



Convenio de Colaboración UNA – TROCAIRE

Zonificación de áreas de recargas potencial para protección de fuentes de agua de comunidades rurales de las subcuencas Aguas Calientes y Musunce, Somoto, Madriz

Informe



Elaborado por: Raquel Izabá, César Aguirre, Luis Tercero – UNA
José Luis Núñez – MCN Somoto

Equipo de apoyo: Yimi Yamel Espinoza González y Luis Jason Tapia Gutiérrez -
estudiantes del V año de Ingeniería Forestal-UNA

Managua, diciembre 2020

I. INTRODUCCIÓN

El Proyecto “Fortalecimiento de capacidades de entidades socias Trocaire para el desarrollo de medios de vida sostenibles y resilientes” desarrolla actividades de formación e investigación – extensión en las temáticas de calidad de agua, recarga hídrica, manejo agroecológico de suelos y plagas, en territorios de incidencia de las entidades socias Trocaire COPAMOV, OCTUPAN, MCN, APADEIM.

El objetivo del proyecto es apoyar a técnicos, líderes/as y productoras/as que trabajan con entidades socias Trocaire, en la adopción de prácticas para el manejo sostenible de los recursos suelos, agua y vegetación; con enfoque de resiliencia ante el cambio climático. Bajo este proyecto la UNA ha realizado un convenio de colaboración entre UNA-TROCAIRE donde docentes del DMC-FARENA han brindado asesoría técnica sobre calidad del agua, manejo del suelo y recarga hídrica.

El presente estudio se realizó en las subcuencas de Aguas Calientes y Musunce, ubicadas en la parte Sur-Oeste del municipio de Somoto, departamento de Madriz. El objetivo del estudio es definir las zonas de recarga potencial para aplicar estrategias de protección de estas zonas con el fin de garantizar el suministro de agua a las comunidades beneficiadas dentro del proyecto Trocaire.

Se realizó una gira de campo del 21 al 23 de septiembre de 2020, en la cual se levantó un inventario de pozos, se realizaron 26 pruebas de infiltración por uso de suelo con el fin de utilizar esta información para el cálculo de la recarga hídrica potencial. Los resultados de la recarga potencial se interpolaron utilizando el programa ARCGIS. Con las herramientas de Sistemas de Información Geográfica y la unión de capas de pendiente, geología y uso de suelo se obtuvo el mapa final.

Los resultados nos indican que la recarga potencial en las subcuenca es de baja a media, es decir, ingresa poca cantidad de agua al sistema, lo que se refleja en la disminución de la cantidad de agua en los pozos. Esto permitirá establecer estrategias de protección de las zonas de recarga para mejorar el abastecimiento de agua a la población.

II. METODOLOGÍA

Para la realización del estudio se realizaron las actividades descritas a continuación:

- 1. Recopilación y revisión de fuentes secundaria:** Se revisó y seleccionó información sobre las subcuencas Aguas Calientes y Musunce. Entre la información seleccionada se encuentran datos de las características biofísicas, tales como geología, uso del suelo, pendiente e hidrogeología. Esta información fue extraída de las capas de ARcGis proporcionadas por INETER (pendiente, geología), así como del Mapa de Suelos de Nicaragua (2015) y el Mapa Hidrogeológico de la Zona Central de Nicaragua 2004.
- 2. Recopilación de datos de campo:** Para determinar la recarga potencial, se realizaron 26 pruebas de infiltración, distribuidas en las subcuencas de acuerdo con el tipo de uso de suelo, mediante el método del anillo simple implementado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Esta información es básica para estimar el comportamiento de la infiltración y sirve como datos base en el Modelo de Balance Hídrico de Suelo (BHS) propuesto por Schosinsky (2006). A la vez se realizó un inventario de pozos, los cuales se georreferenciaron y se tomaron mediciones de niveles estáticos del agua. Esta información sirvió para indicar dentro del mapa hidrogeológico la ubicación de los mismo y definir el tipo de acuífero predominante.
- 3. Selección de datos climáticos:** se utilizó la plataforma: <https://www.globalclimatemonitor.org/>, para seleccionar datos climáticos de temperatura y precipitación en el período de 2007 al 2019. Esta información son datos de partida para la estimación de la recarga potencial. Los datos de temperatura se utilizaron en la estimación de la evapotranspiración por el método de Thornthwaite y los datos de precipitación se utilizaron en el Modelo del Balance Hídrico de Suelo (BHS).



Foto 1. Prueba de infiltración



Foto 2. Medición de niveles estático en pozo

- 4. Cálculo del Balance Hídrico de Suelo (BHS):** El Modelo del Balance Hídrico de Suelo BHS Schosinsky 2006, tiene como principio las entradas y salidas de agua en el suelo donde se consideran los datos de precipitación como entradas al sistema. Los datos de salida del sistema se consideran la evapotranspiración, escorrentía e infiltración; el agua que sobra después de estos procesos es lo que denomina la recarga potencial al acuífero. Para utilizar este modelo es necesario considerar características

3.1. Clima

Los datos climáticos seleccionados de la plataforma Global Climatic monitor del período 2007-2019, indican temperaturas entre 22.5 y 25.2 °C, presentando temperatura máxima en el mes de abril. La precipitación media mensual presenta valores entre 7.61-284.16 mm, presentando las máximas precipitaciones entre septiembre y octubre (Gráfico 1). La precipitación media anual reportada por esta plataforma es de 1,257 mm.

