00
Tipo de roca.	1	1	2	2	5	1	2	1	2	1	18	12.00
Cobertura vegetal permanente.	4	2	3	3	1	5	5	5	4	5	37	24.67
Uso del suelo.	2	3	1	1	3	2	3	3	1	2	21	14.00
TOTAL											150	100.00

Peso relativo promedio final para cada variable a usar

Variable	Peso promedio clasificación	Peso promedio rateo	Peso promedio final
Pendiente y micro relieve.	25.33	28.00	27
Tipo de suelo.	24.00	22.50	23
Tipo de roca.	12.00	12.00	12
Cobertura vegetal permanente.	24.67	25.00	25
Uso del suelo.	14.00	12.50	13

Anexo 9.

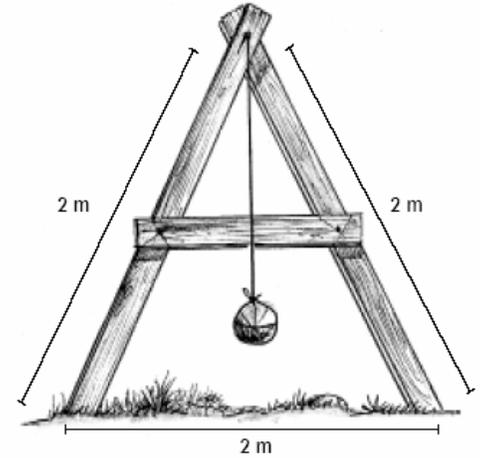
Procedimiento para la construcción del aparato A y la determinación de la pendiente

Agronivel o aparato “A”

Es una herramienta práctica de construcción sencilla y uso múltiple que sirve para trazar curvas a nivel, trazar curvas con pendientes (desnivel) y determinar la pendiente de un terreno. Es de fácil construcción con materiales locales de la finca y herramientas del productor.

En la construcción del aparato “A” se necesitan:

- ? Dos varas de 2 metros y una vara de 1.10 metros por 5 centímetros de diámetro (cada vara).
- ? Una cinta métrica.
- ? Un machete.
- ? Tres clavos.
- ? Una cuerda o manila.
- ? Plomada, con una piedra o botella con arena.



Procedimiento para determinar la pendiente con la ayuda del aparato “A”

- ✍ Debido a que la pendiente en un terreno cambia y estos no son parejos, se tiene que sacar un promedio de varias medidas de la pendiente para tener un dato verás o medida correcta de la pendiente. Por lo que para determinar la pendiente de un sitio escogemos cinco o más puntos diferentes en la parcela o zona por manzana o hectárea.
- ✍ Nos situamos en el primer 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 este 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.
- ✍ Luego la distancia que dio (de la pata al suelo), se divide entre dos y el resultado es la pendiente en porcentaje de ese punto. Por ejemplo si la lectura dio $20 \text{ cm} \div 2 = 10\%$
- ✍ Se repite el procedimiento en los puntos restantes, se suman los resultados de pendientes en los cinco puntos y se dividen entre los mismos cinco puntos para obtener la pendiente promedio de la zona o parcela.

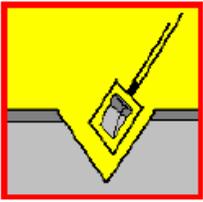


Anexo 10.

Procedimiento para evaluar la textura del suelo

Procedimiento para determinar textura de forma práctica (textura a mano y por sedimento)

La textura es importante porque determina la rapidez con que el agua pasa por el suelo y depende de la naturaleza de la roca madre y de los procesos de evolución del suelo, siendo el resultado de la acción e intensidad de los factores de formación del suelo. A continuación se describe el procedimiento para determinar la textura del suelo a través de tacto.

- ✍ Debido a la heterogeneidad que presentan 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, puede ser una parcela completa o solo una parte, con la obtención de una muestra compuesta (mezcla de varias submuestras), se asegura la representatividad de las propiedades edáficas de un área homogénea. En cada uno de los sectores o sitios se saca un equivalente a cinco muestras por manzana o hectáreas tomándolas en zig - zag.
- ✍ En cada sitio de donde se sacará la muestra se debe comenzar por la limpieza del área eliminando la cobertura vegetal u hojarasca, luego hacer un hoyo cuadrado o en forma de “V” del ancho de la pala de 50 – 100 centímetros de profundidad, entre más profundo mejor. Se corta una porción de 1.5 centímetros 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.
- ✍ Se mezcla bien la tierra de cada hoyo para obtener una muestra de suelo homogénea, se saca una libra y se echa 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 por medio del humedecimiento de cierta cantidad del suelo, se toma un puñado de tierra del balde y se evalúa. La muestra se amasa entre los dedos hasta formar una pasta homogénea.
- ✍ Posteriormente se toma entre los dedos índice y pulgar, y se presiona sobre este último tratando de que se forme una cinta, en la cual se observa la presencia de brillo, si la cinta es lisa o escamosa y si el tacto es áspero. A continuación se describen las características de cada tipo de suelo:

