



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
(UNAN-Managua)**



**Centro para la investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua
(CIRA-UNAN)**

**Trabajo para optar
al grado de master
en ciencias del agua**

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO DE ESTELÍ

**Elaborado por: Ing. Daniel Corrales Pérez
Tutor: M.Sc. Enoc Castillo
Asesores: M.Sc. Valeria Delgado
M.Sc. Victor Martínez**

Managua, Junio, 2005



INDICE GENERAL

I. INTRODUCCION	3
Objetivo General	6
. Objetivos Específicos	6
II. MARCO TEORICO	7
2.1. Isótopos estables del agua	7
2.2. Isótopos radioquímico, Tritio (^3H)	8
2.3. Ubicación del área de estudio	9
2.4. Características físicas del área de estudio	9
2.4.1. Clima	9
2.4.1.1. Precipitación	10
2.4.1.2. Temperatura	10
2.4.1.3. Evaporación	12
2.4.1.4. Humedad relativa	14
2.4.2. Geomorfología	15
2.4.3. Hidrología	16
2.4.4. Suelos	17
2.4.4.1. Clases de suelos	19
2.4.5. Geología	21
2.4.5.1. Grupo Coyol Superior	22
2.4.5.2. Grupo Coyol Inferior	22
2.4.5.3. Formación Matagalpa	22
2.4.6. Hidrogeología	23
2.4.7. Hidrogeoquímica	25
2.4.8. Geofísica	27
2.4.8.1. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)	27
2.4.8.2. Perfiles magnéticos	29
III. METODOLOGIAS	32
3.1. Recopilación y análisis de información	32
3.2. Balance hidrogeológico	32
3.2.1. Escorrentía subterránea (Esub)	33
3.2.2. Descarga artificial del acuífero (Dac)	34
3.2.3. Recarga del acuífero (Rac)	35
3.3. Red de monitoreo de niveles de agua	39
3.4. Red de afloros	41
3.5. Caracterización físico química de las aguas subterráneas y superficiales	41
3.6. Caracterización isotópica de las aguas subterráneas y superficiales	46
3.6.1. Oxígeno- 18 (^{18}O) y Deuterio (^2H)	46
3.6.2. Tritio (^3H)	50

IV. RESULTADOS Y DISCUSION	51
4.1. Caracterización hidrogeológica	51
4.1.1. Pluviometría	51
4.1.2. Monitoreo de niveles estáticos del agua (NEA)	53
4.1.3. Piezometria	57
4.1.4. Balance hidrogeológico	61
4.1.5. Régimen de flujo de red hídrica del río Estelí	61
4.1.6. Descarga artificial de agua subterránea	66
4.1.7. Recarga del acuífero (Rac)	67
4.1.7.1. Capacidad de infiltración	67
4.1.8. Entradas por límites geológicos (Qtc)	72
4.2. Caracterización física química	73
4.2.1. Carácter hidroquímico del agua	77
4.2.1.1. Pozos Perforados	77
4.2.1.2. Pozos Excavados	77
4.2.1.3. Manantiales	78
4.2.1.4. Ríos	78
4.2.1.5. Precipitación	78
4.2.2. Calidad del agua para uso potable	80
4.2.2.1. Pozos perforados	80
4.2.2.2. Pozos excavados	83
4.2.2.3. Aguas superficiales y manantiales	84
4.2.3. Calidad de agua para uso agrícola	85
4.2.4. Evaluación de la contaminación generada por actividad antrópica	92
4.3. Isótopos estables, valle de Estelí, 2004	96
4.3.1. Datos isotópicos de precipitación	96
4.3.2. Composición isotópica de las fuentes	97
4.3.2.1. Pozos perforado y excavados	98
4.3.2.2. Manantiales	99
4.3.2.3. Aguas superficiales	100
4.3.3. Sistema de recarga	101
4.3.4. Tiempo de residencia del agua subterránea	103
V. CONCLUSIONES	109
VI. RECOMENDACIONES	113
VII. REFERENCIAS	116
VIII. ANEXOS	119

I. INTRODUCCION

En los últimos años la afectación de los cambios climáticos y el desarrollo de las ciudades son visibles, donde las aguas superficiales se encuentran en escasez y mala calidad que limitan la explotación para los diferentes usos. En lo que respecta a las aguas subterráneas están son menos susceptibles y vulnerables a las secuelas de la contaminación, pero en el presente, ya se han encontrado algunos casos de sobreexplotación y contaminación de acuíferos en Nicaragua. (IAEA-CIRA, 1999)

La principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano son las aguas subterráneas, por tanto, es de importancia la protección y el uso sostenido de los mantos acuíferos. El conocimiento de la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos en general, es la herramienta para contribuir en la planificación estratégica de los recursos hídricos de una cuenca determinada.

A nivel nacional, los recursos hídricos tienen una crisis ambiental en lo referido al potencial y calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Cabe mencionar que la actividad antropogénica, es la mayor causante del estado de contaminación actual en que se encuentran las fuentes de aguas en Nicaragua.

En general, los recursos hídricos en la parte alta de subcuenca del río Estelí se encuentran en degradación progresiva, lo que arriesga la disponibilidad futura de agua para usos vitales de la población. Es preciso señalar que los únicos recursos hídricos con que se cuenta para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Estelí son las aguas subterráneas. Actualmente se encuentra en el valle de Estelí un total de 395 pozos entre perforados y excavados, (PRIESO, 2003).

Del total de pozos existentes 16 son administrados por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL-Estelí). El suministro total de agua del cual se ha beneficiado la población del municipio de Estelí en el año 2001 fue de 6,4 MMCA (ENACAL, 2001). Siendo la estimación de la población municipal de

115,033 habitantes para el mismo año, la dotación de agua distribuida ha sido de 152 L /día/hab.

Existen muy pocos estudios hidrogeológicos a detalle para el acuífero aluvial del valle de Estelí, salvo los trabajos en ciencias afines por: PRIESO et, al. 2002. A pesar de la información existente y dispersa, todavía no se conocen con exactitud los límites de explotación del acuífero. Con el diagnóstico del estado de los recursos hídricos subterráneos en el valle de Estelí, éstos siguen siendo explotados y no sobreexplotados (Mangano, 2002).

La actividad antropogénica genera focos de contaminación, en Estelí; destacan como fuentes los vertidos de aguas sin tratamiento al río Estelí, provenientes del rastro municipal; rellenos sanitarios; residuos de las gasolineras, fugas de alcantarillado sanitario, vertidos de aguas tratadas al río Estelí derivadas de lagunas de oxidación; pilas sépticas; letrinas; agroquímicos; cementerios y centros de reparación de maquinas automotrices; éstas se localizan en las zonas intermedia y baja del acuífero.

Se sospecha que el destino final de los contaminantes es el subsuelo ó el acuífero; esto genera un peligro latente para la calidad del agua potable con efectos en la salud de la población actual y futura de la ciudad de Estelí.

Con el objetivo de evaluar los mantos acuíferos ante posibles fuentes potenciales de contaminación, vulnerabilidad, caracterización hidrológica e hidrogeológica, en Nicaragua, se han realizado: estudios en los acuíferos de León – Chinandega, Managua y Sébaco; utilizando técnicas convencionales e isotópicas (^2H , ^3H y ^{18}O), (INETER, 1988, CIRA/OIEA, 1999, Plata, A. et, al., 1999 y el Proyecto Nic/8/002).

El presente estudio se ha realizado dentro del marco del programa de formación de expertos profesionales en la administración de los recursos hídricos dirigido por el Centro de Investigaciones de Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA), gracias

al apoyo de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI); a través de la Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos (Red CARA). Asimismo, con la finalidad de generar información técnica que sirva como herramienta para el manejo integrado de los recursos hídricos subterráneos del valle de Estelí se logró la colaboración del Proyecto Integrado Estelí-Ocotal (PRIESO -Unión Europea). Además, contribuyeron con el presente estudio la Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA) a través del proyecto regional RLA/8/031 Manejo Integrado y Sostenible de los Recursos Hídricos Subterráneos en América Latina

La finalidad del estudio fue realizar una evaluación hidrogeológica del funcionamiento del acuífero de Estelí, para ello se llevaron acabo campañas de muestreo en verano e invierno de hidroquímica y isótopos estables. Asimismo medidas de tritio de origen termonuclear. También, monitoreos de niveles estáticos de aguas, pruebas de infiltración, análisis de suelos, aforos y balance hidrogeológico.

La integración y análisis de la información recopilada y procesada en el presente estudio, servirá a las instituciones gubernamentales, alcaldía, ONG,s y otros; como una herramienta en la gestión y planificación sostenida de los recursos hídricos de la parte alta de subcuenca del río Estelí.

Es preciso adoptar a corto, mediano y largo plazo las medidas, estrategias, acciones y disposiciones, necesarias para garantizar la preservación de al menos, las más importantes fuentes de agua; en especial, de aquellas destinadas al consumo humano.

Objetivo General

- Ü Evaluación hidrogeológica del funcionamiento del acuífero aluvial de Estelí

. Objetivos Específicos

- Ü Evaluar la disponibilidad de agua del acuífero del valle Aluvial de Estelí.
- Ü Evaluar la contaminación agrícola y urbana generada por la actividad antrópica en la calidad del agua subterránea del valle de Estelí.
- Ü Conocer la calidad del agua del acuífero para fines de explotación agrícola y potable

II. MARCO TEORICO

2.1. Isótopos estables del agua

Los isótopos estables del agua deuterio (^2H) y oxígeno-18 (^{18}O) proporcionan información, sobre el origen del agua y sobre las relaciones entre distintos tipos de aguas. Las moléculas de agua que llevan incorporados estos isótopos pesados tienen un comportamiento algo diferente al que tienen las moléculas ligeras más abundantes formadas con ^1H y ^{16}O en los diferentes procesos que tienen lugar durante el ciclo hidrológico. Esto se debe, principalmente, a la menor presión de vapor de aquellas moléculas más pesadas. Estas diferencias de comportamiento originan lo que se llama fraccionamiento isotópico del agua, que indica la composición isotópica del agua que interviene en un determinado proceso físico o químico, que es diferente de la del agua resultante.

Uno de los factores más importantes que afectan la composición isotópica del agua es el llamado efecto de altitud, el cual está relacionado con la temperatura atmosférica y hace que las precipitaciones que tienen lugar a elevaciones más altas tengan concentraciones menores de moléculas pesadas. El efecto de altitud asciende, aproximadamente, a $-0,25\text{‰}$ por cada 100 metros de cambio de altitud para $\delta^{18}\text{O}$ y a $-2,4\text{‰}$ por 100 m para $\delta^2\text{H}$.

Un segundo factor muy importante que determina en muchos casos la composición isotópica del agua es la evaporación. Debido a la mayor presión de vapor de las moléculas ligeras, éstas escapan preferentemente a la atmósfera cuando el agua experimenta evaporación y el agua residual se concentra en los isótopos pesados, dando valores δ menos negativos.

La mayor parte de las precipitaciones y aguas meteóricas mundiales tienen valores δ que se ajustan a una línea recta de ecuación $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$. El término 10 se llama exceso de deuterio y se usa frecuentemente como índice de evaporación del agua.

2.2. Isótopos radioquímico, Tritio (^3H)

El tritio es isótopo del hidrógeno de número de masa 3 (^3H). Pequeñas actividades de tritio, son producidas de forma natural en la alta atmósfera a partir de determinadas reacciones nucleares inducidas por los neutrones liberados en la misma por la radiación cósmica de origen extraterrestre. Este tritio natural se incorpora al ciclo del agua como precipitación en forma de agua tritiada (THO), produciendo concentraciones muy pequeñas que son medibles perfectamente con las técnicas de medición de que se dispone en la actualidad.

Sin embargo, durante los últimos 45 años, las precipitaciones a nivel mundial y, principalmente, las del hemisferio norte, han contenido concentraciones de tritio muy superiores a las producidas de forma natural, debido a los ensayos nucleares realizados en la atmósfera, principalmente, durante las décadas de los años 50 y 60 (ensayos termonucleares). Este tritio ha producido el marcado natural de todas las aguas meteóricas mundiales, y por tanto, también de los acuíferos donde se produce una renovación rápida del agua.

Debido, al origen reciente del tritio termonuclear y al corto período de semidesintegración de este isótopo (12,43 años), el tritio se utiliza en hidrología para identificar aguas modernas, es decir, aguas infiltradas en el subsuelo a partir del año 1952, fecha en que se iniciaron los ensayos termonucleares.

2.3. Ubicación del área de estudio

El valle de Estelí se encuentra dentro los límites territoriales de la cuenca del río Coco, de acuerdo al mapa de cuencas hidrográficas de Nicaragua. Asimismo, a nivel de microlocalización se encuentra en la parte alta de subcuenca del río Estelí (1,326 km²) entre las coordenadas geográficas 13° 05' latitud norte y 86° 21' longitud oeste (Mapa 1).

La ciudad de Estelí se localiza en elevaciones entre los 800 y 900 m.s.n.m., con una extensión territorial de 23 km², que corresponden al 6.8% con relación al Departamento de Estelí, y al 2.2% de la Región I del país, se encuentra asentada en una planicie de suelos aluviales y coluviales de vocación agropecuaria.

Las condiciones climatológicas (clima seco con canículas muy prolongadas) y tipos de suelos existentes en el valle de Estelí; lo hace apropiado para cultivos de riego (Tabaco y Hortalizas) y para ganadería extensiva de doble propósito en las áreas pedregosas.

2.4. Características físicas del área de estudio

2.4.1. Clima

El clima de la zona de Estelí, según la clasificación de Köppen (Köppen, W., Geiger, R., 1928) es de tipo Sabana Tropical de altura; y de acuerdo a Thorntwaite, el clima local se clasifica "Sub-húmedo seco".

Estelí, se caracteriza por presentar valores bajos de precipitación y humedad relativa con altas temperaturas que ocasionan altos índices de evaporación, lo cual evidencia una falta de agua que es producida por lluvias irregulares y deficientes en la primera etapa de la estación lluviosa, y un marcado déficit hídrico en los suelos en los meses de julio y agosto conocido como *Canícula*.

2.4.1.1. Precipitación

La región tiene un régimen de precipitación promedio anual, que en función de la altitud, varía de 700.1–1,866.4 mm, éstas últimas se registran para el año del huracán Mitch. En el período lluvioso ocurre el 90% de precipitación; siendo mayo, de mayor régimen pluviométrico (199.3 mm). Mientras que febrero es mas seco con un valor medio máximo mensual de 13.8 mm (Gráfica 1).