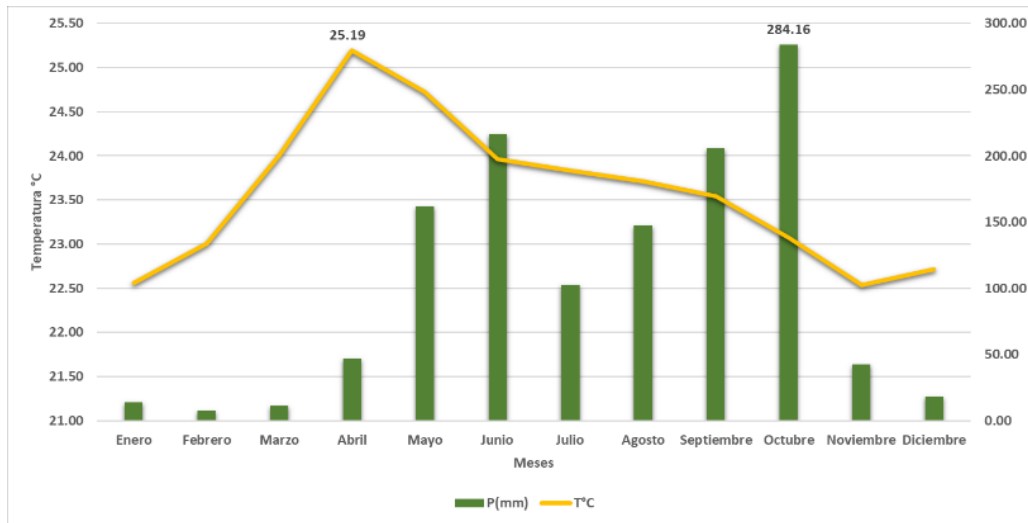


Gráfico 1. Comportamiento de la Precipitación y temperatura en el período 2007-2019

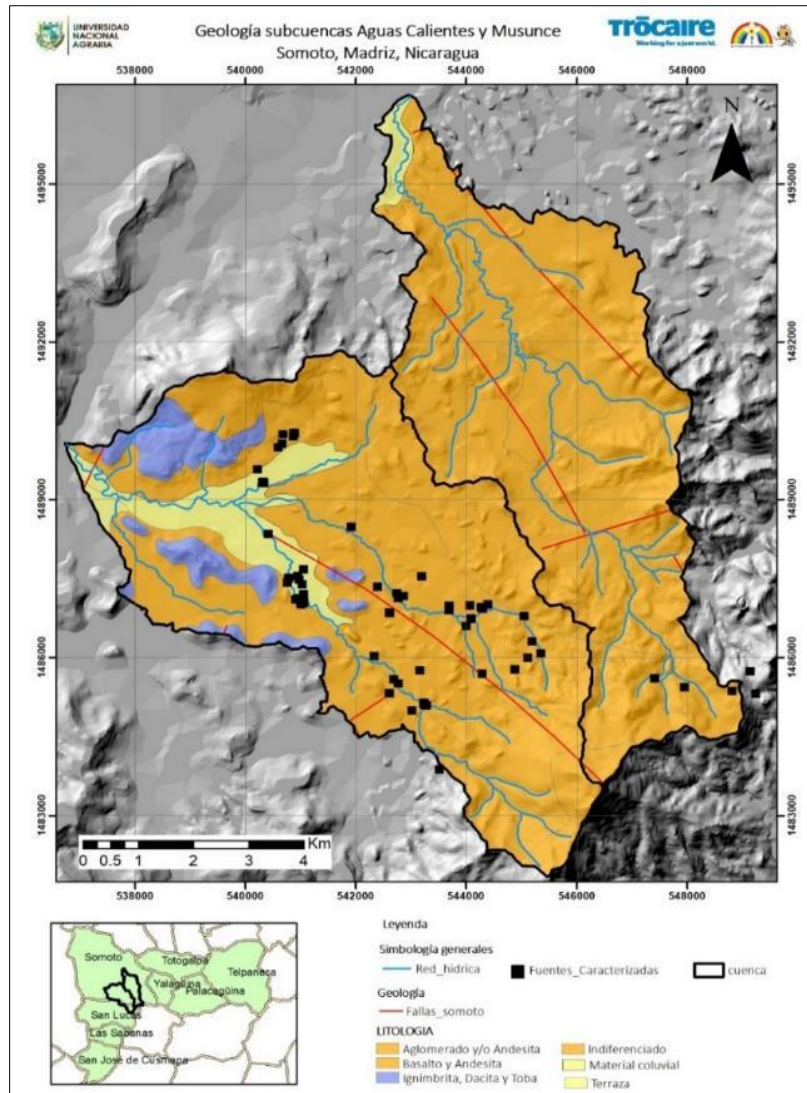
Fuente: <https://www.globalclimatemonitor.org/>

3.2. Geología

La geología presente en las subcuencas Aguas Calientes y Musunce pertenecen al Grupo Coyoil Superior e Inferior con un 48.94% del área; Formación Matagalpa en 44.42% del área y Material Cuaternario Coluvial en un 6.64% del área (Fenzl,1989). Las rocas predominantes son las andesitas, basaltos y roca indiferenciadas que corresponden al 88.95 % del área, que comprenden las zonas con fuertes pendientes. El material coluvial que se encuentra en las zonas planas cercana a los ríos corresponde al 6.64 % del área. En un pequeño porcentaje de 4.91% se encuentran las Rocas Ignimbritas, Dacitas y Toba (Tabla 1 y Mapa 2). Se observa en el Mapa 2, un sistema de fallas presente en la parte media-baja de la Subcuenca Musunce; en la subcuenca Aguas Caliente presenta una falla en dirección NO-SE. El sistema de fallas podría servir como medio de conducción del agua y almacenamiento de pocas cantidades de agua, por medio de la porosidad secundaria. Esta es una característica de las zonas donde se presentan fallas geológicas; estas cantidades de agua podría alimentar los pozos o fuentes de agua (manantiales) cercanos a ellas.