- A. Si la muestra es **arenosa**: el tacto es áspero, no tiene brillo ni cohesión, no es pegajosa cuando se humedece y no se forma cinta. Si la tierra esta seca se ven los granos y se sienten al tocar.
- B. Si la muestra es **limoso**: tiene tacto suave y como polvo cuando se frota entre los dedos; se forma una cinta escamosa y no presenta ni pegajosidad ni plasticidad cuando se humedece.
- C. Si la muestra es **arcillosa**: la cinta que se forma tiene cohesión, es brillante, y es plástica o pegajosa según el contenido de humedad, se puede formar una rosquilla. Puede permanecer suspendida en agua durante largo tiempo. Si la tierra esta seca, se forman terrones duros y cuesta quebrarlos con los dedos.

A continuación se describe de forma similar al anterior pero un poco más desglosado, los diferentes tipos de textura de suelo y la apariencia en cada caso.

A) Arena. El suelo permanece suelto y en granos simples y puede ser amontonado pero no moldeado.

(B) Franco arenoso. Puede ser moldeado en forma esférica y se desgrana fácilmente, con más sedimentos.

(C) Limo. Puede ser enrollado en cilindros cortos.

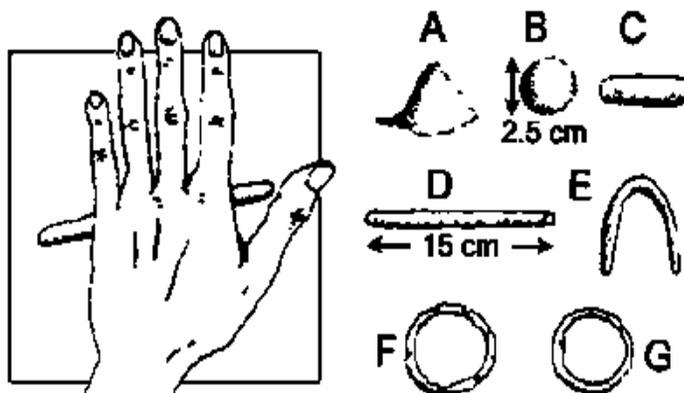
(D) Franco. Partes iguales de arena, sedimentos y arcilla que pueden ser amasadas en una trenza gruesa de 15 cm. de largo que se rompe al doblarse.

(E) Franco arcilloso. El suelo puede ser amasado como en D pero puede ser cuidadosamente doblado 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 y puede ser doblado en un círculo sin agrietarse.

Evaluación de la textura del suelo por el tacto



Anexo 11.

Procedimiento para evaluar la capacidad de infiltración del suelo

Capacidad de infiltración

La determinaremos a través del uso de infiltrómetro de anillo simple, que se utiliza para 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 su altura de 20 a 30 cm. Básicamente el desarrollo de esta experiencia se realiza enterrando verticalmente el anillo en el suelo unos pocos centímetros, luego hay que rellenarlo con agua a una altura no mayor de 10 cm y finalmente, con la regla y el cronómetro se medirá la variación de la altura de agua en el tiempo.



El método de anillo simple, aún cuando es uno de los experimentos más simples que se pueda realizar para medir tasa de infiltración, su precisión no deja de ser buena.

Materiales y metodología

- ✍ 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 o baldes de 20 litros cada uno.
- ✍ Plato.
- ✍ Cronómetro o reloj.

Paso 1. Ubicados en la posible zona de recarga se procederá a limpiar el lugar donde se instalara el cilindro, sacando hojas, basura e impurezas que impidan el flujo normal del agua.

Paso 2. Se enterrará el anillo aproximadamente 10 cm de la forma más vertical posible; para lo cual se colocará el anillo en el lugar seleccionado y previamente limpiado. Se martilla firmemente en los bordes con el martillo o maso y para que no se suelten los bordes opuestos a los que están siendo golpeados, se recomienda a apoyar un pie en estos.



Lo anterior se debe hacer paulatinamente en todos los bordes, para que el cilindro penetre de manera uniforme.

Paso 3. Colocar la regla verticalmente en el interior del anillo para así poder medir el nivel del agua. Un lugar recomendable para poner la regla es en la línea de la soldadura, porque esta es aproximadamente vertical y con la cinta adhesiva se puede fijar la parte de arriba de la regla, para que no se mueva.



Paso 4. Vaciar los baldes suavemente en el interior del anillo, hasta que el nivel de agua quede entre 8 a 10 cm. Colocar el plato en el interior del anillo con el propósito de que el chorro no golpee directamente el suelo, porque se pueden alterar las propiedades de este.