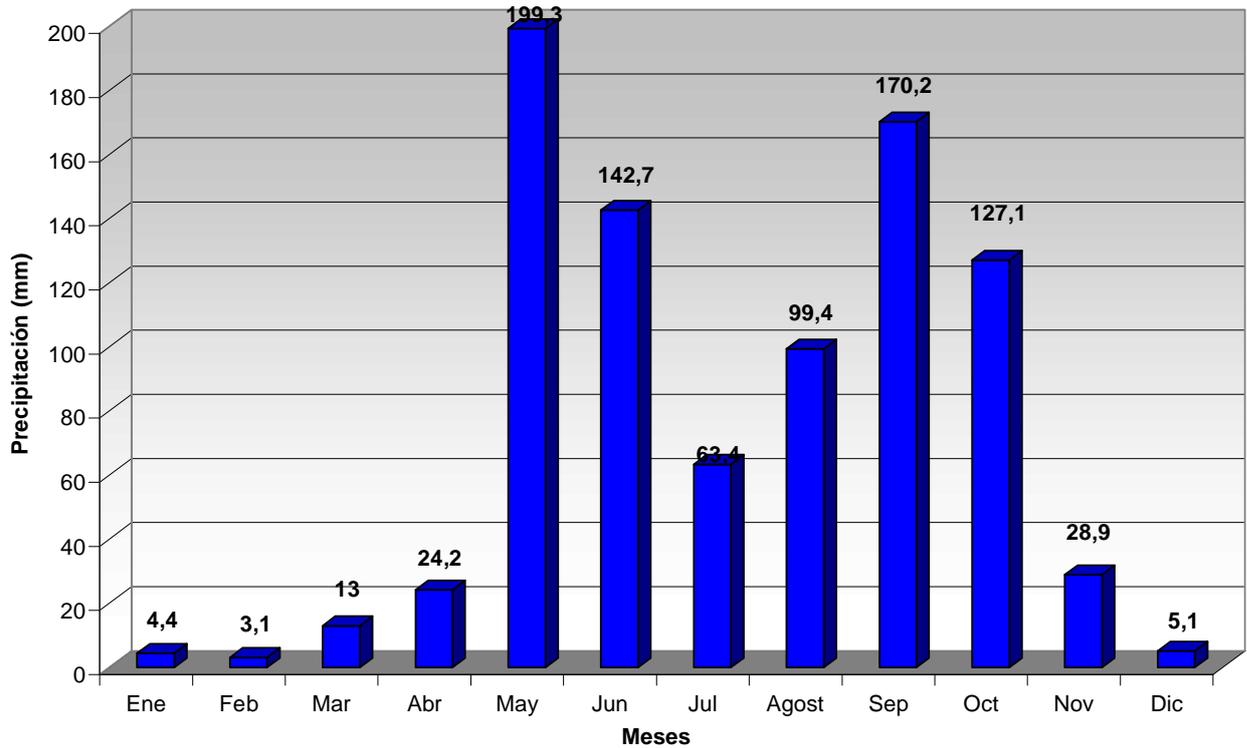
La zona de Estelí, presenta dos estaciones (verano e invierno) durante el año; un período seco (noviembre a abril) y él húmedo (mayo a septiembre), además existe otro seco conocido como *Canícula* (15 de julio a 15 de agosto).

El período lluvioso (mayo -octubre) presenta un régimen bimodal de precipitación, es decir, que se presentan dos máximos que ocurren generalmente en mayo y septiembre. (INETER, 2004)

2.4.1.2. Temperatura

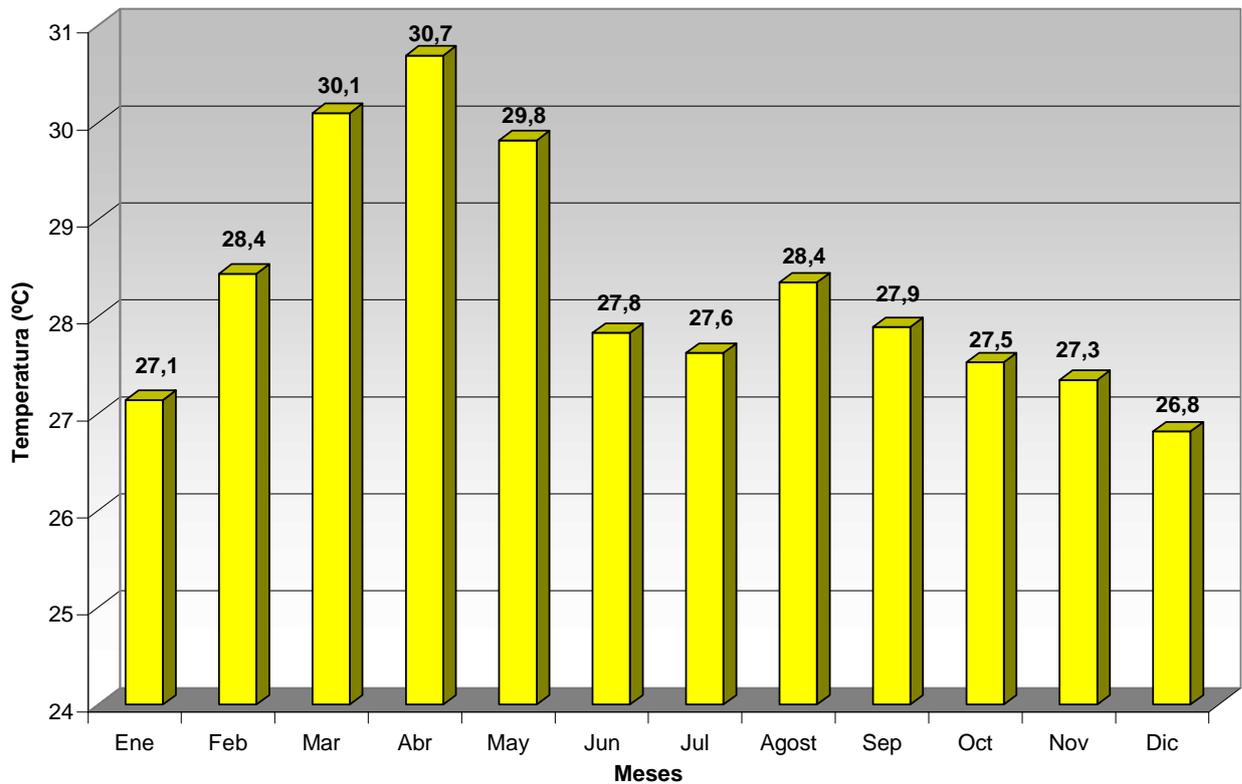
En general, se puede decir que la temperatura media anual varía de 26.8 a 29.4 °C; presentándose los valores más bajos en los meses de diciembre y enero; los más altos en el mes de abril (Gráfica 2).

También, la baja de las temperaturas en junio y julio por el acercamiento de la zona de convergencia intertropical; como factor sinóptico, ésta influye en el incremento de la cobertura nubosa y ocurrencia de precipitaciones, lo cual reduce los valores de temperatura en la superficie terrestre.



Gráfica 1. Precipitaciones medias mensuales anuales período 1970-1988 Estación Estelí.

La distribución de la temperatura está en dependencia de la elevación. Para el caso particular del valle existe variación en cotas de elevación de 800 y 1230 m.s.n.m. Las variaciones son notorias respecto a las montañas que circundan el valle, donde éstas son más bajas.

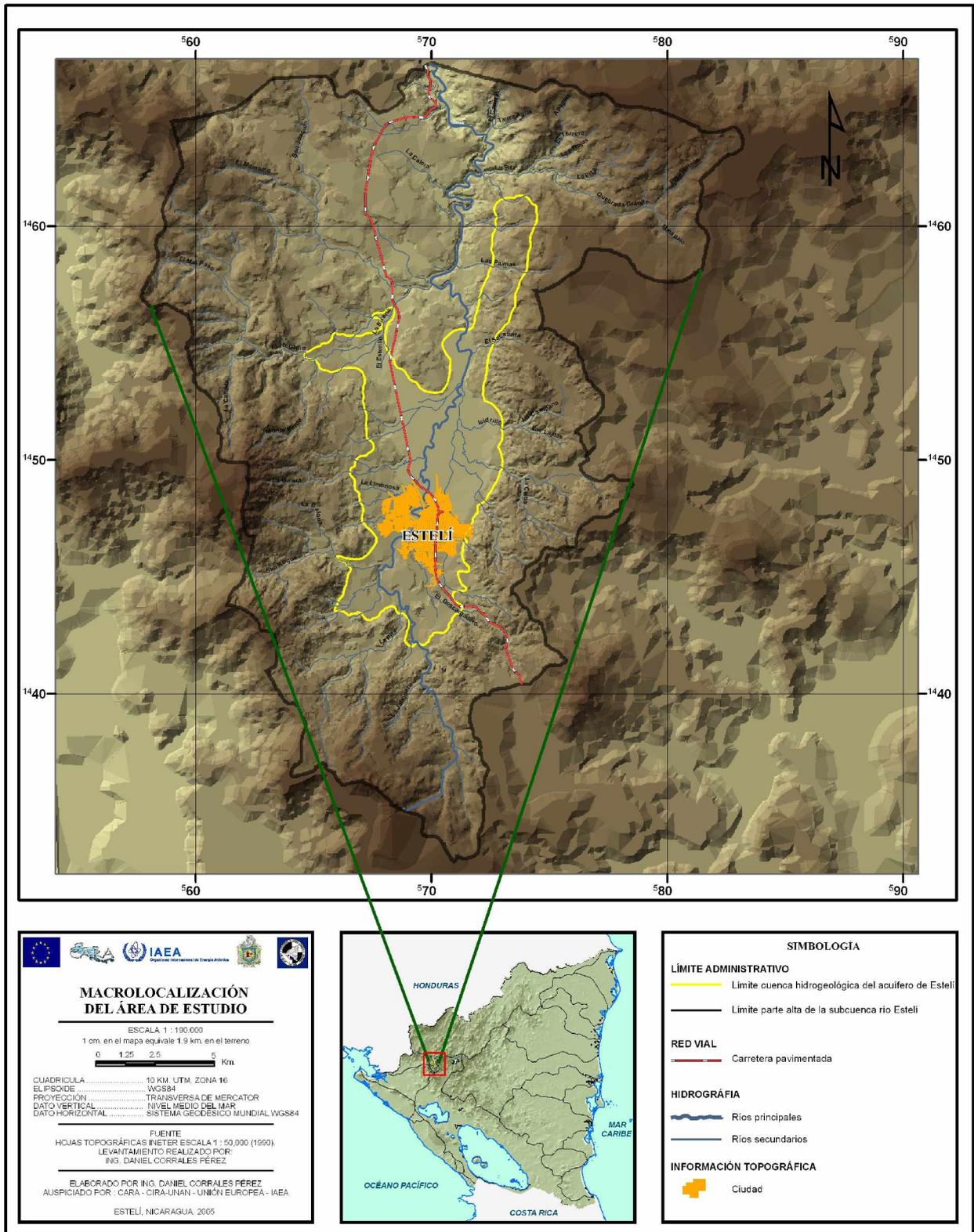


Gráfica 2. Temperaturas medias mensuales anuales período 1970 – 1988, Estación Estelí.

2.4.1.3. Evaporación

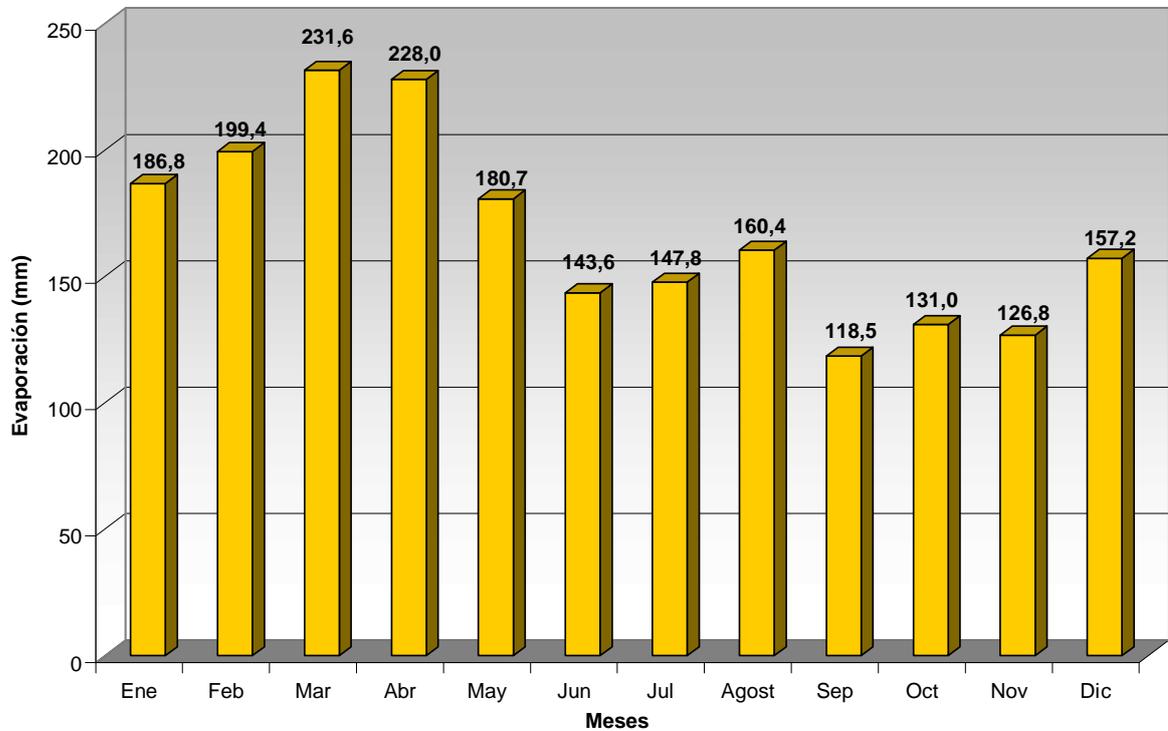
La evaporación es un parámetro de interés, para los fines de un balance hídrico e hidrogeológico. Los registros de éste parámetro en el período 1971–1988, se calculan los valores medios mensuales en el rango de 118 a 228 mm, estos indican la cantidad de agua que se pierde por evaporación. Este proceso se acentúa principalmente más, debido al efecto de la ausencia de cobertura vegetal producto del impacto ambiental causado por la deforestación.

Estudio hidrogeológico del funcionamiento del acuífero de Estelí



Mapa 1. Macrolocalización del área de estudio.