Tabla 1. Tipo de rocas predominantes en las subcuencas Aguas Calientes y Musunce

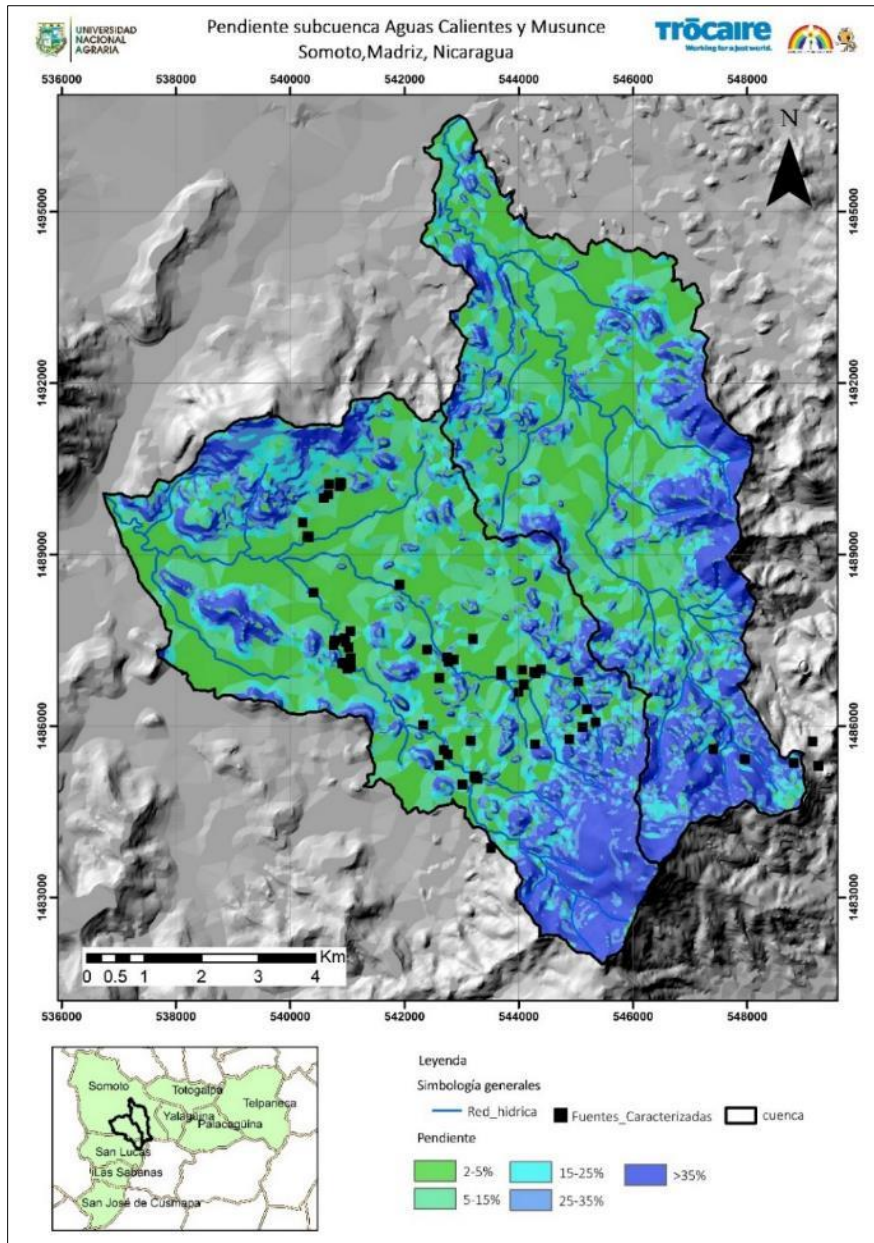
Tipo de rocas	Área_Km ²	%
Basalto y Andesita	3.85	4.51
Aglomerado y/o Andesita	37.34	39.52
Material coluvial	5.13	6.30
Indiferenciado	37.89	44.42
Ignimbrita, Dacita y Toba	4.19	4.91
Terraza	0.29	0.34
Total	85.80	100



Mapa 2. Geología de las subcuencas Aguas Calientes y Musunce, Somoto

3.3. Pendiente

En el mapa 3, se presentan las pendientes en las subcuencas Aguas calientes y Musunce. Se observan en la parte alta pendientes entre 25 y 35%, hasta mayores de 35%. En la parte media baja de las subcuencas (sobre todo en las partes planas y cerca de los ríos) predominan las pendientes entre 2 y 5%. Esto coincide con el material cuaternario coluvial de la geología y con la ubicación de los pozos en esta zona. Esto nos indica que es posible encontrar en estas áreas pequeños depósitos de agua que se pueden utilizar para consumo humano o uso doméstico.



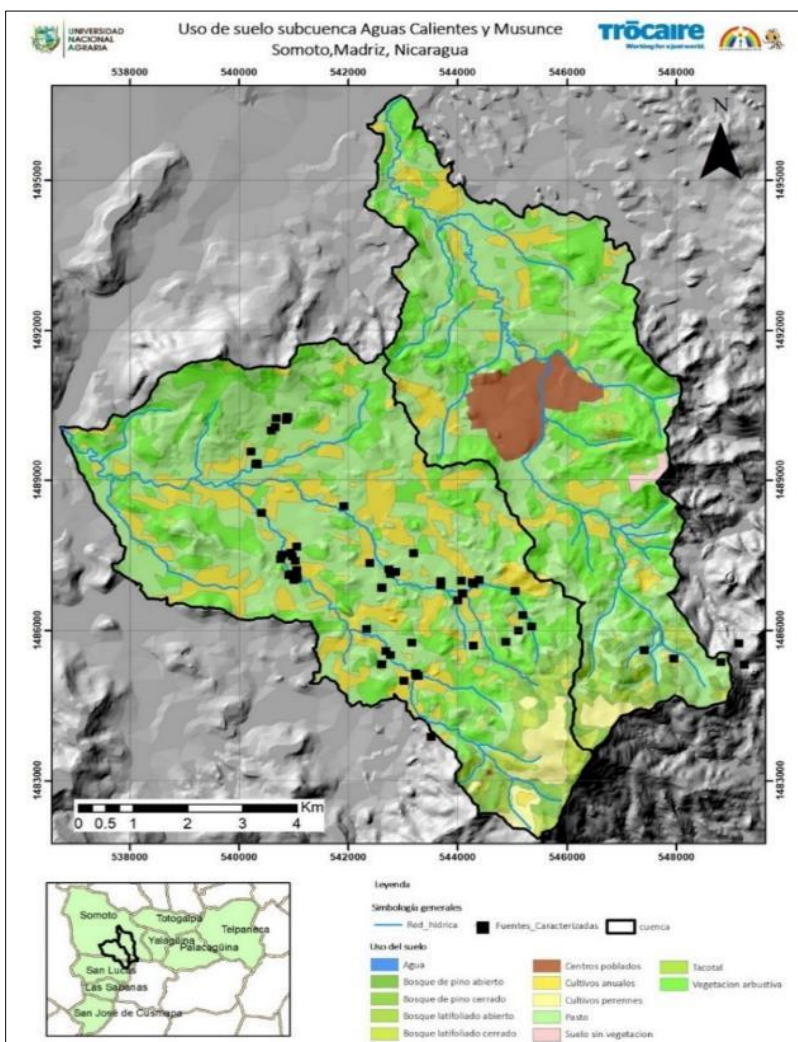
Mapa 3. Pendiente de las subcuencas Aguas Calientes y Musunce, Somoto