Paso 5. De inmediato iniciar a registrar el tiempo y el consumo o nivel de agua. Al inicio se deberán hacer mediciones cada minuto y luego dependiendo de la tasa de descenso, el intervalo de tiempo puede alargarse. Para que las mediciones sean más precisas lo mejor es que entre niveles sucesivos haya al menos 2 mm de diferencia.

Se efectúan mediciones al menos por 20 minutos; luego se para de medir cuando las últimas tres tasas sucesivas sean iguales o parecidas. En la siguiente tabla se presentan valores típicos de tasas de infiltración en suelos.

Valores típicos de tasas de infiltración

Tipo de suelo	Tasa de infiltración (mm/hora)
Arena	Mayor de 30
Arena limosa	20 – 30
Limo	10 – 20
Arcilla limosa	5 – 10
Arcilla	1 - 5

Ejemplo

Permeabilidad media para diferentes texturas de suelo en cm/hora

Arenosos	5.0
Franco arenosos	2.5
Franco	1.3
Franco arcillosos	0.8
Arcilloso limosos	0.25
Arcilloso	0.05

Clases de permeabilidad de los suelos para la agricultura y su conservación

Clases de permeabilidad de los suelos	Índice de permeabilidad ¹	
	cm/hora	cm/día
Muy lenta	menor de 0.13	menor de 3
Lenta	0.13 - 0.3	3 - 12
Moderadamente lenta	0.5 - 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.

Ejemplos de permeabilidad de los suelos

Tipos de suelos	Permeabilidad mm/hora
Suelos gruesos	Mayor de 100
Suelos ligeros	50 a 100
Suelos medios	10 a 50
Suelos pesados	5 a 10
Suelos muy pesados	1 a 5

La capacidad de infiltración se obtiene del cociente entre la cantidad de agua infiltrada y el intervalo de tiempo; $f = \text{Variación de altura} / \text{Variación de tiempo}$.

Una forma (ejemplo) para determinar la velocidad de infiltración de los suelos se presenta en la siguiente tabla

Tiempo (min) columna 1	Altura (cm) columna 2	Diferencial tiempo (min) columna 3	Diferencial altura (cm) columna 4	Infiltración (mm/hora) columna 5
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 determina con los tres valores más bajos de velocidad de infiltración con el fin de asumir un criterio conservador.

Para determinar la velocidad de infiltración columna 5 se emplea el coeficiente I:

$$I = \frac{h}{t} \cdot 600$$

Donde:

I: velocidad de infiltración en mm/hora

h: diferencia de altura de agua (cm)

t: diferencial de tiempo (min)

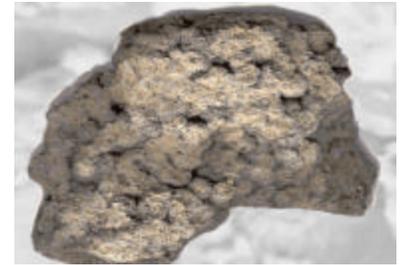
$$I(\text{columna5}) = \frac{h(\text{columna4}) \cdot 600}{t(\text{columna3})}$$

Anexo 12.

Procedimiento para evaluar el tipo de roca

El análisis y evaluación del tipo de roca lo haremos en campo con la participación, el conocimiento y experiencia de los actores locales, llevando un procedimiento que nos permitirá conocer la porosidad y/o permeabilidad de las rocas de una forma fácil y práctica, que la obtuvimos del resultado de las entrevistas a técnicos, especialistas y observaciones de campo; a continuación se describe el procedimiento:

- Podemos evaluar la permeabilidad y porosidad de las piedras que encontramos en la superficie del suelo y las muestras que podamos obtener de pozos o perfiles profundos de suelo, básicamente vertiendo agua lentamente sobre la piedra y se observa el tiempo en que está absorbe el agua, si lo hace rápidamente es permeable y si lo hace muy lento o no absorbe nada es impermeable. Generalmente las rocas permeables son más livianas.



- Luego podemos observar la apariencia interna de las rocas, pegándolo pequeños golpes (partiéndola), la facilidad que tenga la roca/piedra a que se rompa al ser golpeado denota su dureza y permeabilidad, son blandas/suaves cuando se rompen/fraccionan con facilidad (absorben más agua) y viceversa. Cuando rompe y se logra ver la forma de los granos o partículas es permeable, pero cuando se rompe en forma de concha (cóncava) no es permeable.