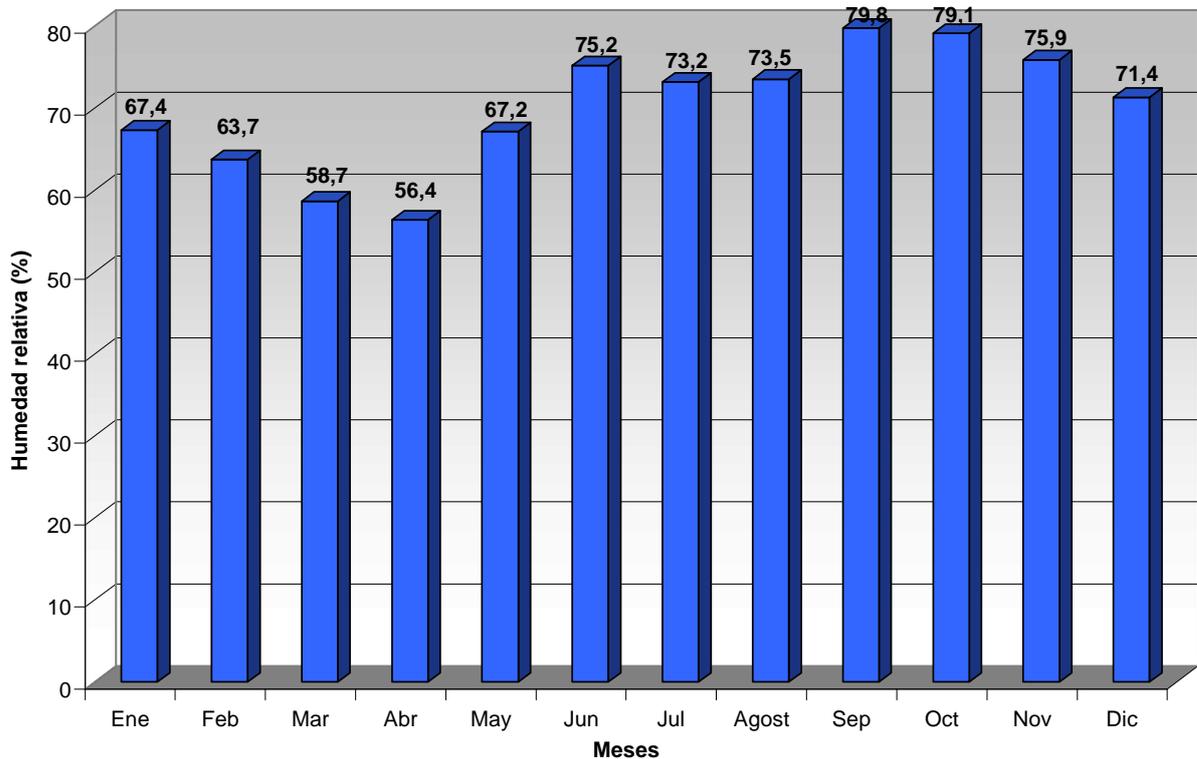
Los valores medios mensuales más alto de evaporación se registran en el mes de marzo, y el más bajo en septiembre (Gráfica 3).



Gráfica 3. Evaporación media mensual anual período 1970–1988, Estación Estelí.

2.4.1.4. Humedad relativa

La importancia de la humedad relativa se debe a su íntima relación con los fenómenos hidrológicos, isotópicos y meteorológicos. En cuanto a los fenómenos hidrometeorológicos, al existir mayor grado de humedad disminuye la evaporación dando origen a la ocurrencia de precipitaciones. Con relación a los fenómenos isotópicos, su influencia con el efecto de elevación determinan la composición isotópica de las aguas.



Gráfica 4. Humedad relativa media mensual anual período 1970–1988, Estación Estelí.

La humedad relativa en la región varía durante el año entre el 56% en el mes de abril y el 80% en septiembre; coincidiendo éste con el período más lluvioso de los registros pluviométricos. Además en estos meses se registran los mínimos y máximos valores de humedad relativa con 47% y 91.3% respectivamente (Gráfica 4).

2.4.2. Geomorfología

Comprende un sistema montañoso volcánico de altura que se distribuye generalmente por encima de los 900 m.s.n.m y se caracteriza por presentar altiplanos en alturas mayores de los 1,000 m.s.n.m. Se encuentra constituida por Rocas Volcánicas del Grupo Geológico Coyol e inclusiones de la Formación Matagalpa. El primero, correspondiente al período del Terciario del Mioceno Superior; y la segunda, al período Terciario del Mioceno Inferior. Es en esta unidad

que se localizan las reservas naturales Miraflores, las Mesas de Moropotente y Quiabú (Mapa 2).

Los bloques montañosos, en sus bases o niveles inferiores están formados por Rocas Volcánicas Miocénicas del Grupo Coyol Inferior que a su vez está integrado por Andesitas e Ignimbritas Dacíticas. Los niveles medios están compuestos por Lavas, Tobas y Aglomerados Dacíticos, siempre del mismo Grupo, y los niveles superiores o superficiales consisten de Basaltos e Ignimbritas Dacíticas del Grupo Coyol Superior (Hogdson, 1983).

Los valles aluviales intra montanos del Cuaternario reciente y Pleistocénico presentan desarrollos genéticos recientes y juveniles y que han sido clasificados como: Vertic Haplustolls y Tepic Crhomusterts (MAG-FOR, 2000).

En general, el fondo del valle es de relieve casi plano, presenta una ligera inclinación de 15 m de sur a norte entre los 830 y 815 m.s.n.m. Aunque ubicados en cotas de extremas elevación; en vista panorámica se observa que el valle tiene una morfología en forma de "V".

2.4.3. Hidrología

La subcuenca del río Estelí tiene un área de drenaje de 1,326 km², drena a la cuenca del río Coco. El sistema hidrográfico está representado por el río Estelí, que recorre el municipio de sur a noreste, produciendo ramificaciones en forma de quebradas y riachuelos. La mayoría de sus afluentes en época de sequía se cortan parcialmente en sus diferentes cursos, y otros se secan. El potencial estimado a nivel de fuente, es de 0.60 MMC (MAGFOR, 2000).

El drenaje superficial natural del valle se efectúa a través de los numerosos afluentes que bajan y drenan desde los bloques montañosos que lo circundan. Los principales afluentes son: Las Pintadas que escurre y alimenta al río principal por el sector oeste del valle, y el río Paso León que fluye en el sector este del valle.

(Mapa 3). Hace 42 años el caudal del río Estelí en época lluviosa fue de 277,256 m³/seg. (INETER, 2004), sin embargo el caudal de los afluentes Estanzuela y Las Pintadas en 1995, fue de 2.17 y 0.04 m³/seg.(INETER ;2004).

2.4.4. Suelos

En el valle de Estelí los suelos presentan una gran similitud en cuanto a sus características genéticas y morfológicas de acuerdo al orden de suelo, clasificándose como Molisoles. (MAG-FOR, 2000). Este orden es ampliamente representado en el valle y se presenta en regímenes de humedad ústico.

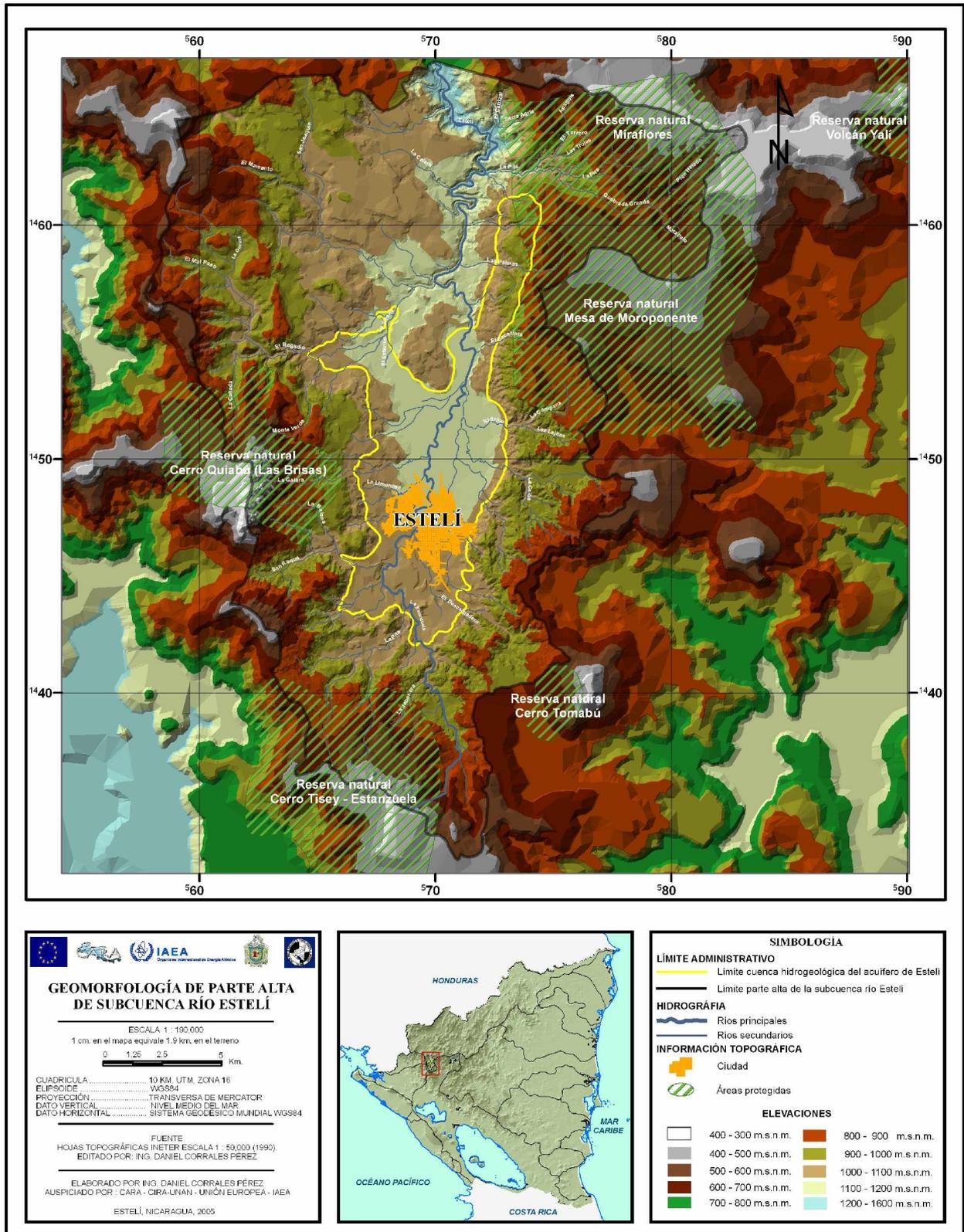
Son suelos que tienen un desarrollo de juvenil (A-B-C) a inmaduro (A –Bt-C) con la presencia de un epipedión mólico que corresponde a un horizonte superficial A de color oscuro, alto en saturación de bases (> 50%).

El valle presentan suelos con desarrollo genético juvenil a inmaduro fuertemente erosionado y que corresponden a los subgrupos taxonómicos: Litic Haplustolls, Litic Argustolls y Udic Haplustolls.

Los sub grupos de suelos más generalizados son:

Haplustolls: Son los ustolls de régimen ústico, que presentan un epipedión mólico (hz A) que descansa sobre un horizonte B cámbico. La secuencia textural del A y el B es generalmente franca, son desarrollados a partir de Rocas Volcánicas y se localizan en superficies fuertemente erosionadas. Presentan una secuencia de horizontes del tipo A-B-C.

Argiustolls: Son los udolls de régimen ústico, que presentan un epipedión mólico (hz A) que descansa sobre un horizonte argílico (Bt) de acumulación de arcilla iluvial. La secuencia textural es generalmente franca en el A y franco arcillosa en el Bt. Son desarrollados de Rocas Máficas y se localizan en superficies erosionadas por la acción humana. Presentan una secuencia de horizontes del tipo A-B-C.



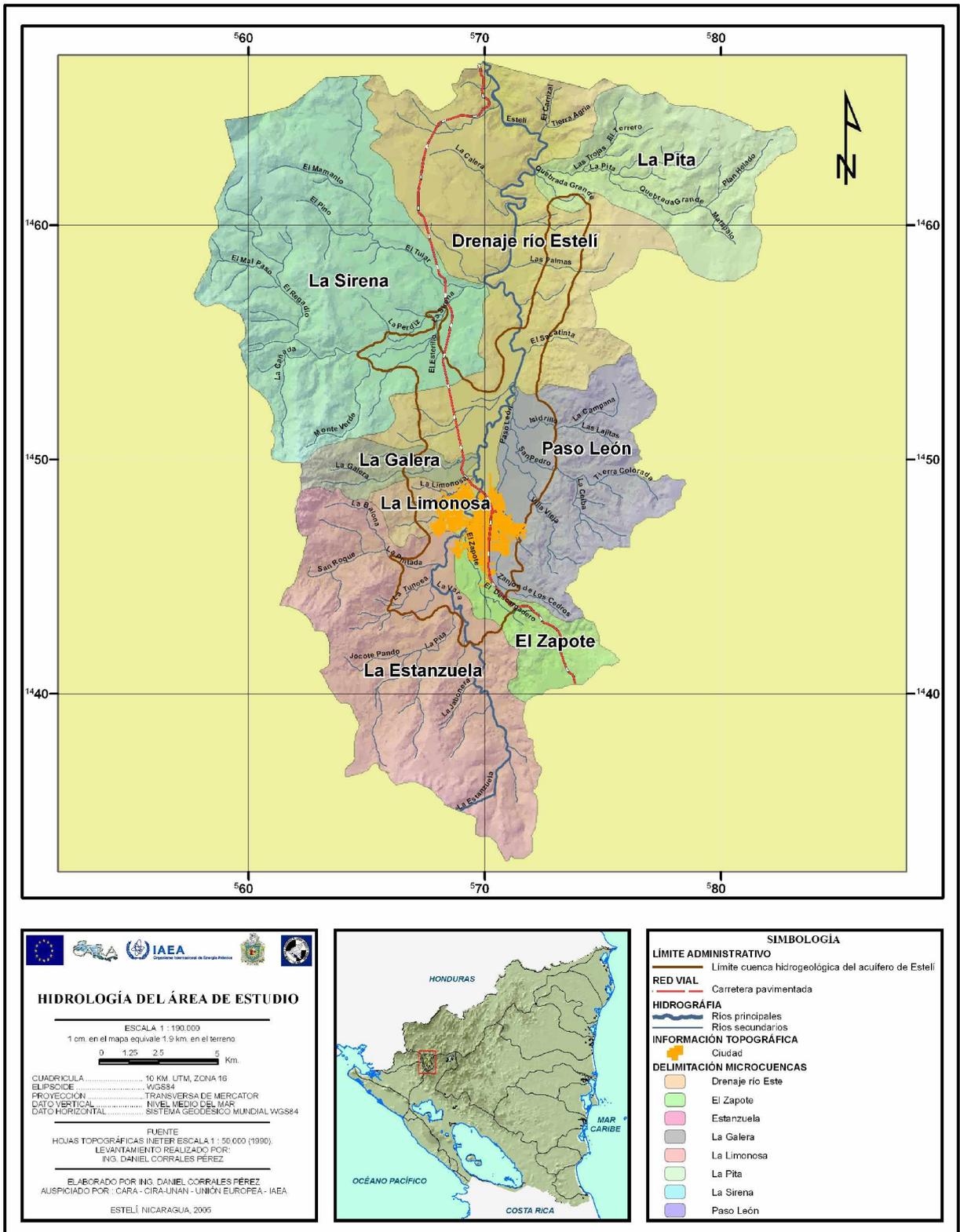
Mapa 2. Geomorfología del área de estudio.

Hapludolls: Son los udolls de régimen údico que presentan un epipedión mólico (hz A) que descansa sobre un horizonte cámbico pardo rojizo. La secuencia textural es generalmente franca en el A, y franco arcillosa en el B. Se han desarrollados a partir de Rocas Máficas. Presentan una secuencia de horizontes del tipo A-B-C.