3.4. Uso de suelo

En la Tabla 2 y el Mapa 4, se presenta el uso del suelo de las subcuencas Aguas Calientes y Musunce. Los datos indican que el 42 % del área es utilizada por pasto, distribuido en toda el área de las subcuencas. Los cultivos anuales representan el 15% del área, donde se destaca el cultivo de granos básicos; la vegetación arbustiva comprende el 29% del área. Las áreas boscosas solamente comprenden el 7% del área; están representadas principalmente por bosque secundario a las orillas de los ríos y bosque latifoliadas en las partes altas, asociado con el cultivo del café.

Tabla 2. Uso del suelo en las subcuencas Aguas Calientes y Musunce, Somoto

Uso del suelo	Área_km ²	%
Agua	0.01	0%
Bosque de pino abierto	2.09	2%
Bosque de pino cerrado	0.13	0%
Bosque latifoliado abierto	2.16	3%
Bosque latifoliado cerrado	1.57	2%
Centros poblados	2.95	3%
Cultivos anuales	12.87	15%
Cultivos perennes	1.96	2%
Pasto	36.34	42%
Suelo sin vegetación	0.26	0%
Tacotal	0.65	1%
Vegetación arbustiva	24.80	29%
Total	85.80	100%



Mapa 4. Uso del suelo Subcuencas Aguas Calientes y Musunce, Somoto

- **Uso del suelo por vegetación secundaria**

En la Tabla 3, se presenta la cubierta vegetal secundaria identificada en los puntos de muestreo seleccionados en las comunidades de Aguas Calientes, Quebrada de Agua, Mancico y Santa Isabel. Este tipo de vegetación se identificó cercano a los ríos y fuentes de agua (pozos) utilizados para consumo humano y uso doméstico.

Tabla 3. Uso de suelo por punto de muestreo y comunidad

N° punto	X	Y	Elevación	Cobertura o uso del suelo	Comunidad
1	540857	1490258	720 msnm	Vegetación secundaria	Aguas calientes
2	540777	1490324	727 msnm		Aguas calientes
7	541034	1486984	710msnm		Aguas Calientes
16	545498	1486117	875msnm		Quebrada de Agua
19	544318	1485444	805 msnm		Mancico
23	543975	1487561	727 msnm		Santa Isabel Sector 2
25	543200	1487561	727msnm		Santa Isabel

Vegetación secundaria: La cobertura presente en esta zona corresponde a vegetación secundaria, producto de la intervención antropogénica que en las últimas décadas se ha venido presentando en los bosques secos latifoliado del departamento de Madriz; una vez abandonadas estas áreas dan paso a la vegetación secundaria, con altura promedio inferior a 5 metros.



Foto 3: Cobertura secundaria identificada en las comunidades Aguas Calientes, Quebrada de Agua, Santa Isabel y Mancico.

- **Uso del suelo por pasto y cultivos**

En la Tabla 4, se presentan los puntos de muestreo de cobertura vegetal o uso de suelo identificados en las comunidades de Santa Rosa, Peña Arriba, La Cruz, El Zapote, Uniles y Apatule. Este uso de suelo está representado por pasto y cultivos anuales.

Tabla 4. Punto de muestreo en pasto o cultivo

N° punto	X	Y	Elevación (msnm)	Cobertura o uso de suelo	Comunidad
3	540263	1489758	705	Frijol, Sorgo	Santa Rosa
4	540326	1489803	703	Sorgo	Santa Rosa
5	540271	1489565	688	Maíz	Peña Arriba
6	540408	1488352	685	Sorgo	Peña Arriba
9	540939	1487406	702	maíz	Santa Rosa
10	548836	1485365	1165	Potrero y árboles disperso	La Cruz
13	547364	1485589	990	Maíz	El Zapote
14	547454	14885661	982	Pasto	El Zapote
22	543242	1485133	738	Sorgo	Unile
21	543181	1485109	776	Maíz	Unile
24	543644	1486929	743	Sorgo	Apatule

Pasto y cultivos: Estas áreas actualmente están siendo utilizadas para actividades agrícola y pecuaria (mezcladas con área de vegetación secundaria y caseríos dispersos), principales con los cultivos maíz, sorgo y frijol. Algunos de los impactos negativos del cambio de uso del suelo es la compactación del suelo y la disminución de la cobertura vegetal). Se observó el cambio de uso de suelo de forestal a pastos y cultivos de granos básicos en zonas con fuerte pendiente, como lo muestra la foto 4.



Foto 4. Cultivo de maíz



Foto 5. Pasto en zona con fuerte pendiente.



Foto 6. Cultivo del frijol

- **Uso del suelo cultivo de café con bosque latifoliado**

Los puntos de muestreo de cultivo de café con bosque latifoliado se identificaron en las comunidades La Cruz, Quebrada de Agua, Unile (Tabla 5).

Tabla 5. Punto de muestreo en cafetales

N° punto	X	Y	Elevación	Cobertura o uso de suelo	Comunidad
11	548681	1484671	1151msnm	Asociación de café con bosque latifoliado	La Cruz
12	548681	1485589	1133 msnm		La Cruz
17	545341	1486052	861msnm		Quebrada de Agua
18	545341	1486043	861		Quebrada de Agua
20	543251	1485088	771msnm		Unile

Cafetales: Estas áreas eran plantaciones de café tecnificado, semitecnificado o tradicional; en algunos de los puntos muestreados se encontraba e asociado con especies de sombra, tales como musáceas y especies maderables. Estas áreas presentan las características adecuadas para el establecimiento de este cultivo; en algunos de los lugares el árbol presentaba altura hasta de 2 metros. Este tipo de cobertura y las condiciones del suelo favorecen a la infiltración del agua; por lo tanto, favorece a la recarga hídrica en la zona.