- Al tacto podemos determinar el grado de desmoronamiento (textura) que posea la piedra; piedras que se desmoronan fácilmente o con poco grado de dificultad son permeables y piedras que no se desmoronan y son duras se dice que son poco permeable o impermeables.
- Una vez que partimos la roca podemos ver la homogeneidad y tamaño de sus partículas o agregados, y su porosidad. Piedras que observemos que están formadas por partículas grandes (como la arena) y/o heterogéneas con una buena distribución aparente, que presenten poros grandes e interconectados son por ende son muy permeables (como se describe en la matriz de evaluación de las rocas).
- Para evaluar la porosidad y permeabilidad del manto rocoso o las roca que se encuentra por debajo de la superficie de suelo, se realiza un recorriendo por la zona observando y analizando los estratos que podemos encontrar en las perforaciones de pozos y que según los especialistas en la materia, la mejor fuente de información geológica se encuentra en los pozos. De no contar con pozos o adicional a estos podemos observar en los cauces de quebradas (en sus paredes), perfiles de caminos y carreteras, y en los flancos de los valles, lo que nos da una idea del tipo de roca que se encuentran o podemos encontrar en las

profundidades o perfiles más hondos. Así mismo podemos compara o relacionar los estratos encontrados en los flancos de valles, caminos, carreteras y quebradas con los que obtengamos de los pozos, los resultados de todos y/o correlacionar los estratos o capas entre los diferentes pozo encontrados.

- ✍ Una vez que logramos observar la estratigrafía de los pozos, quebradas, caminos, carreteras y flacos de valles, sacamos una muestra de roca/piedra y procedemos a evaluarla según lo descrito anteriormente, humedeciendo y fracturando la roca.
- ✍ Lo que podemos observar y analizar en cada en los estratos es el tipo de roca, sus composición granulométrica, porosidad y permeabilidad, la presencia de fracturas interconectadas entre si en las rocas, fallas y espesor de cada estrato.

Anexo 13.

Lista de participación en la aplicación de la metodología

No.	Nombre y Apellido	H	M	Comunidad
1	Jhonny Montalvaro López	X		Nuestra Tierra
2	Juan José Salgado Castro	X		Nuestra Tierra
3	Julio Antonio Dávila Peralta	X		Nuestra Tierra
4	Luis Pravia R.	X		Nuestra Tierra
5	Santos Colindres Godinez		X	Nuestra Tierra
6	Isabel Toruño Morales		X	Nuestra Tierra
7	Lenin Bladimir P. Martínez	X		Nuestra Tierra
8	Yobelky Vilchez Báez		X	Nuestra Tierra
9	Carmen Colindre Godinez		X	Nuestra Tierra
10	Vicente Betanco	X		Ocote Sur
11	Pablo Cruz	X		Ocote Sur
12	Eligio García	X		Ocote Sur
13	Hipólita Cruz		X	Ocote Sur
14	William Betanco Díaz	X		Ocote Sur
15	Denis A. López Salgado	X		Jucuapa Abajo
16	Juan Francisco Matus M.	X		Jucuapa Abajo
17	Leonel Barbas González	X		Jucuapa Abajo
18	Dania Elizabeth Matus Sánchez		X	Jucuapa Abajo
19	Bernardino Sánchez Guillen	X		Jucuapa Abajo
20	Antonio Matus M.	X		Jucuapa Abajo
21	Janeth López Zamora		X	Jucuapa Centro
22	Anastasio Martínez	X		Jucuapa Centro
23	Juan Bautista Aguilar	X		Jucuapa Centro
24	Freddy Vicente Aguilar Morales	X		Jucuapa Centro
25	José Andrés Martínez Valle	X		Jucuapa Centro
26	Adán Orozco Escoto	X		El Ocotal
27	Higinio Orozco	X		El Ocotal
28	Aura Esther Orozco Escoto		X	El Ocotal
29	Celia E. Castro		X	El Ocotal
30	Trinidad del Carmen Castro O.		X	El Ocotal
31	José Maria Aguilar C.	X		El Ocotal
32	Oscar Matus	X		El Ocotal
33	Henry José García M.	X		El Ocotal
34	Roberto Hernández Díaz	X		Limixto
35	Elba Maria Díaz Hernández		X	Limixto
36	Rosalina Salgado Herrera		X	Limixto
37	Maritza Hernández Díaz		X	Limixto
38	German Sánchez	X		Limixto
39	Mariano Obregón Méndez	X		Limixto
40	Isidro Salinas M.	X		Limixto
41	Amy Maria Martínez B.		X	Limixto
42	Alejandro Vargas Arauz.	X		Limixto

43	Freddy Raúl Aguilar	X		Jucuapa Occidental
44	Douglas José Aguilar Flores	X		Jucuapa Occidental
45	Maria Auxiliadora Cruz Altamirano		X	Jucuapa Occidental
46	Rosalba Flores Aguilar		X	Jucuapa Occidental
47	Alexis Cruz M.	X		Jucuapa Occidental
48	Byron Samuel Flores Aguilar	X		Jucuapa Occidental
49	Marcial Godinez Flores	X		Jucuapa Occidental
50	Silvano Aguilar F.	X		Jucuapa Occidental
51	Ima G. S.		X	Jucuapa Occidental