La mayoría de los suelos no presentan diferencias notables en cuanto a las clases de usos del suelo (I – VIII). En el valle de Estelí existe un predominio mayoritario de suelos de la clase III. (Catastro e Inventario de Recursos Naturales et, al. 1972).

2.4.4.1. Clases de suelos

Están clasificados como suelos clase III con características como: suelos profundos con profundidad mayor de 90 cm; de textura fina dentro de los que sobresalen los: arcilloso arenoso, arcillo limosos y arcillosos con menos del 60% de arcilla. Presentan una pendiente bastante plana menores del 1.5%, por tanto, su drenaje es pobre o moderadamente drenado; como resultado se dan inundaciones ocasionales. El porcentaje de erosión es moderada.



Mapa 3. Hidrografía del área de estudio, Estelí 2004.

2.4.5. Geología

En la Provincia Central, que incluye el valle de Estelí, abundan las fallas y diaclasas y algunos estratos están fuertemente inclinados. Está constituida por un relieve montañoso moderno muy variable en forma de extensas mesetas inclinadas y en cuesta, características de rocas tipo Ignimbritas y Lavas, en forma de cúpulas, características de Rocas Riolíticas y en forma de cono, característico de Rocas Andesíticas. El drenaje es dendrítico y en parte está controlado por fallas y fracturas (Hogdson, 1983).

El valle de Estelí es una estructura del tipo depresión tectónica o graben simétrico inverso, muestra una estructura monoclinal cuarteada por una intensa red de fallas y fracturas (Hogdson, 1983).

Los depósitos Cuaternarios posan discordantemente sobre las Rocas del Grupo Coyol antes descritas. Esta es una de las provincias de mayor variedad de Rocas Igneas Intrusivas que son fuente de mineralización. Por debajo de éstas se encuentran Rocas Sedimentarias del Cretácico y Terciario.

Una gran cantidad de fallas y fracturas la atraviesa con una orientación predominantemente NE. Está relleno por depósitos Aluviales y Coluviales Cuaternarios de hasta 66 m de espesor (Villa Vieja), que consisten en compuestos de conglomerados, gravas, arenas, arcillas y limos. Estos materiales son producto de la alteración química y física de las Rocas Basálticas e Ignimbríticas que afloran en la región que circunda el valle, transportados principalmente por el río Estelí y sus afluentes. Los clastos más abundantes se encuentran en los extremos sur y norte, donde existen terrazas construidas por el mismo río. En el extremo este y noroeste, los depósitos son más finos, y los cantos rodados, las gravas y las arenas, desaparecen paulatinamente con predominio de arcillas.

El valle comprende planicies con depositaciones mixtas de Materiales Aluviales, Coluviales y de suelos residuales, del sistema Cuaternario (Mapa 4), serie

Holoceno-Pleistoceno, que presentan suelos con desarrollos genéticos recientes y juveniles y que han sido clasificados como: Dic Haplustolls (MAG-FOR, 2000)

Las Rocas Terciarias más comunes son Basaltos, Andesitas, Dacitas, Tobas e Ignimbritas y están aglomeradas en dos grandes Grupos: el Matagalpa (Terciario Inferior) y el Coyol (Terciario Superior). Todo el conjunto tiene un espesor mayor de 5,000 m.

2.4.5.1. Grupo Coyol Superior

Corresponden al sistema Terciario y a la serie del Mioceno Medio-Plioceno, con una litología dominada por Ignimbritas, Tobas, y Brechas Dacíticas, Lavas Basálticas y Andesito-Basálticas.

2.4.5.2. Grupo Coyol Inferior

Corresponde al sistema Neoceno Superior, serie del Mioceno-Medio-Superior, con una litología dominada por Lavas Basálticas y Andesito-Basálticas, Andesito-Dacitas, Riodacitas, Tobas y Brechas Tobáceas de Riolitas y Dacitas Aglomeraditas. Los afloramientos Andesítico e Ignimbrítico del Grupo Coyol, son los más antiguos del área y pertenecen al Grupo Coyol Inferior. Los materiales son de color café, rojizo oscuro, densos y compactos, con ciertas características ignimbríticas y presentan poca alteración. El Coyol Inferior Dacítico se encuentra dentro del nivel anterior concordante con potentes capas de Tobas Dacíticas.

2.4.5.3. Formación Matagalpa

Pertenece al sistema Neoceno, serie del Mioceno-Oligoceno-Medio, con una litología dominada por Tobas Riolíticas y Riodacíticas, Lavas y Lavas Brechosas Andesititas y Basálticas, Areniscas Tobáceas, Brechas areno-arcillosas e Ignimbritas

2.4.6. Hidrogeología

El valle de Estelí está constituido por depósitos Cuaternarios Aluviales–Coluviales, formados por gravas, arenas, arcillas con espesor máximo de 66 m que descansan sobre Rocas Volcánicas Terciarias, pertenecientes a los Grupos Coyal Superior y Coyal Inferior, representados por basamentos, Andesitas e Ignimbritas.

Las Rocas de los Grupos Coyal Superior e Inferior tienen propiedades acuíferas menos favorables que los materiales aluvionales. Sin embargo, la permeabilidad secundaria provocada por fracturamiento, diaclasas o intemperización, puede contribuir a la recarga del acuífero principal o al nacimiento de manantiales o fuentes. Los depósitos Coluviales depositados en las faldas de las montañas contribuyen también a la recarga.

Los perfiles litológicos de los pozos existentes a lo largo del valle ponen de manifiesto un sistema multicasas del acuífero, conformado por una superposición de estratos permeables por porosidad (arena, gravas, alternantes con arcillas y limo) y estratos preferentemente permeables por grietas y fisuras.

Las transmisividades de los acuíferos del país varían entre 40 m²/día y 13,900 m²/día (Fenzl y Wezel, 1985). Las transmisividades para los pozos de ENACAL-Estelí oscilan entre 40 – 7,698.4 m²/día; con cargas específicas en el orden de 2.38 a 571 gpm/pie (PRIESO, 2003).

El acuífero se encuentra sobre estratos Volcánicos permeables uno de los pozos que intercepta estos materiales es el pozo Las Porras, ubicado en el margen oeste de la ciudad de Estelí; tiene 106 m de profundidad e intercepta un acuífero multicasas de escorias y basaltos con una transmisividad de 6,303 m²/día muy elevada.

En análisis realizado a través de una sección de 5.9 Km. de amplitud situada en la zona central del valle, considerando una transmisividad de $4.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$ y un gradiente piezométrico de 6.7×10^{-3} se obtuvo un cálculo del flujo subterráneo de 5.5 MMCA (Mangano, 2002).

La descarga artificial del depósito subterráneo se efectúa mediante los pozos perforados y norias existentes en el valle, cuyas profundidades oscilan entre 30 y 130 m, siendo 80 m la profundidad promedio. El volumen de agua almacenada en los depósitos aluviales se estima en $6.4 \times 10^6 \text{ m}^3$, que es el producto de un área de 45 km^2 por un espesor medio de acuífero de 50 m y por una porosidad estimada de 28 % (González, E. 1993).

La profundidad media a la que se encuentra el nivel freático es de alrededor de unos 5-10 m, menor que en las cercanías de la zona intensamente explotadas, donde el nivel de agua puede encontrarse hasta unos 40 m de profundidad.

El acuífero se encuentra en condiciones generalmente freáticas o localmente semiconfinadas o artesianas, debido a la presencia de lentes de material impermeable intercaladas en los depósitos aluviales.

En la zona sur del valle se presentan las mayores condiciones de confinamiento producidas por pequeñas capas de arcillas en la parte superior de los acuíferos y por extensas capas en la parte inferior de los mismos; dando lugar a surgencias en algunos pozos perforados. Al desplazarse hacia el norte se reducen las condiciones de confinamiento al reducirse las capas arcillosas, en la parte superior de los acuíferos, produciéndose un estado de semiconfinamiento con leves efectos artesianos, no se tiene información de pozos surgentes en esta zona.

Toda el área del valle se considera como zona de recarga a excepción de las áreas construidas. La recarga por precipitación al depósito de agua subterránea estimada en base a una precipitación promedio de 736 mm (22 años de registro) y

para un índice de infiltración de 15 % es de unos 9×10^6 m³/año, (González, 1993).

De éste volumen, tomando un coeficiente de almacenamiento medio de 1×10^{-3} , pueden ser extraído 6.3 MMCA de agua.

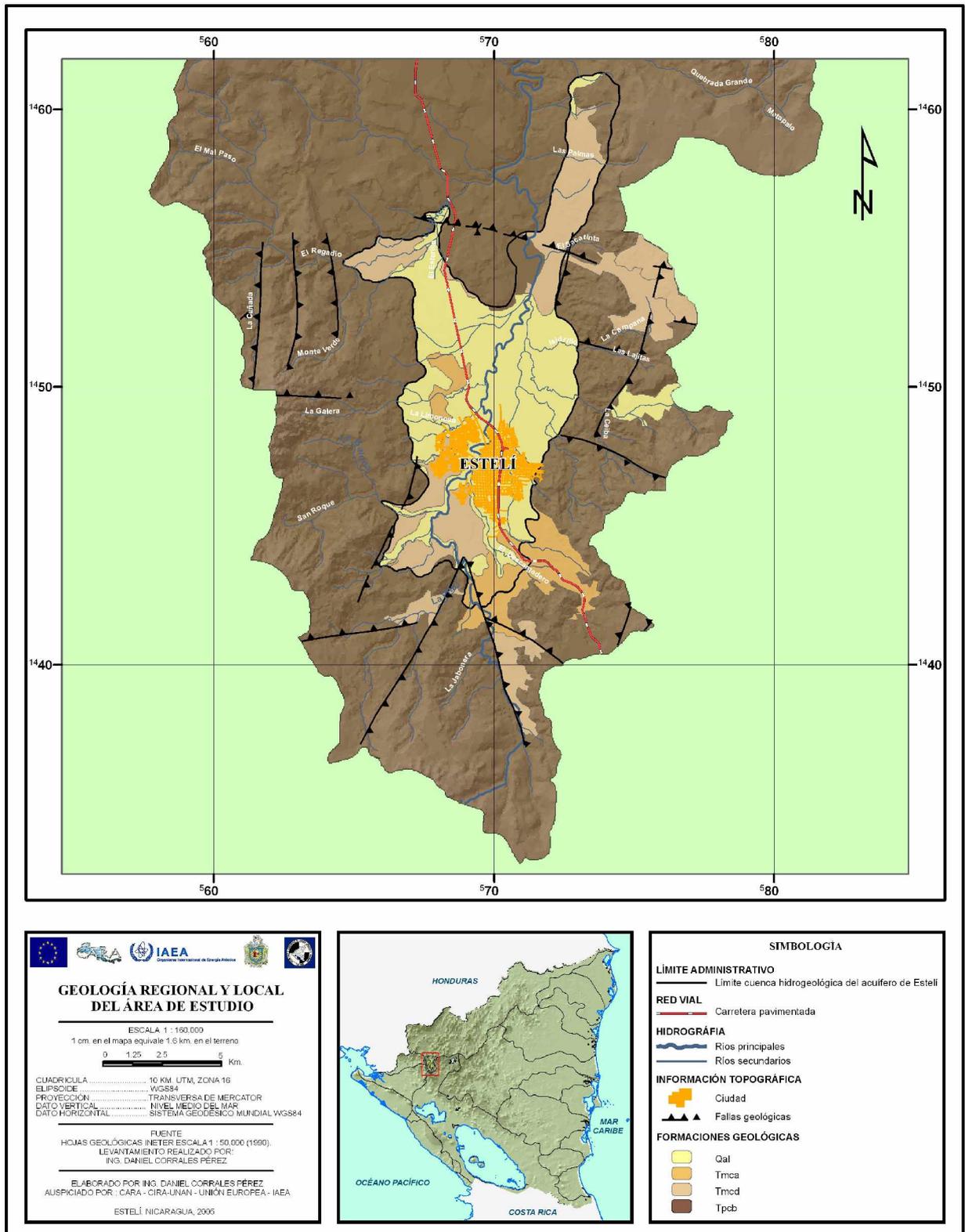
2.4.7. Hidrogeoquímica

El tipo de agua del acuífero se clasifica principalmente como HCO₃⁻-Ca⁺²-Mg⁺² y en algunos sitios como HCO₃⁻-Ca⁺²-Na⁺; con temperaturas que oscilan entre los 21 y 25 °C; y en donde la concentración de los Sólidos Totales Disueltos (STD) varía entre 205 y 390 ppm con un promedio de 285 ppm (INAA, 1981).

La turbidez se encuentra en el orden de 0.3 a 0.7 UT, el color presenta valores de 0.0 UCV; los rangos de pH son de 6.8 a 8.8 con un promedio de 7.49, por lo que se pueden definir como aguas ligeramente cristalinas.

El contenido de fluor en las aguas es de 0 a 0.2 ppm en pozos perforados, con relación a los nitratos estos se encuentran de 2 - 54.3 ppm (INAA, 1981).

Estudio hidrogeológico del funcionamiento del acuífero de Estelí



Mapa 4. Geología del área de estudio.

2.4.8. Geofísica

2.4.8.1. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Se trazaron 9 perfiles con el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) en el valle de Estelí (Mapa 5), donde se obtuvo la distribución de los estratos en profundidad diferenciados entre sí por contrastes en la resistividad eléctrica (Cuadro 1). Los acuitardos se asocian a capas conductoras con resistividades entre 1 y 30 ohm-m aproximadamente y que a la vez se pueden identificar como arcillosos por su alta conductividad eléctrica (Sequeira, L 1998).

Los acuíferos presentan resistividades en el rango de 30 a 200 ohm-m aproximadamente con espesores variables a lo largo de cada sección, al igual que los acuitardos.