Foto 7. Asocio de bosque con cultivo de café.



Foto 8. Cultivo del café en comunidad de La Cruz.

- **Uso del suelo con sistema agroforestal**

En la Tabla 6, se presentan los puntos de muestreo de uso del suelo agroforestal identificados en la comunidad de Santa Teresa.

Tabla 6. Punto de muestreo en sistemas Agroforestales

N° punto	X	Y	Elevación	Cobertura o uso de suelo	Comunidad
8	540742	1487335	698 msnm	Pitahaya en asociación con árboles.	Santa Teresa
15	546728	1487145	837 msnm		Santa Teresa

Sistema Agroforestal: consiste en la integración simultánea y continua de cultivos anuales o perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiples. Cabe destacar que las áreas destinadas para estos sistemas no eran mayores a una manzana. La importancia de estos son que contribuyen al mantenimiento de la fertilidad del suelo, reducen la erosión mediante el aporte de material orgánico al suelo, fijación de nitrógeno y reciclaje de nutrientes, conservan el agua (cantidad y calidad) y favorecen la infiltración, además de reducir la escorrentía superficial que podría contaminar cursos de agua.



Foto 9. Sistema agroforestal identificado en la comunidad Santa Teresa.

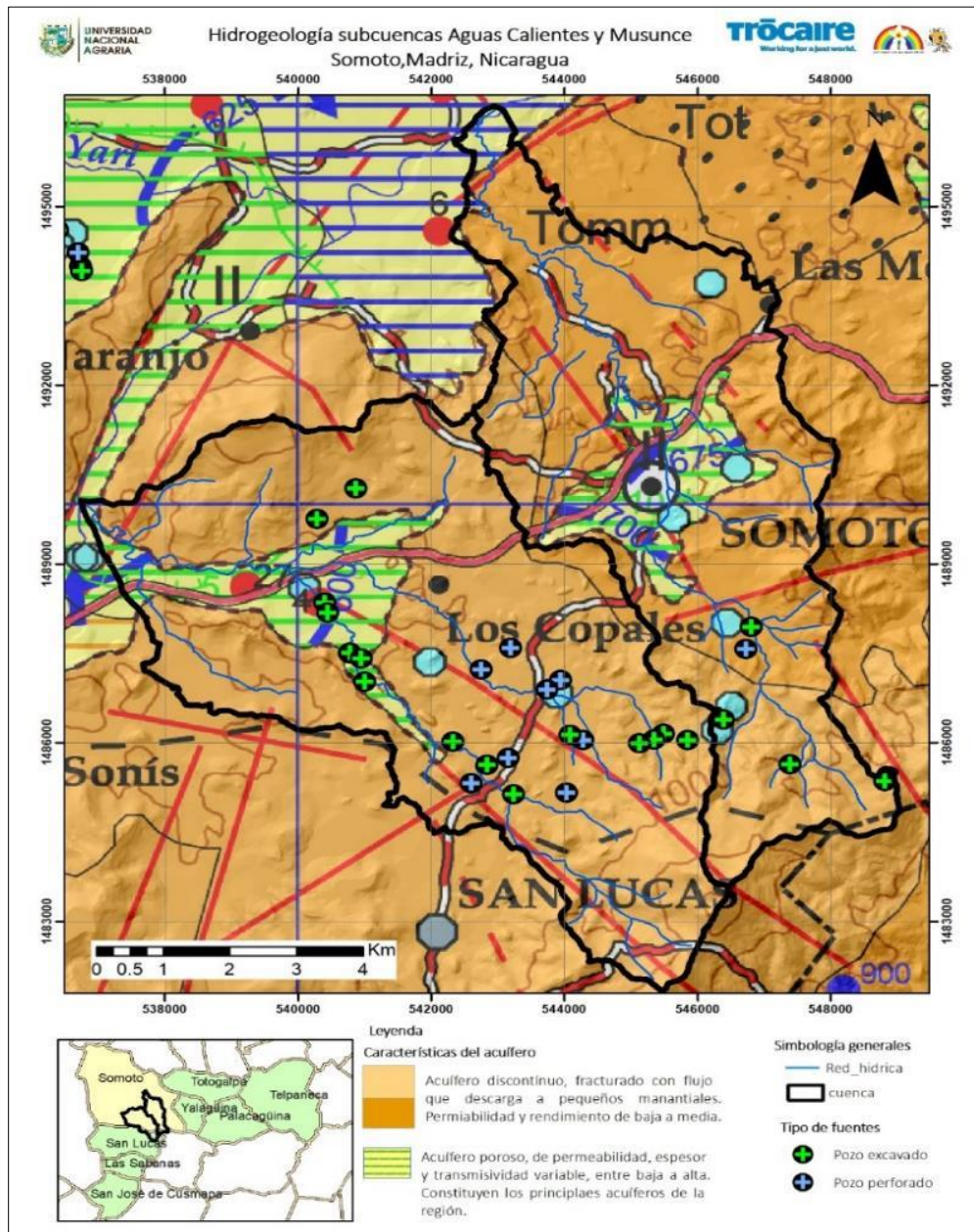


Foto 10. Sistema agroforestal identificado en la comunidad Santa Teresa.

4.5. Hidrogeología

En el mapa 5, se identifican las principales características hidrogeológicas en las subcuencas Aguas Calientes y Musunce. Se identifican dos tipos de acuíferos; predomina en el área de las microcuencas los Acuíferos Discontinuos Fracturados (color naranja). Existe un área en las zonas planas, principalmente en la partes medias-bajas de la subcuencas, donde se observa acuífero poroso (color amarillo pálido con líneas verdes clara). Esto coincide con la geología del cuaternario consistente en rocas sedimentarias, las cuales por sus características pueden almacenar y transmitir agua. Como se puede observar en el mapa, la zona con estas características podría alimentar los ríos y los pozos cercanos con caudales de agua para abastecer poblaciones pequeñas.

- a) **Acuífero fracturado:** acuíferos con flujos que descargan en pequeños manantiales, con permeabilidad de bajo a media, es decir que el agua circula a través de las fracturas o fallas de este tipo de roca. Esto sugiere que existe almacenamiento de pequeños caudales que podría utilizarse para el consumo humano de la población (INETER, 2004).
- b) **Acuífero poroso:** acuíferos con permeabilidad entre media a alta. Con capacidad de almacenar y transmitir agua en este medio. Facilita la extracción de agua por las características permeable de la roca; sin embargo, se encuentra en poca extensión dentro del territorio, lo que sugiere que un pequeño acuífero local (INETER,2004).



Mapa 5. Hidrogeología de las subcuencas Aguas Calientes y Musunce, Somoto

4.6. Uso del agua subterránea

Se identificaron 35 pozos de los cuales 24 son pozos excavados y 11 pozos perforados. Los pozos son utilizados para consumo humano y uso domésticos (Tabla 7). Los niveles estáticos del agua en los pozos excavados se encuentran entre 0.28 y 28.9 m, y en los pozos perforados entre 24 y 63.8 m. La mayoría de los pozos se encuentran cercanos a los ríos en las áreas planas; esto indica que son alimentados por el flujo subsuperficial. Este flujo es parte del agua subterránea que se acumula en las zonas planas del material poroso y en las fracturas de las rocas, representado principalmente por depósitos locales de agua. Después descargan hacia los ríos o manantiales; por lo cual, alimenta a los pozos cercanos a ellos.

El caudal de extracción por vivienda en las comunidades es de 4 a 5 baldes (de 20l) al día. Según la OMS son necesarias entre 50 a 100 litros/personas/día de agua para cubrir las necesidades básicas, y que no surjan grandes amenazas para la salud (OMS, 2003); esto indica que existe una baja dotación de agua en las viviendas ubicadas dentro de estas subcuencas.

Tabla 7. Inventario de pozos que abastecen a comunidades en las subcuencas Aguas Calientes y Musunche

Código	Fecha	Tipo	Comunidad	Nombre	X	Y	Elevación	Nivel estático del agua (m)	Uso del pozo
#1	21/9/2020	PE	Aguas Calientes	Comunitario	540871	1490267	716	4.77	Uso doméstico
#2	21/9/2020	PE	Aguas Calientes	Sector privado Peñas Rivas	540288	1489756	703	10.21	Uso doméstico
#3	21/9/2020	PE	Santa Rosa	Pozo privado, sector escuela	540404	1488350	685	10.95	Uso doméstico
#4	21/9/2020	PE	Santa Rosa	Pozo escuela	540448	1488178	691		
#5	21/9/2020	PE	Santa Rosa	Pozo comunal	540999	1487025	710		
#6	21/9/2020	PE	Santa Rosa	Pozo comunal	540777	1487502	589		
#7	21/9/2020	PE	Santa Rosa	Pozo comunal sector escuela	540784	1487507	687	5.38	Consumo humano y doméstico
#8	21/9/2020	PE	Santa Rosa	Sector La ermita	540953	1487412	705	12.69	Consumo humano y doméstico
#9	21/9/2020	PE	Santa Rosa	Pozo Privado	540868	148735	693	10.87	Consumo humano y doméstico
#10	22/9/2020	PE	La Cruz	Pozo comunal	548818	1485356	1166	10.48	Consumo humano y doméstico
#11	22/9/2020	PE	El Zapote 2	Pozo comunal	547394	1485639	985	0.82	Consumo humano y doméstico
#12	22/9/2020	PE	El Rodeo 2	Pozo comunal	546390	1486391	906	10.41	Consumo humano y doméstico

Código	Fecha	Tipo	Comunidad	Nombre	X	Y	Elevación	Nivel estático del agua (m)	Uso del pozo
#13	22/9/2020	PP	El Rodeo, sector Escuelas	Pozo comunal	546243	1426494	914		Consumo humano y doméstico
#14	22/9/2020	PP	Santa Teresa	Pozo comunal	546726	1487570	840		Consumo humano y doméstico
#15	22/9/2020	PE	Santa Teresa	Pozo comunal	546811	1487942	785	2.73	Consumo humano y doméstico
#16	22/9/2020	PE	Quebrada de Agua	Pozo comunal	545491	1486146	872	28.92	Consumo humano y doméstico
#17	22/9/2020	PE	Quebrada de Agua	Pozo comunal	545352	1486052	856		Uso doméstico
#18	22/9/2020	PE	Quebrada de Agua	Pozo comunal	545853	1486039	858	1.34	Uso doméstico
#19	22/9/2020	PE	Mancico	Pozo comunal	545129	1485988	870	2.41	Uso doméstico
#20	22/9/2020	PP	Mancico	Pozo comunal	544280	1486045	802	15.15	Uso doméstico
#21	22/9/2020	PP	Unile	Pozo comunal	544032	1485159	810		
#22	22/9/2020	PE	Unile Centro	Pozo comunal	543242	1485133	773	2.41	Uso doméstico
#23	22/9/2020	PP	Unile Centro	Pozo comunal	542604	1485314	767	17.00	Uso doméstico
#24	22/9/2020	PE	Unile Suyapa	Pozo comunal	542840	1485630	772	14.88	Uso doméstico
#25	22/9/2020	PE	Unile Suyapa	Pozo comunal	542326	1486019	741	8.29	Uso doméstico
#26	22/9/2020	PP	Unile Centro	Pozo comunal	543162	1485743	765	36.36	Uso doméstico
#27	23/9/2020	PE	Motuse	Pozo comunal	536390	1494608	661	9.90	Uso doméstico
#28	23/9/2020	PP	Motuse	Pozo cooperativa	536739	1493995	661	4.64	Se utilizaba para riego
#29	23/9/2020	PE	Motuse	Pozo privado	536750	1493911	663	4.50	Se utiliza para riego y uso doméstico
#30	23/9/2020	PP	Motuse	Pozo Cooperativa	536700	1494224	660	3.24	Anteriormente se utilizaba para riego
#31	23/9/2020	PE	Santa Isabel	Pozo comunal	544091	1486128	754	13.57	Uso doméstico
#32	23/9/2020	PP	Santa Isabel	Pozo comunal	543942	1487053	765	57.41	Uso doméstico
#33	23/9/2020	PP	Santa Isabel	Pozo comunal	543742	1486890	742	63.89	Uso doméstico
#34	23/9/2020	PP	Apatule	Pozo comunal de Santa Isabel	543194	1487590	727	61.07	Consumo humano
#35	23/9/2020	PP	Apatule	Pozo comunal	542748	1487223	727	7.42	Consumo humano

4.7. Recarga potencial

- **Infiltración por cobertura vegetal**

Se realizaron 26 pruebas de infiltración cercana a las fuentes de agua de las comunidades beneficiadas del proyecto UNA-Trocaire. En la tabla 8 se presentan los resultados de las pruebas de infiltración realizadas por tipo de cobertura o uso de suelo.