Cuadro 1. Consolidado de Sondeos Eléctricos Verticales ,valle de Estelí

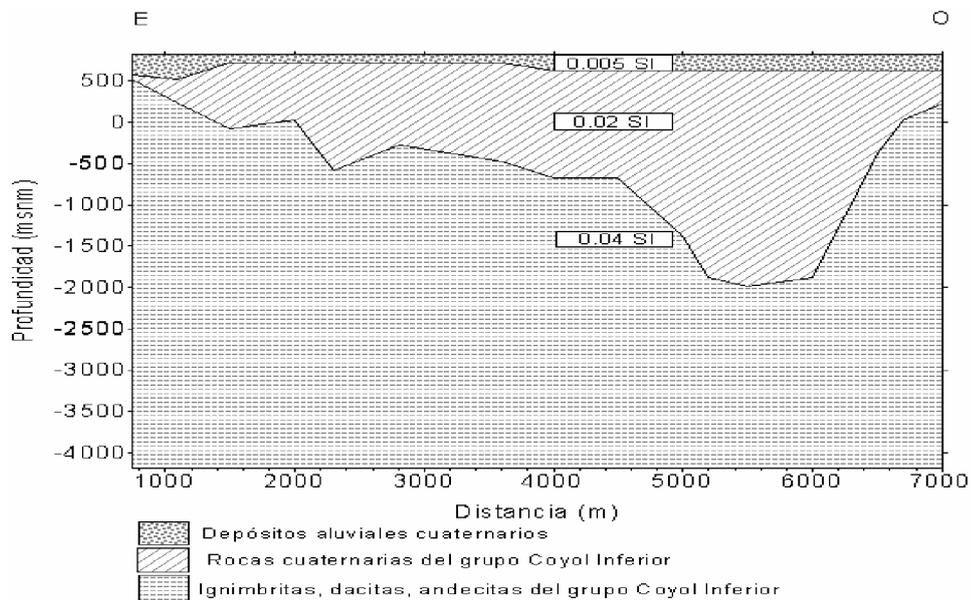
Perfil	Capas	Espesor (m)	Resestividades (Ohm - m)	Textura
AA'	C1	50	10 - 45	conglomerados, gravas, arenas y arcillas
	C2 (capa lenticular)		70 - 135	Material arenoso y grava
	C3 (ac. principal)	28	365 - 470	arenas y gravas
	C4	24 - 70	1 - 20	arcilla
BB'	C1	39	1 - 10	limos, arenas y arcillas
	C2 (ac. principal)	28	60 - 150 (e) y 75 - 85 (o)	arenas y gravas
	C3		1 Ohm -m a 20	
CC'	C1	37	20 - 160	conglomerados, gravas, arenas y arcillas
	C2 (capa confinante)	29	1 - 10	arcilla y limo
	C3(ac. principal)	46	65 - 150	gravas y arenas
	C4 (capa confinante)	11	1 - 5	gravas y arenas
	C5 (subyace al anterior)	10	70 - 170	
	C6	40 - 70	10 - 50	areno- arcillosos
DD'	C1	28	5 - 160	conglomerados, gravas y limos
	C2 (capa conductiva)	31	1 -5	arcilla
	C3 (ac. principal)	19	50 - 145	arenas y gravas
	C4 (capa conductiva)	9	1 - 5	arcilla
	C5		10 - 60	gravas, arenas y arcillas
EE'	C1	20 y 30	1 - 35 (e) y 10 -65 (o)	
	C2 (ac principal)	38	55(e) y 30 - 160(o)	grava y arena
	C3		10 - 15 (e) y 15 - 50 (o)	arcillas, arenas y gravas
	C4	24 - 70	1 - 20	arcilla
FF'	C1	30	20 - 170	conglomerados, gravas, arenas y arcillas
	C2 (ac. principal)	25	25 - 160	arenas y gravas
	C3	16	1 - 35	arcillas y limos, prof. hasta 40 m
	C4	40		gravas, arenas y arcillas
GG'	C1	6	1 - 15	arcilla y limo
	C2 (ac. somero)	10	55 - 100	gravas y arenas
	C3 (capa confinante)	46(e) y 5(o)	1 -10	gravas y arenas
	C4 (ac. principal)	24	230	gravas y arenas , prof del estrato 46 m e y 9 m o
	C5	16		arcillo - limoso
	C6	70	525 - 6880	roca
HH'	C1	11	1 -10	
	C2 (ac. principal)	6	55	gravas y arenas, prof. Del estrato de 5 a 11 m
	C3	31	1 - 150	
	C4 (ac mas profundo)	40	45	gravas y arenas, prof. del estrato hasta 40 m
II'	C1	6	1 - 15	
	C2 (ac. somero)	8	5 - 105	arenas y gravas, prof.. Del estrato a > de 6 m
	C3	22	1 - 15	arcillas
	C4 (ac. profundo)	Ndeterm	30 -105	gravas y arenas , Prof. del estrato 30 m

Fuente: (Sequeira, L. 1998)

C: Estratos Nd: No determinado e: este o: oeste

2.4.8.2. Perfiles magnéticos

La sección magnética correspondiente al perfil magnético 1 (Figura 1), el estrato magnético más profundo presenta un relieve irregular, con un buzamiento hacia el oeste, alcanzando una profundidad máxima alrededor de 2,800 m desde la superficie del valle. El relieve asciende rápidamente hacia el oeste hasta profundidades de alrededor de 600 m al final del perfil. El espesor del estrato superficial varía entre 100 y 300 m de acuerdo a este modelo, que es consistente con los resultados obtenidos del análisis espectral. Es aquí donde están ubicados los estratos permeables que forman el acuífero.



Fuente: (Sequeira, L.1998)

Figura 1. Trazado de Perfil Magnético 1, valle de Estelí, 1998.

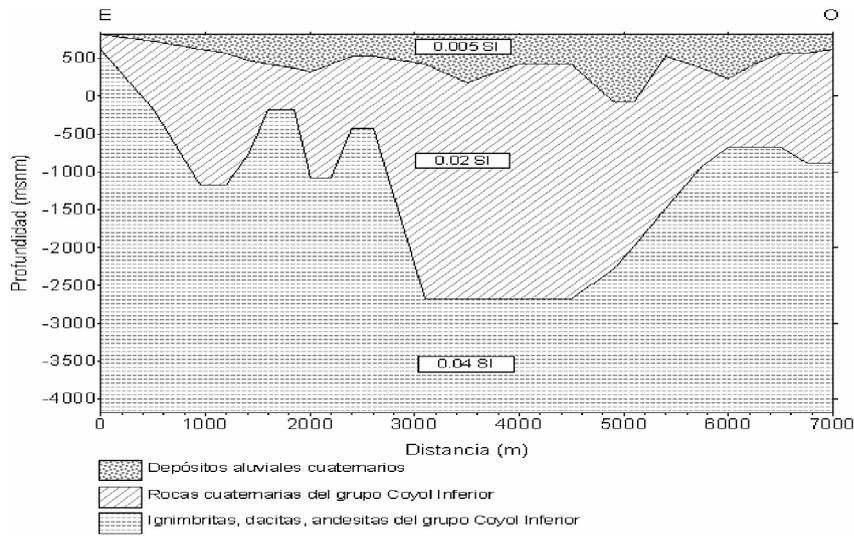
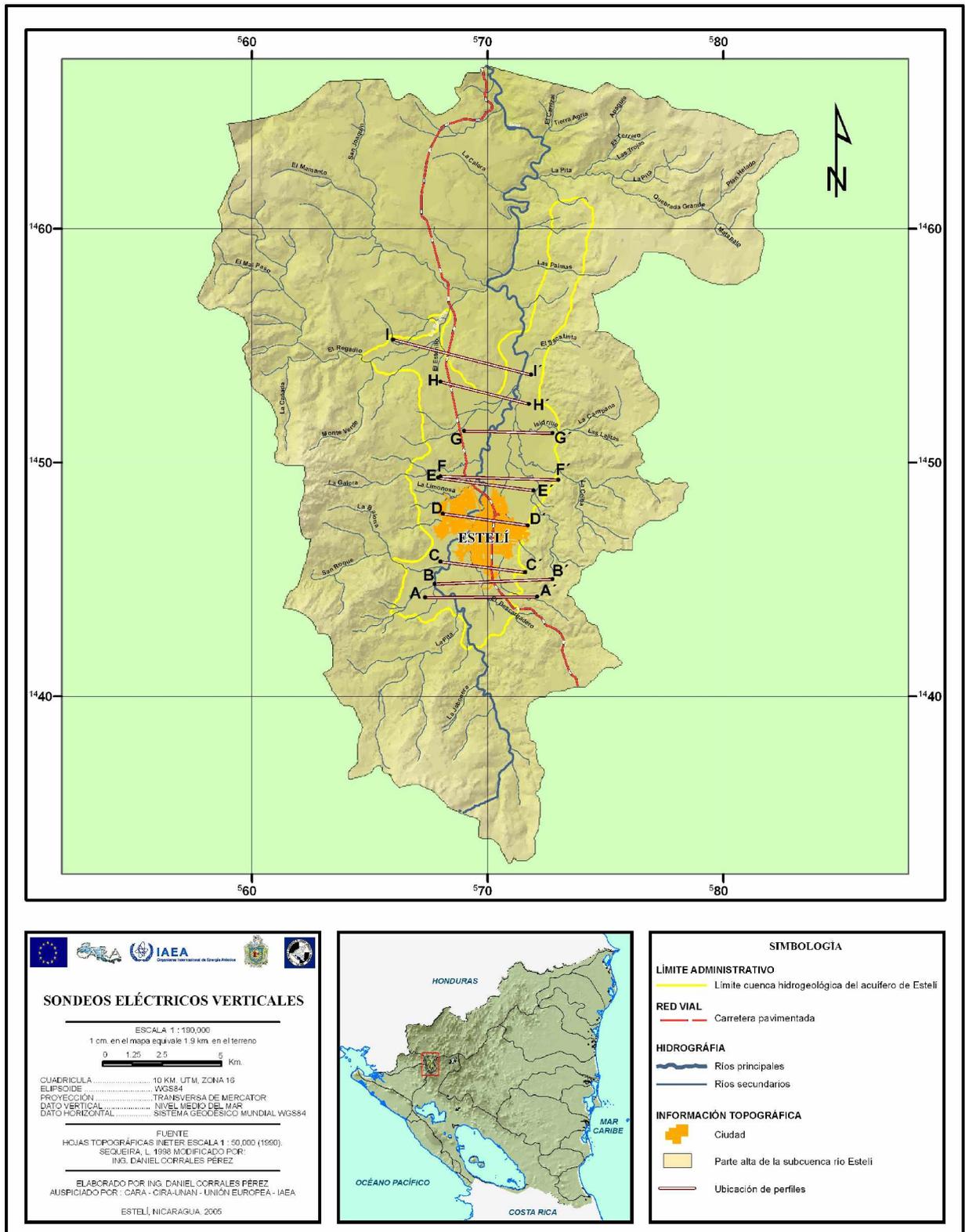


Figura 2. Trazado de Perfil Magnético 2, valle de Estelí, 1998.

Fuente: (Sequeira, L, 1998)

La sección magnética correspondiente al perfil magnético 2 (Figura 2) la unidad más profunda presenta un relieve abrupto hacia el este con profundidades desde la superficie que varían de 200 m hasta aproximadamente 3,700 m. Esta última, en la parte central del perfil entre los 3,000 y 5,000 m de distancia. Alcanza una profundidad de 1,700 m en el extremo oeste del perfil. El espesor de la unidad más superficial varía entre cero metros al este del perfil, hasta 900 m en la parte más profunda. Es en esta unidad en donde están ubicados los estratos permeables que conforman los acuíferos que son los más importantes desde el punto de vista de producción (Sequeira, L, 1998).



Mapa 5. Ubicación SEV, valle de Estelí 1998.

III. METODOLOGIAS

3.1. Recopilación y análisis de información

Se realizó una recopilación y análisis de la información existente con el objetivo de hacer una selección, valoración y evaluación de la base de datos del Proyecto Integrado Estelí Ocotal (PRIESO) que contenía estudios realizados por otras instituciones como: INETER, ALCALDIA, ENACAL, MAGFOR entre otros. Además se utilizaron mapas topográficos de Estelí y La Sirena a escala 1:50000.

Dicha fase sirvió para definir algunas estrategias para trabajos de campo: definir una red de monitoreo de calidad de agua, delimitar sitios de ubicación de pluviómetros, selección de puntos de la red hídrica de la subcuenca para llevar acabos los aforos, elección de comunidades para encuestarse, definición de puntos para realizar pruebas de infiltración, y clasificación de pozos monitores de niveles de agua.

Una vez que se procedió a recopilar y analizar la información existente, se realizó los reconocimientos en: Geología, Geomorfología, Hidrología, Hidrogeología, Edafología y trabajos de campo.

3.2. Balance hidrogeológico

Los parámetros que se evaluaron para realizar el balance hidrogeológico fueron: escorrentía subterránea; descarga artificial; recarga natural – artificial y entradas por límites geológicos. Los demás componentes no se evaluaron, debido a las siguientes consideraciones:

- 1) Las salidas de agua subterránea a los ríos (D_r) son despreciables, debido a los reducidos caudales base de salida subterránea.
- 2) Salida de agua por límite (Q_t) se consideraron nulas, bajo el supuesto que existe delimitación hidráulica en las fronteras enmarcadas en el estudio.

- 3) Debido a que no se conoce la transición entre las capas permeables e impermeables, percolación profunda (Pp) no se evaluó.
- 4) La evapotranspiración del agua en la capa freática (Etp), no se tomo en cuenta; por que en el área de estudio no existe vegetación freática.
- 5) Entradas por límites geológicos (Qtc), se consideraron la trayectoria de las fallas regionales; la ubicación de pozos cercanos a posibles fallas; tiempo de recuperación a través de pruebas de bombeo y Transmisividades.
- 6) Los aportes debido a las condiciones de interferencia entre acuíferos (Qe), tienen una interconexión definida, que suponen áreas acuíferas regionales; considerándose este término como nulo.
- 7) La infiltración de aguas superficiales al acuífero (Ir), no se consideran; debido a la conexión hidráulica que existe entre el río y el acuífero (influyente).

3.2.1. Escorrentía subterránea (Esub).

Este término se ha cuantificado atendiendo el método de la Ley de Darcy según la siguiente formula:

$$\text{Ecuación 1. } E_{\text{sub}} = T \times i \times L \times t$$

Donde:

Esub = Es el volumen de agua subterránea entrante o saliente, según la sección

T = Coeficiente de transmisividad del acuífero

i = gradiente piezométrico a lo largo de la sección evaluada

L = Longitud o ancho de la sección donde el agua subterránea entra o sale del área del balance

t = Período de tiempo seleccionado del balance (365 días)

El flujo subterráneo se calculó trazando dos secciones circulares sobre la cuenca hidrogeológica del valle de Estelí, en donde la sección número uno fue trazada desde 804 (carga piezométrica) hasta los 862 m.s.n.m. con una longitud de la sección de 7600 m. Asimismo la transmisividad utilizada para el cálculo del flujo

fue 400 m²/día obtenido de pruebas de bombeo de años anteriores y actuales que se tienen del sector este de la ciudad. La segunda, se trazó desde 838 hasta 814 m.s.n.m con una longitud de 9500 m, y una transmisividad promedio de 261 m²/día este valor pertenece al sector oeste de la ciudad. El ancho de ambas secciones circulares fue de 2000 m.

3.2.2. Descarga artificial del acuífero (Dac)

La descarga artificial del acuífero del valle de Estelí de acuerdo a los principales usos del agua, se calculó mediante el uso de encuestas.

Para las encuestas se seleccionaron a los líderes de las comunidades periferias más representativas del valle de Estelí. Para obtener información respecto a la situación del uso y consumo del agua; como actividad principal a que se dedica la comunidad. Asimismo, se encuestaron a los jefes de producción de todas las zonas tabacaleras ubicadas en el norte de la ciudad, en base a la extracción del agua subterránea para el riego del cultivo del Tabaco; se hizo énfasis en éstas áreas, debido a que los volúmenes de extracción de agua para el riego son considerables y significativos (Anexo - Formato 2).