Tabla 8. Infiltración por cobertura vegetal o uso del suelo en cm/horas

Fecha	N°	X	Y	Elevación msnm	Infiltración cm/h	Cobertura/uso
21/9/2020	Prueba #1	540857	1490258	720	63.50	Bosque secundario
21/9/2020	Prueba #2	540777	1490324	727	108.86	Bosque secundario
21/9/2020	Prueba #3	540263	1489758	704	22.75	Cultivo de frijol
21/9/2020	Prueba #4	540326	1489803	703	50.80	Cultivo de sorgo
21/9/2020	Prueba #5	540271	1489565	688	14.89	Pasto
21/9/2020	Prueba #6	540406	1488352	685	9.15	Cultivo de sorgo
21/9/2020	Prueba #7	541034	1486984	710	102.74	Bosque secundario
21/9/2020	Prueba #8	540741	1487537	698	87.92	Bosque secundario
21/9/2020	Prueba #9	540939	1487406	702	10.95	Cultivo
22/09.2020	Prueba #10	548836	1485365	1165	8.01	Pasto
22/09.2020	Prueba #11	548726	1484947	1151	59.76	Café bajo sombra
22/09.2020	Prueba #12	548681	1484671	1133	95.25	Café bajo sombra
22/09.2020	Prueba #13	547364	1485589	990	7.51	Maíz
22/09.2020	Prueba #14	547454	1485661	982	17.38	Pasto
22/09.2020	Prueba #15	546728	1487141	836	11.63	Agro forestal
22/09.2020	Prueba #16	545498	1486117	875	7.62	Barbecho
22/09.2020	Prueba #17	545341	1486052	861	60.16	Café bajo sombra
22/09.2020	Prueba #18	545317	1486043	874	14.63	Maíz
22/09.2020	Prueba #19	544318	1485944	805	9.10	Barbecho
22/09.2020	Prueba #20	543257	1485080	771	101.60	Café bajo sombra
22/09.2020	Prueba #21	543181	1485109	776	7.26	Barbecho
22/09.2020	Prueba #22	543242	1485133	738	52.25	Maíz
23/9/2020	Prueba #23	543975	1487054	765	33.13	Bosque secundario
23/9/2020	Prueba #24	543644	1486929	743	7.36	Pasto
23/9/2020	Prueba #25	543197	1487563	720	7.21	Bosque secundario
23/9/2020	Prueba #26	543620	1486935	747	10.81	Maíz

El uso del suelo o la cobertura predominante en la zona es un factor importante en la infiltración del agua. La cobertura de bosque secundario y bosque asociado con el cultivo del café presentó los mayores valores de infiltración. Esto es debido a la mayor cobertura y una buena estructura del suelo; una mayor cantidad de macro y microsporos facilita la infiltración del agua.

En las áreas donde el uso del suelo consiste en pastos y cultivos anuales se presentó la infiltración más baja, debido a que el suelo está compactado por pisoteo de ganado y/o labranza inadecuada; esto genera una reducción de los macro poros, disminuyendo la infiltración.



Fotos 9, 10, 11 y 12. Cambio de uso de suelos de forestal a cultivos anuales y pasto en las zonas con fuertes pendientes en Aguas calientes y Musunche.

En las fotos 9, 10, 11 y 12 se observa el cambio de uso de suelos de forestal a cultivos de granos básicos y pasto; estas actividades traen con consecuencia la compactación, erosión y degradación de los suelos, lo que reduce la infiltración y recarga a las fuentes de agua subterránea.

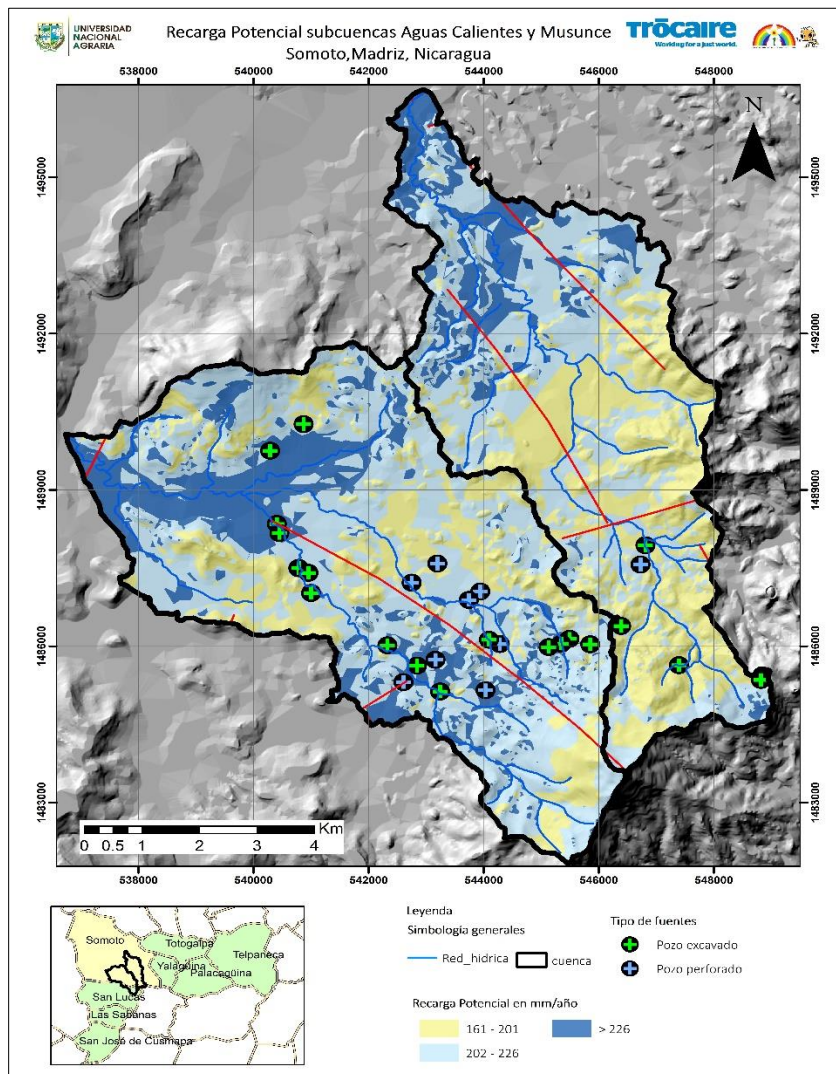
Las pruebas de infiltración en campo es un elemento determinante para estimar la recarga de agua subterránea en las cuencas. Es importante analizar el comportamiento de la infiltración por cada uso del suelo para realizar una identificación de las áreas o zonas de recarga, con el objetivo de proteger estas zonas que permitan el almacenamiento adecuado del agua en las fuentes de interés.