También se recopilaron datos del abastecimiento actual de agua potable de la ciudad de Estelí según registros de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL-Estelí).

Un total de 20 encuestas se realizaron en las comunidades de: San Pedro, Villa Vieja, El Jícaro, La Tunosa, La Chácara, Las Quiatillas, La Estanzuela, Paso León, San Ramón y Los Chilamates; en donde se encuentran ubicados las principales zonas agrícolas (Tabaco, Granos básicos y Hortalizas) y pequeños núcleos poblacionales.

Las extracciones de agua en el sector agrícola, para el caso de hortalizas y pastos, se determinó con la norma parcial de riego. En consiguiente, se procedió a

cuantificar las áreas de cultivos según registros actuales de los censos de CENAGRO y MAG-FOR para obtener la norma total de riego.

En el caso del cultivo del Tabaco, la información fue recopilada en las encuestas (tipo de riego, áreas de siembra tiempos de riego, turnos de riego y caudal de bombeo durante las diferentes fases del desarrollo del cultivo)

3.2.3. Recarga del acuífero (Rac)

Para cuantificar la recarga local del acuífero se utilizó, la metodología de Schosinsky G & Losilla, M (2000), basada en el balance hídrico de suelos donde se evalúan los parámetros y coeficiente de infiltración la cual es definida por la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 2. } I = 0.88 CP$$

Donde:

$$C = (Kp + Kv + Kfc) \quad \text{para } Kp + Kv + Kfc < 1$$

$$C = 1 \quad \text{para } Kp + Kv + Kfc > 1$$

$$C = 0 \quad \text{para } P < 5 \text{ mm/mes}$$

$$Kfc = 0.267 \ln(fc) - 0.000154 fc - 0.723$$

C (tanto por uno) = Coeficiente de Infiltración igual o menor a uno

I (mm/mes) = Infiltración mensual

P (mm/mes) = Precipitación mensual

fc (mm/día) = Infiltración básica del suelo medida en el campo

Kp (tanto por uno) = Fracción que infiltra por efecto de pendiente

Kv (tanto por uno) = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal

Kfc (tanto por uno) = Fracción que infiltra por textura del suelo.

Asimismo, evalúa otros parámetros como la precipitación media del sector (P), precipitación que infiltra (Pi), precipitación que escurre (Pe), evapotranspiración (ETP), humedad inicial del suelo (Hsi), agua disponible después de la ETP (AgD),

humedad del suelo final (HSt), déficit de capacidad de campo (DCC), evapotranspiración real (ETR) y las necesidades de riego (NR)

Por lo tanto, se realizó un reconocimiento de campo para seleccionar los puntos donde se harían las pruebas de infiltración, para posteriormente calcular el coeficiente y la velocidad básica de infiltración;

El reconocimiento edafológico se realizó apoyado de fotomapa de unidades de suelo del Catastro e Inventario de Recursos Naturales et, al. (1972). Se escogieron los puntos más representativos de las unidades de suelos existentes en el valle de Estelí.

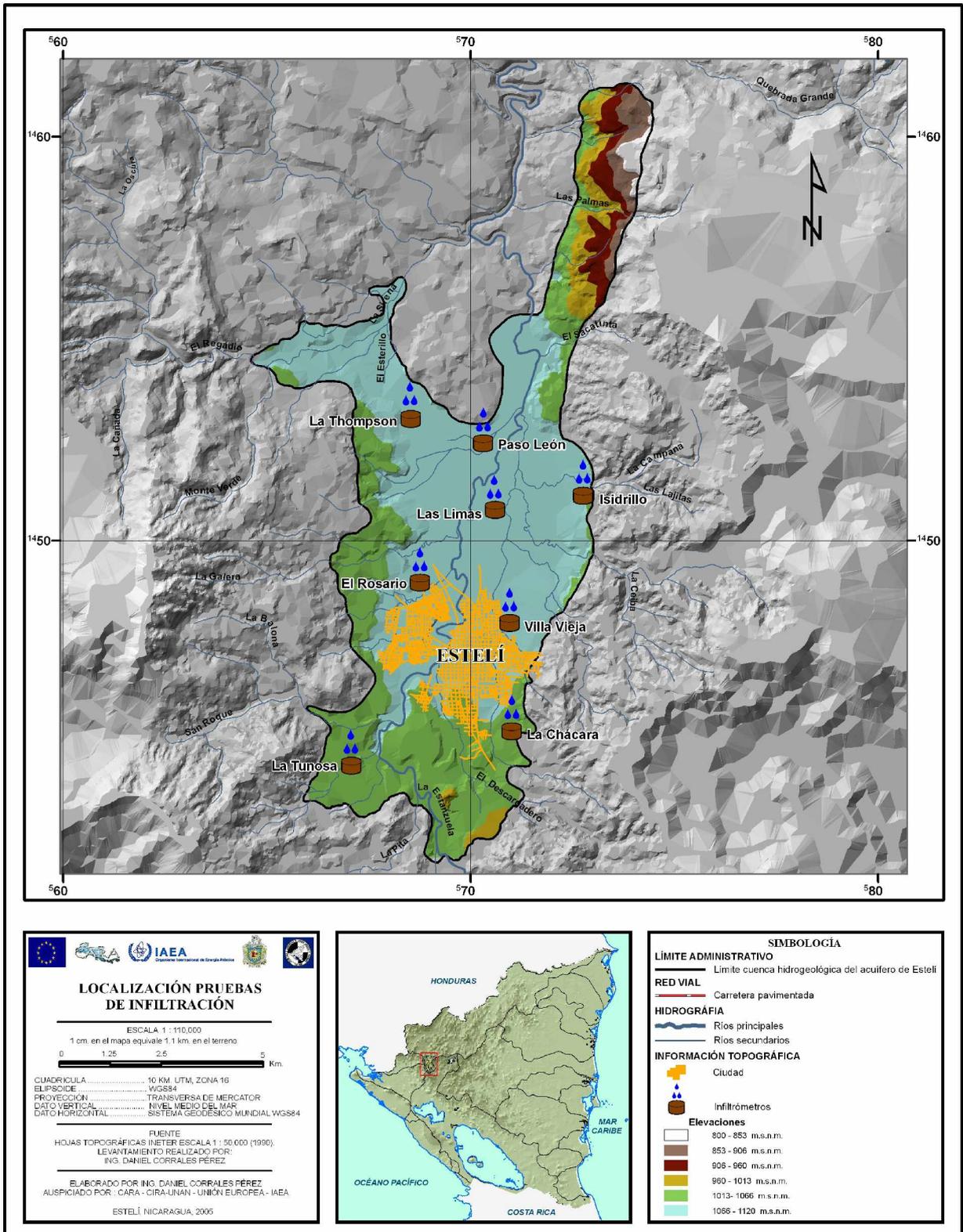
Se efectuaron un total de 8 pruebas de infiltración por el método de doble cilindro ó cilindros concéntricos. Las dimensiones del juego de infiltrómetros son de 46.2 cm de diámetro para el cilindro externo y una altura de 43 cm, mientras que el cilindro interno tiene un diámetro de 30 cm. y una altura de 50 cm.

Estas pruebas se realizaron en las comunidades de: La Tunosa, La Thompson, Las Limas, Paso León (2 pruebas), Isidriño, La Chácara, y El Rosario (Mapa 6).

Posteriormente, se hizo un muestreo de suelo a una profundidad de 30 cm en los sitios donde se realizaron las pruebas de infiltración para analizar capacidad de campo, punto de marchitez permanente, porcentaje de humedad, densidad aparente, densidad relativa, Los análisis de estos parámetros se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria (U.N.A).

Debido a que la metodología de Losilla, M & Sochiskin, G, 1999, no se ajusta a las condiciones regionales (serranías) que circundan el valle de Estelí, se procedió a utilizar el método geológico para estimar la recarga regional utilizando analogías de otros estudios (ONU, 1974; Bethune, D 1991, HIDROTECNIA 1988 y JICA, 1993).

La recarga artificial se estimó basada en las diferentes entradas de agua al acuífero. Se consideraron como posibles ingresos retornos por riego y fugas de red de agua potables. Por tanto, para retornos por riego se consideró el tipo de riego utilizado y el tipo de suelo del área de estudio. En nuestro caso el riego por gravedad es el que mayoritariamente se utiliza en la zona, el tipo de suelo predominante es el arcilloso. De acuerdo a las situaciones anteriores se utilizó un índice de infiltración del 10%. Asimismo, para determinar la recarga por fugas de la red de agua potables de los acueductos de la ciudad de Estelí, se consideraron las pérdidas físicas estimadas (Delaunay, T ,2003) y en base a éstas se utilizó un índice de infiltración del 20%.



Mapa 6. Localización de red de pruebas de infiltración.

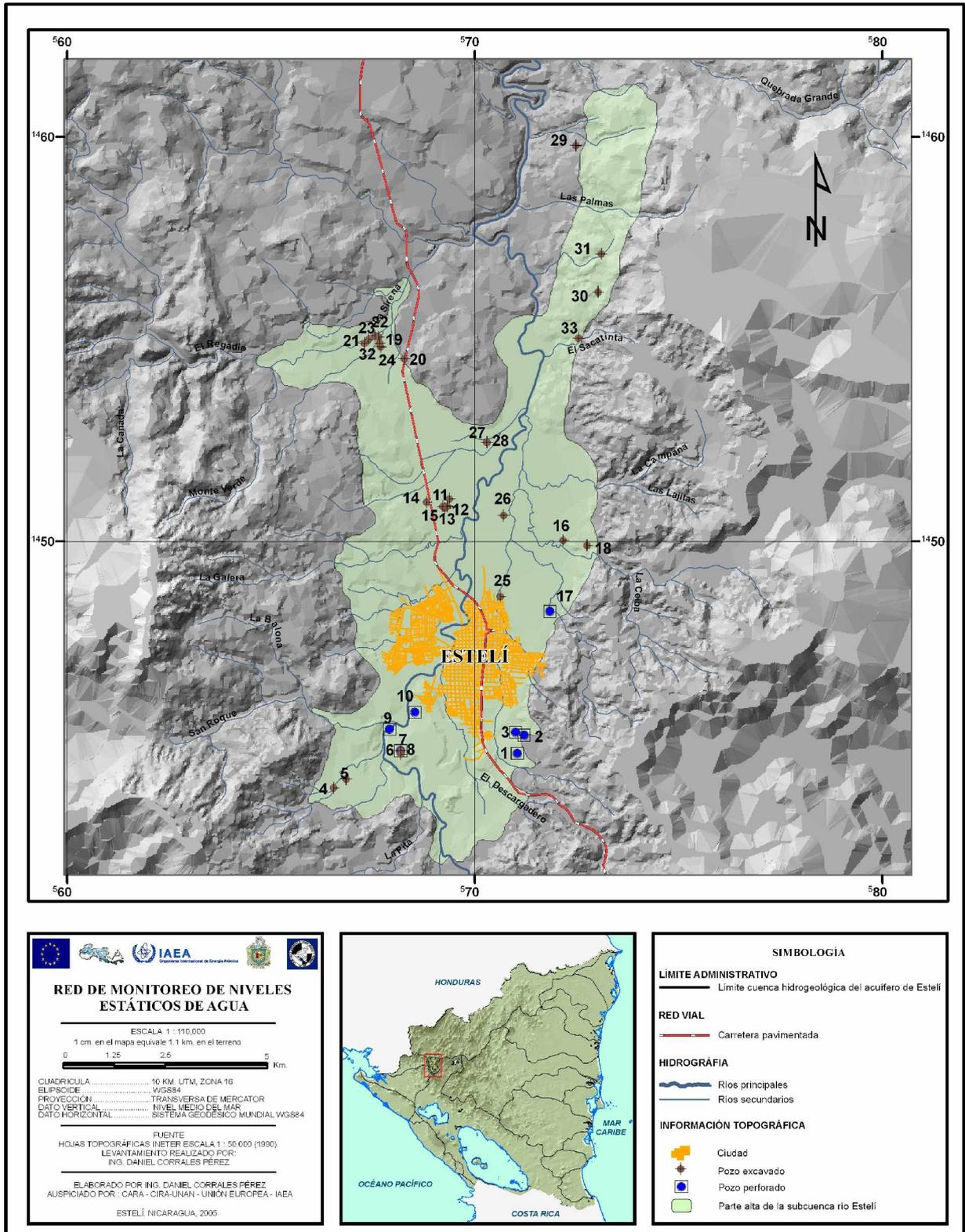
3.3. Red de monitoreo de niveles de agua

Se delimitó una red de monitoreo para mediciones de niveles de aguas mensuales en el período de enero a octubre 2004, con el objetivo de cuantificar la variación estacional y la construcción de la piezometría del acuífero. Se seleccionaron un total de 34 fuentes de agua en verano y 77 fuentes en invierno, entre pozos excavados y perforados, ubicados en las comunidades de La Chácara, la Tunosa, San Pedro, Villa Vieja, Villa Nueva, El Jícaro, Paso León y El Coyolito situados en la parte alta, intermedia y baja del valle de Estelí (Mapa 7).

En verano, se seleccionaron 34 pozos para realizar las mediciones; debido a que la mayoría de los pozos se encuentran funcionando (la extracción artificial de agua para el riego de algunos cultivos).

En cambio, en invierno, el riego agrícola se cancela; aprovechando las precipitaciones para el riego de los cultivos. Aprovechando ésta situación, se incrementó la cantidad de pozos en época lluviosa para tener una mayor representatividad de la piezometría del acuífero. Con la salvedad, que para medir la variación entre la época seca y lluviosa en los niveles de agua, se utilizaron los mismos 34 pozos que se monitorearon en verano

Las fuentes seleccionadas fueron georeferenciadas mediante GPS marca Magellan-315; las elevaciones se obtuvieron usando un medidor de presión absoluta serie 350 (Merian Instrument) y las lecturas para la medición de los niveles de agua se realizaron mediante el uso de una sonda marca Hydrotechnik de 200 m de longitud.



Mapa 7. Localización de red de monitoreo de NEA.

3.4. Red de aforos

Dadas las características hidráulicas del río Estelí y sus afluentes principales se seleccionaron los ríos de mayor aporte (caudal). Para realizar las campañas de aforo en verano e invierno; a través del método de vadeo (Mapa 8).

Inicialmente se había planificado realizar los aforos por diferenciación aguas arribas-abajo. Finalmente se aforo solamente en una sección del cauce, debido al comportamiento de las aguas superficiales en cuanto a los caudales de estiaje en ambas épocas y a la variabilidad (ancho y sinuosidad) que presentaban las secciones a lo largo del recorrido del flujo.

Los ríos que fueron aforados son: Estanzuela, Las Pintadas y Estelí. La metodología de los aforos en las campañas, consistió en medir el caudal en una sección de los cauces por el margen izquierdo y derecho, posteriormente se obtuvo la media. El aforo de estas fuentes se hizo utilizando un molinete marca Gourley, tipo pigmeo, serie 6^a0690, hélice N^o 625. (Mapa 8).

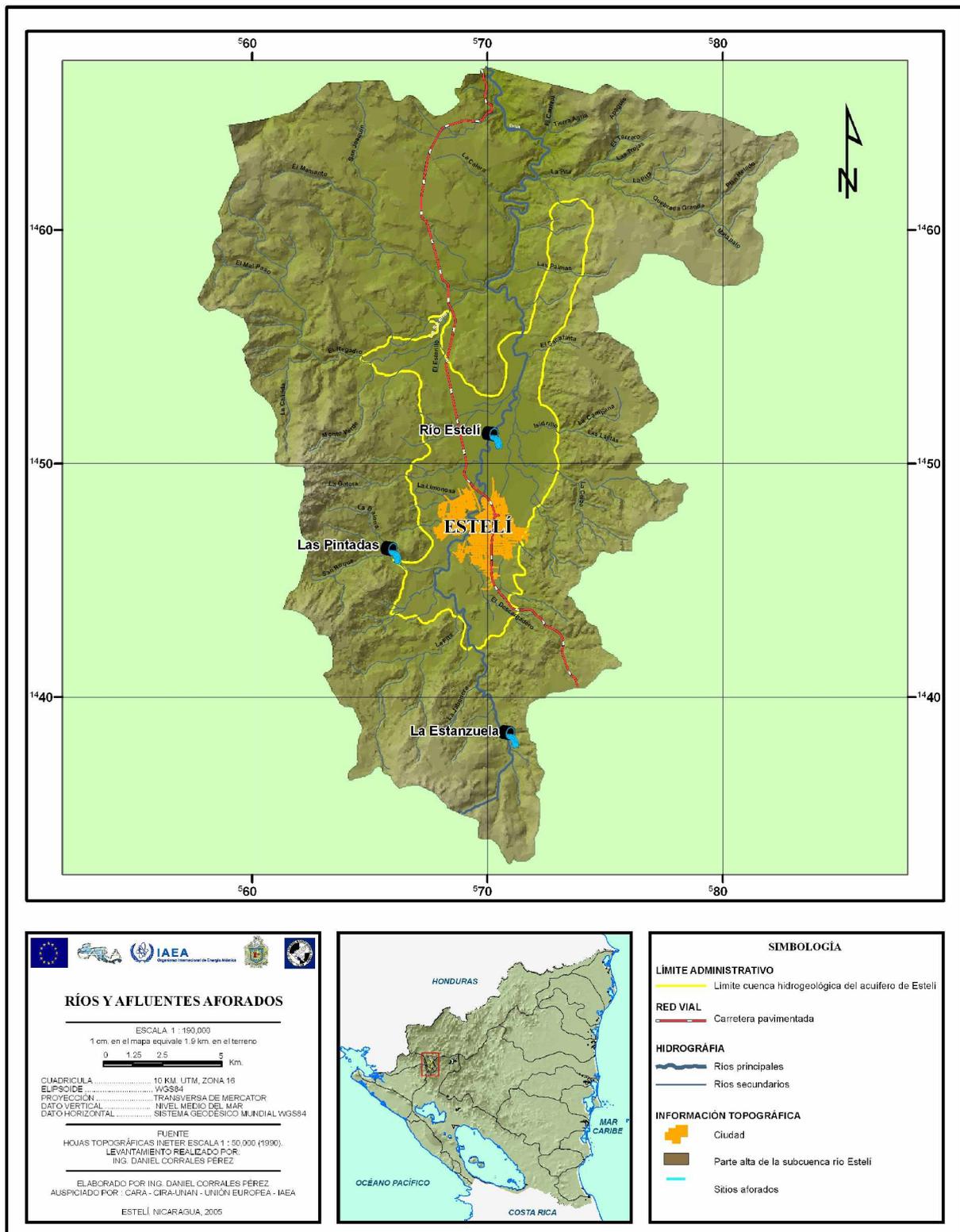
3.5. Caracterización físico química de las aguas subterráneas y superficiales

Del inventario de pozos del valle de Estelí realizado por el Proyecto Integrado Estelí–Ocotal; se identificaron un total de 400 pozos (PRIESO, 2003). En base al inventario, se eligieron las fuentes subterráneas y superficiales de acuerdo a criterios como: la distribución espacial homogénea de las fuentes, profundidad y edad de funcionamiento de los pozos, ubicación de las fuentes de agua con relación a las líneas de flujo subterráneo de manera que los resultados de los análisis físico-químicos fueran lo más representativo posible (Mapa 9). La red de monitoreo se delimitó con la finalidad de evaluar la calidad del agua para uso potable y agrícola. Asimismo, el impacto agrícola, urbano y rural generado por la actividad antrópica.

Para evaluar la calidad de agua para uso potable se compararon los resultados de los análisis físicos químicos con las normas (CAPRE, 1994, WHO, 1996, EPA,

2000). Para evaluar la calidad del agua para uso agrícola se utilizó la norma americana de riverside (2002), que utiliza para su clasificación del agua de riego la Relación de Absorción de Sodio y la conductividad eléctrica,

En el caso de evaluación de impacto agrícola, rural y urbano, se seleccionaron pozos perforados y excavados antes y después de la ciudad siguiendo las líneas de flujo. En adición se muestrearon manantiales, como puntos de control de la calidad del agua al momento de la evaluación.



Mapa 8. Ríos y afluentes aforados en verano e invierno.

Posteriormente se llevaron a cabo dos campañas de muestreo que se realizaron a finales del verano (marzo-abril) e invierno (septiembre). La colecta y preservación de las muestras, se realizó siguiendo los protocolos de muestreo del Centro de Investigaciones de Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN, 2004). La colecta de las muestras de agua se obtuvo después de realizada la purga de 3 columnas de agua de acuerdo al diseño hidráulico de los pozos. Las muestras se preservaron en hielo, hasta su recepción en el laboratorio

Las muestras se colectaron en las horas más frescas del día en recipientes plásticos. Los parámetros de campo (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, alcalinidad, temperatura y potencial oxidoreducción) fueron medidos posterior a la colecta de las muestras.

Se realizaron análisis de geoquímica básica entre los que se destacan: Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} , HCO_3^{-} , CO_3^{2-} , Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , SiO_2 , B^{+3} y NH_4^{+} , los métodos de análisis de laboratorios de estos elementos están basados en APHA, 1999 y Rodier, J 1981.

Cuadro 2. Colecta de muestras de agua para análisis físico-químico.

FUENTES MONITOREADAS	COLECTA DE MUESTRAS		TOTAL
	verano	invierno	
Precipitación	0	1	1
Pozos Perforados	19	18	37
Pozos Excavados	5	6	11
Manantiales	4	5	9
Ríos	5	5	10
Total	33	35	68

En la primera campaña de muestreo se colectaron un total de 33 muestras de agua, y en la segunda 35 muestras para un total de 68 muestras de las diferentes fuentes monitoreadas (Cuadro 2).

3.6. Caracterización isotópica de las aguas subterráneas y superficiales

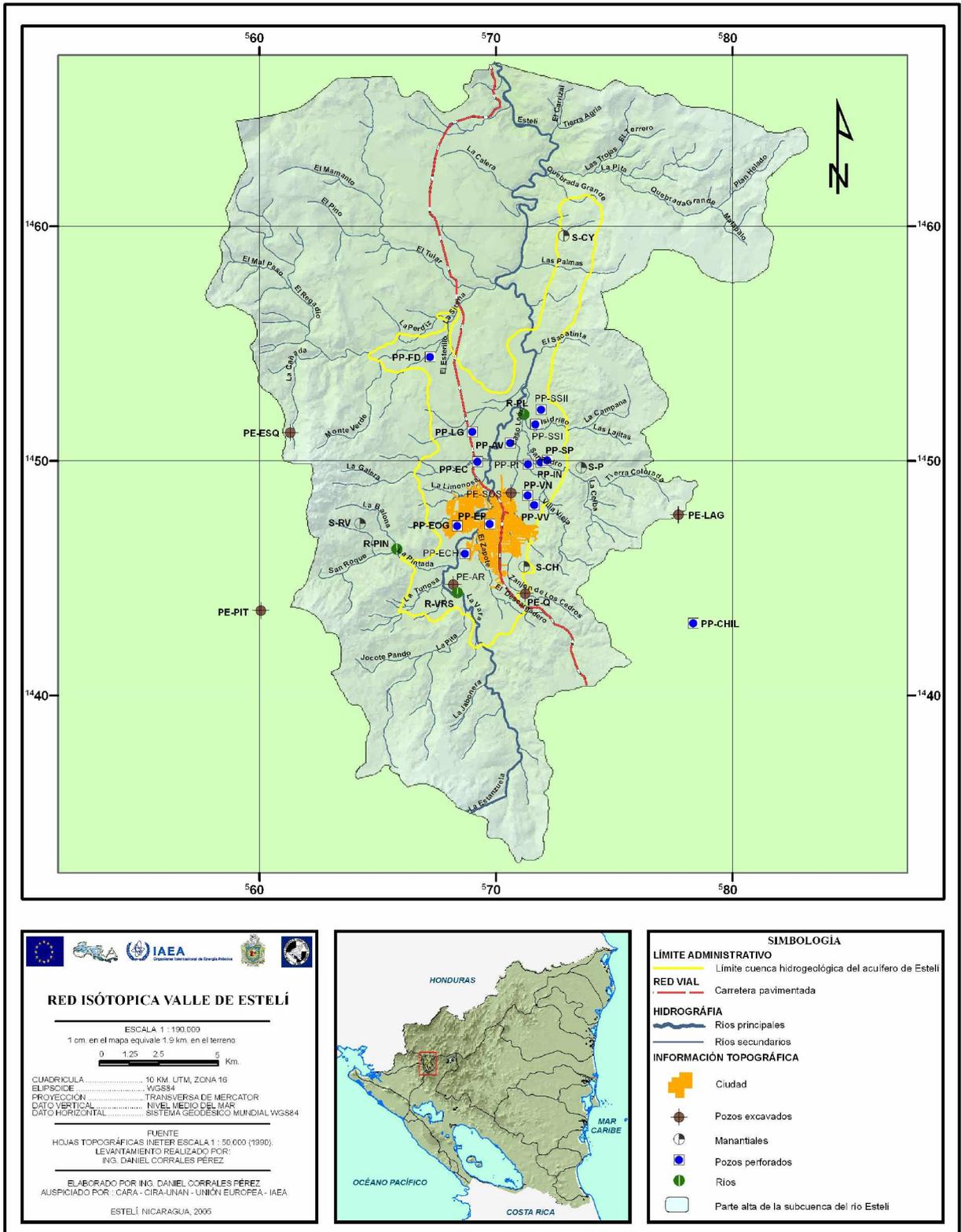
3.6.1. Oxígeno- 18 (^{18}O) y Deuterio (^2H)

Se delimitó una red para el monitoreo de la composición isotópica de ^{18}O y ^2H en pozos perforados, excavados, manantiales, ríos y agua de precipitación (Mapa 10) con el objetivo de definir el modelo conceptual del flujo subterráneo mediante la correlación de la composición isotópica de las diferentes fuentes monitoreadas y zonas de recarga.

Las campañas de muestreo se realizaron a finales del verano (marzo-abril) e invierno (septiembre), las muestras se colectaron en las horas más frescas del día en recipientes herméticos de polietileno de alta densidad (HDPE) de 50 mL; los parámetros de campo conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, temperatura y potencial oxido-reducción fueron medidos simultáneamente.

Para la colecta de las muestras de lluvia, se instalaron 3 pluviómetros marca Tenite con capacidad de 25.4 mm, en el área de estudio. El primer pluviómetro se encuentra ubicado en la Comunidad de Llano Redondo en la parte alta de la subcuenca del río Estelí, (574671E/1441478N); 1232 m.s.n.m. Un segundo, en la parte media del valle, Comunidad La Thompson, (569540E/1450880N); 811 m.s.n.m. y un último en la Comunidad de San Roque (563174E/ 1445140N); 991 m.s.n.m. Los pluviómetros se codificaron como: PV-1 para Llano Redondo, PV-2 para La Thompson, y PV-3 para San Roque (Mapa 11). Los pluviómetros se ubicaron a diferentes elevaciones para evaluar, el comportamiento pluviométrico y observar la variación en la composición isotópica de las aguas meteóricas colectadas durante el año 2004.

Estudio hidrogeológico del funcionamiento del acuífero de Estelí



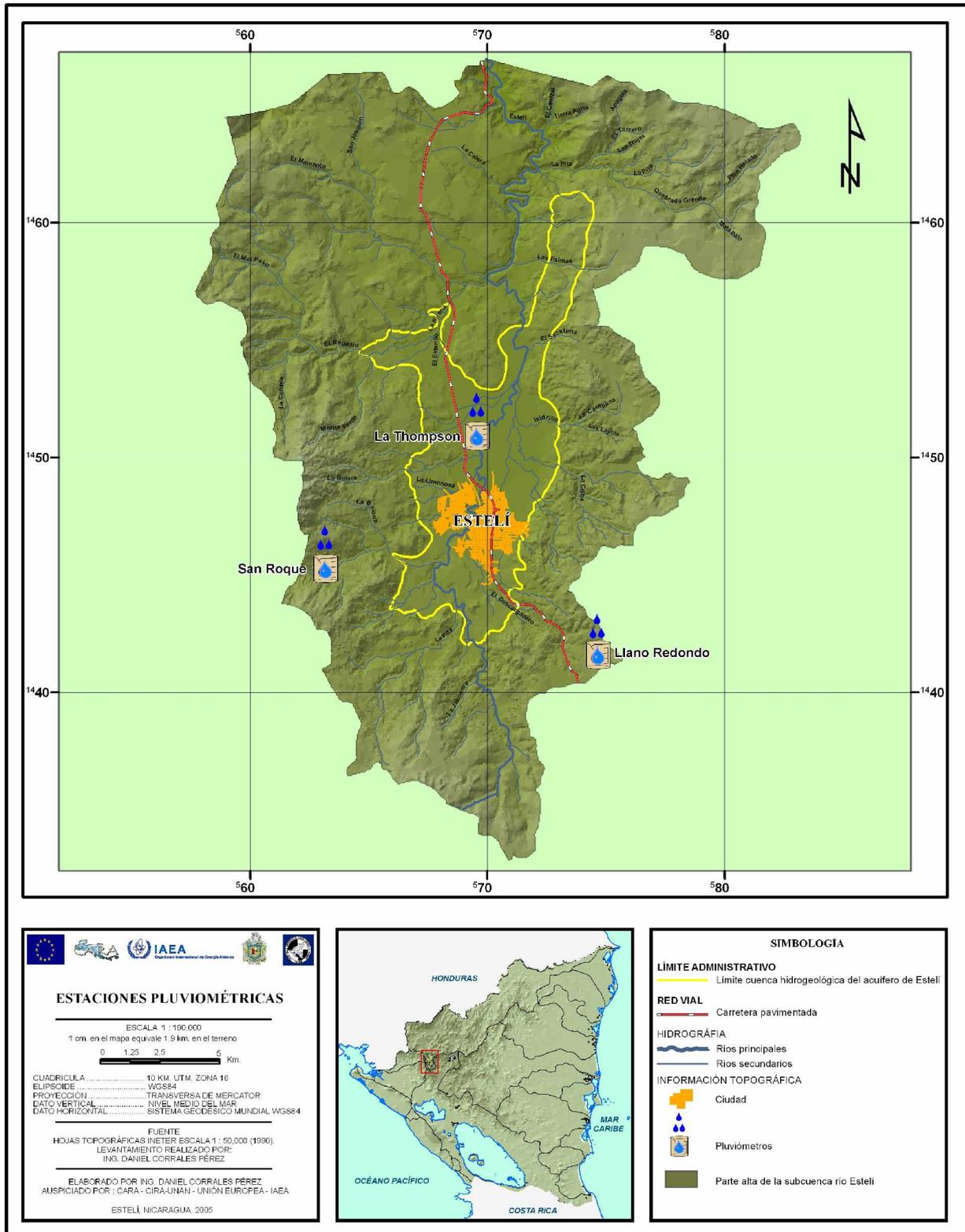
Mapa 10. Red isotópica del área de estudio

De cada pluviómetro se colectó una muestra compuesta mensual de precipitación pluvial de acuerdo al protocolo de muestreo de GNIP, (1996). La composición isotópica de ^{18}O y ^2H se analizó en el laboratorio Geoquímico (La GEO) de San Salvador. Los análisis se realizaron en un espectrómetro de masa, utilizando una muestra gaseosa para los isótopos mencionados anteriormente. Los datos del laboratorio son reportados con una desviación máxima de 0.1 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y 1.2 ‰ para $\delta^2\text{H}$

Cuadro 3. Colecta de muestras de agua para análisis isotópicos de ^{18}O y ^2H .