Los resultados de la Tabla 9 y Mapa 6, indican que el 51% del área presenta recarga potencial media con valores entre 202-226 mm/año; el 30% del área con recarga potencial baja entre 161-201 mm/año; y solamente el 19% del área presenta recarga potencial alta con valores mayores de 226 mm/año. La recarga potencial baja se presenta en las zonas con fuertes pendientes y área urbana.

Tabla 9. Recarga Potencial en las subcuencas Aguas Calientes y Musunce

Categoría	Recarga mm/año	Área Km ²	%
Baja	161 - 201	25.68	30%
Media	202 - 226	44.00	51%
Alta	> 226	16.10	19%

Estos valores bajos de recarga podrían estar relacionados con el cambio de uso de suelo de forestal a cultivos anuales y pastos; ya que son las zonas donde se obtuvo baja infiltración que es un factor determinante en la recarga potencial. La recarga potencial alta se presenta en zonas con menores pendientes, donde predominan el material sedimentario más reciente, y zonas cercanas a los ríos; este comportamiento coincide con la ubicación de los pozos de abastecimiento en las comunidades.



Mapa 6. Recarga potencial en mm/año de las subcuencas Aguas Calientes y Musunce

IV. CONCLUSIONES

El cambio del uso de suelo de forestal a pasto y/o cultivos anuales, repercute en la reducción de la infiltración del agua en el suelo, disminuyendo a la vez la capacidad de recarga potencial al agua subterránea. Esto quedó evidenciado en las infiltraciones bajas obtenidas en las pruebas de infiltración, sobre todo en las áreas de pasto y cultivo en relieve escarpado.

La recarga potencial predominante es de baja a media, la cual corresponde al 81% del área de estudios; esto se refleja en la poca cantidad de agua que presentan los pozos (en ocasiones se encuentran secos). En otras palabra, no hay suficiente agua para abastecimiento de la población.

V. RECOMENDACIONES

Una vez identificada las zonas de recarga potencial en las subcuencas se recomienda lo siguiente:

- Realizar balance hídrico de las subcuencas para evaluar la oferta y demanda de agua que es necesaria en el abastecimiento a la población.
- Evaluar las condiciones hidrogeoquímicas en el acuífero poroso, con el fin de valorar la calidad del agua en este acuífero para la utilización del recurso.

Durante el **taller de presentación de resultados** del estudio en Somoto, el pasado 10 de diciembre, líderes y lideresas que trabajan con la entidad social TROCAIRE, MCN-Somoto, **brindaron las siguientes recomendaciones:**

- Reforestar las zonas de recarga hídricas, zonas con fuerte pendientes y cercanas a los pozos y ríos.
- Implementar sistemas agroecológicos para mejorar la infiltración del agua en el suelo.
- Implementar prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente y obras de conservación de suelos tales como, barreras vivas, barreras muertas y curvas a nivel.
- Fomentar la organización comunitaria para la prevención / control de incendios.
- Implementar acciones de sensibilización y promoción de la protección de los recursos naturales, en conjunto con las entidades a nivel municipal e instituciones gubernamentales.
- Promover y ejecutar acciones para la aplicación de las leyes correspondientes a la protección de los recursos naturales, en conjunto con INAFOR, Alcaldía, MARENA y MAG.
- Gestionar apoyo de las instituciones que trabajan en el manejo del medio ambiente como INAFOR, MARENA y Alcaldía.
- Promover actividades comunitarias dirigidas a sensibilizar a la población en el uso racional del agua.

Participantes del taller: Maribel Carrasco (La Cruz), Anastasia Sánchez y María T. Ordoñez (Quebrada de Agua), Oscar Ponce y Diana Díaz (Motuce), Mayela Castellón, Vicente Báez, Juna Alvarado y María T. Ordoñez (Mancico), Marcelo Aguilera, Onier Rodríguez, Normin García, Santiago Rivera, participantes de Santa Rosa y Rodeo 2.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Fenzl, N. (1989). Nicaragua: Geografía, clima, geología y hidrogeología. Belem, UFPA/INETER/INAN.

INETER (2004). Estudio Hidrogeológico e hidrogeoquímico de la Zona Central de Nicaragua. Agencia Suiza para el desarrollo y la Cooperación (COSUDE)/ENACAL.

Organización Mundial de la Salud; (2003). Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos (ACNUDH), Centro por el Derecho a la Vivienda y contra los Desalojos (COHRE), Water Aid, Centro de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. The Right to Water.
www2.ohchr.org/english/issues/water/docs/Right_to_Water.pdf

Plataforma de datos climáticos: <https://www.globalclimatemonitor.org/>

USDA (2001). Soil Quality Test Kit Guide. The U.S. Department of Agriculture (USDA). Número de Páginas 88.

Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la Recarga Potencial del Acuífero Mediante el Balance Hídrico de Suelo. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

Schosinsky, G., & Losilla, M. (2000). Modelo Analítico para determinar la infiltración en base a la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central, 43-55.

Slocum, T. A., & Slocum, T. A. (Eds.). (2009). Thematic cartography and geovisualization (3rd ed). Pearson Prentice Hall.