FUENTES MONITOREADAS	COLECTA DE MUESTRAS		TOTAL
	verano	invierno	
Precipitación	0	19	19
Pozos Perforados	15	12	27
Pozos Excavados	6	6	12
Manantiales	4	4	8
Ríos	3	3	6
Total	28	44	72

De los 3 pluviómetros se colectó un total de 19 muestras de agua de lluvia proveniente de los meses de mayo a octubre; y una muestra adicional de abril. De las otras fuentes restantes se colectaron 53 muestras para un total de 72 (Cuadro 3). Una vez colectadas las muestras, éstas se mantuvieron refrigeradas hasta su posterior envío al laboratorio analítico en El Salvador.



Mapa 11. Localización de pluviómetros.

3.6.2. Tritio (³H)

Se utilizó tritio para conocer el tiempo de residencia del agua en el acuífero. Nueve fuentes se monitorearon en verano entre las que se destacan 5 pozos perforados, 2 manantiales y 2 ríos (Mapa 10). Las muestras se colectaron en las horas más frescas del día en recipientes herméticos de polietileno de alta densidad (HDPE) de 500 mL. Simultáneamente se midieron los parámetros de campo (conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, temperatura y potencial oxido-reducción). Las muestras se mantuvieron refrigeradas hasta su posterior envío al laboratorio analítico del Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) en Brasil.

El método de análisis utilizado en el laboratorio fue a través de enriquecimiento electrolítico y espectrometría por centelleo líquido. Los datos del laboratorio son reportados con un error de ± 0.2 . UT.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Caracterización hidrogeológica

4.1.1. Pluviometría

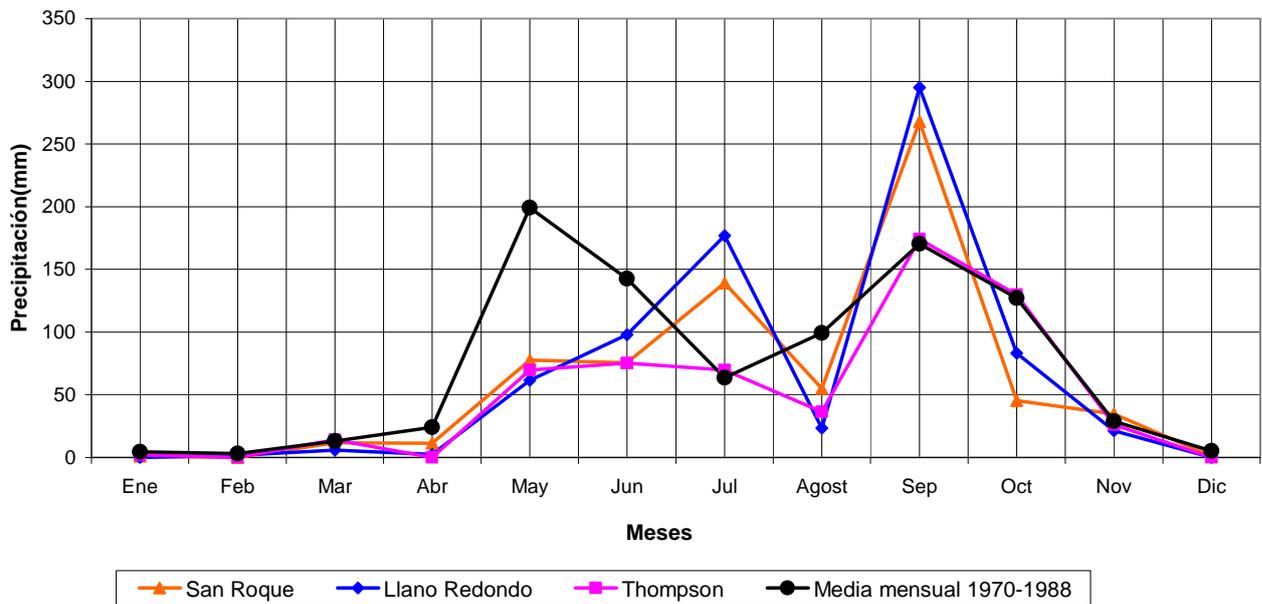
Las aguas meteóricas son la principal fuente de recarga de los acuíferos, aunque depende de la intensidad y magnitud de la lluvia. Otro factor muy importante a tener es el proceso de la recarga natural a través del medio hidrogeológico donde se infiltra o transporta el agua de lluvia en el ciclo hidrológico.

Actualmente según proyecciones futuras sobre los cambios climáticos y sobre los fenómenos acentuados del Niño, ponen en alerta sobre que pasara con la recarga de los acuíferos, será posiblemente reducida en el futuro, por un mal manejo de los recursos hídricos. Asimismo, al conocer la extracción y la recarga de los acuíferos, se podría planificar y manejar el recurso hídrico, para evitar la sobreexplotación del mismo.

Cuadro 4 .Registros pluviométricos en los 3 sitios monitoreados en el valle de Estelí,2004

Comunidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Llano Redondo	0	2	6	2	61	98	177	23	295	83	21	0	769
San Roque	1	0	12	11	78	76	139	55	268	45	35	1	721
Thompson	2	0	14	0	70	75	70	36	174	130	26	0	597
Media	1	1	11	5	70	83	129	38	246	86	0	0	696
Maxima	2	2	14	11	78	98	177	55	295	130	35	1	769
Minima	0	0	6	0	61	75	70	23	174	45	21	0	597

Los datos de lluvia colectados de los pluviómetros ubicados en las comunidades de Llano Redondo, La Thompson y San Roque, se observan en la gráfica 5, muestran que es más lluvioso en julio y septiembre con valores medios mensuales de 129 y 246 mm, respectivamente.



Gráfica 5. Comportamiento pluviométrico en el valle de Estelí 2004.

Los registros pluviométricos, indican que las precipitaciones colectadas en las diferentes estaciones están en un rango de 597 a 769 mm anuales, con una media de 696 mm (Cuadro 4).

Asimismo, reflejan que existe un periodo acentuado de bajas en las lluvias en el periodo de julio y agosto; debido al fenómeno de la *Canícula*, este fenómeno es muy acentuado o severo en la parte central del valle, o sea, que las precipitaciones son escasas y ocasionales prolongándose este comportamiento hasta 40 días.

Otro aspecto importante es la acentuada canícula actual, con relación a la mostrada en el periodo de acuerdo a la serie de 19 años (1971 – 1988), probablemente esto se atribuya a los cambios climáticos actuales.

El comportamiento general de las lluvias registradas en las estaciones pluviométricas desde el punto de vista cuantitativo es similar en magnitud. Cabe

destacar el comportamiento contrario que tienen las lluvias en relación a las medias mensuales del período de 1971 a 1988, más acentuado de mayo a julio. Mientras que las medias anuales anteriores tienen un decaimiento de precipitación desde mayo hasta julio. Los registros actuales muestran un aumento en éste período.

Considerando que en la subcuenca existen altas tasas de evaporación (Gráfica 3) como de escorrentía de acuerdo al uso de suelo. Además, que el régimen pluviométrico de la zona es irregular, con baja magnitud y frecuencia. Posiblemente, si se mantiene este comportamiento en el futuro; el acuífero podría presentar problemas de recarga debido a que la mayor parte del agua precipitada no se infiltra hacia la zona no saturada

4.1.2. Monitoreo de niveles estáticos del agua (NEA)

Con el objetivo de evaluar las variaciones estacionales de los niveles de agua existentes en el acuífero. Se hizo un monitoreo de las fluctuaciones de los niveles de agua en la red de pozos desde enero hasta octubre del año 2004. (Mapa 7)

A nivel del acuífero, los registros de monitoreo de niveles de agua en el período de enero a octubre, muestran que la profundidad del agua, se encuentra desde los 5 m en el sector norte del valle (Sector de Paso León, La Thompson, Los Chilamates) hasta los 20 en el sector sur del valle (Sector La Chácara, La Tunosa, Las Quiatillas). Aunque, es surgente en algunos sectores norte del valle y también existen lugares (San Pedro-Villa Vieja), donde el nivel de agua se encuentra hasta los 29 m y es por la influencia de conos de abatimientos.

El nivel de agua es variable desde la surgencia hasta los 27.27 m, aunque se supone que existe niveles hasta los 36.36 m, y que se debe a la influencia de pozos en explotación, (INAA, 1981).

Los registros de las variaciones de NEA en el verano, indican que los descensos promedios del nivel de agua del acuífero están en el rango de 0.10 m a 2.40 m

(Cuadro 5). Los mayores descensos se registran en pozos ubicados en las periferias de las áreas de cultivo de tabaco (San Pedro, Villa Vieja, Villa Nueva). Por tanto, las afectaciones en los descensos del nivel de agua, son debido a la influencia de los conos de abatimiento, producto de la explotación intensiva del agua subterránea en esa zona en época seca.

Como consecuencia de las grandes extracciones de volúmenes de agua y abatimientos en esa zona, la producción de los pozos excavados que se encuentran en un radio de 1.5 Km de las fuentes de explotación intensiva en las zonas tabacaleras, se ve afectada hasta el punto de volverse improductivos.

Registros históricos de ENACAL, (1975-2003), reflejan que el NEA promedio del 50% de pozos localizados en la zona urbana de la ciudad de Estelí, ha profundizado 15 m en los últimos 25 años, resultado del abastecimiento de la demanda creciente de agua potable en la ciudad de Estelí y la falta de recarga del acuífero (Cuadro 6).

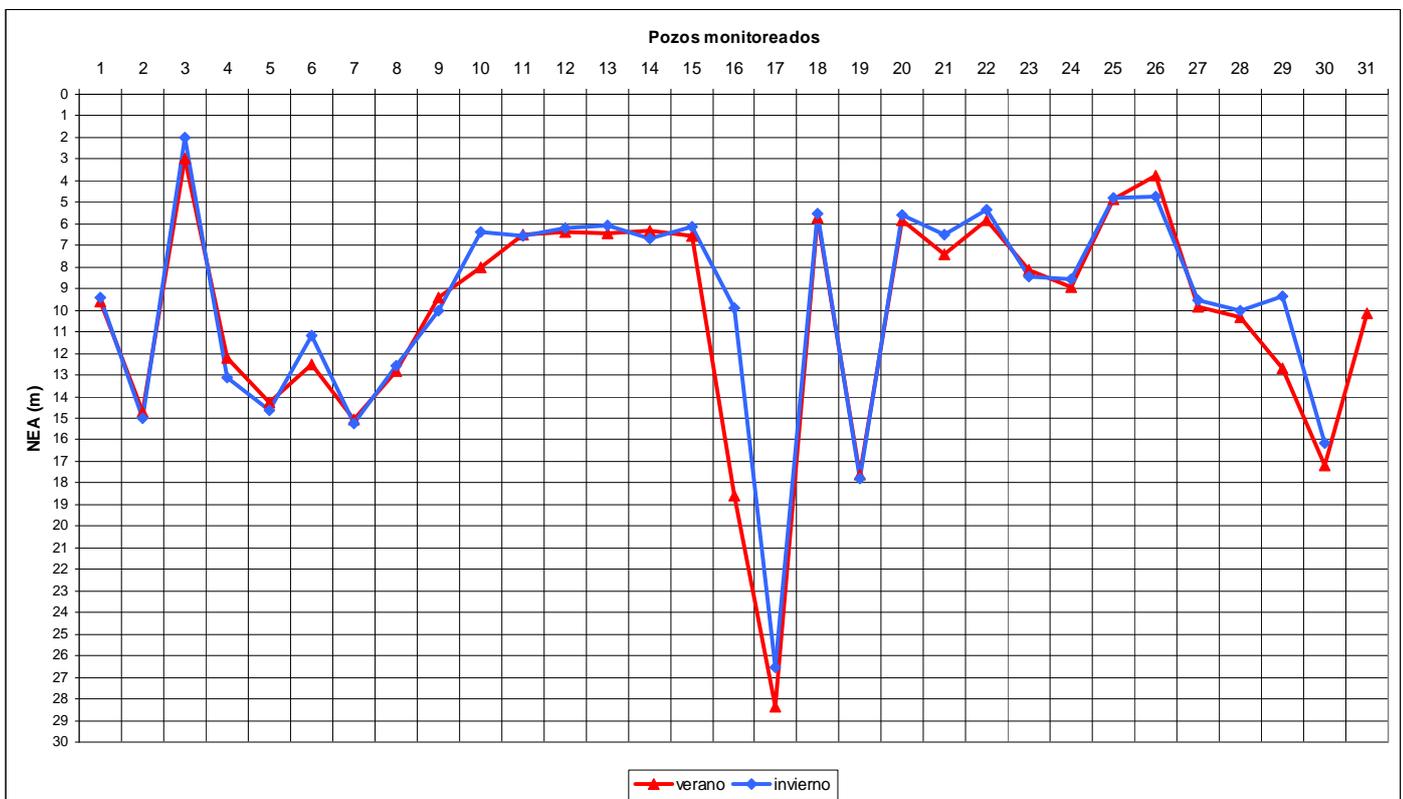
Cuadro 5. Registros de variaciones de NEA en pozos monitores, 2004.

Lugar	Variaciones de los NEA (m)							Dinámica del NEA (m)	
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Agost	Oct	Máximos	
								Descensos	Ascensos
Chácara	-0,030	-0,100	-0,070	-0,010	-0,070	-0,020	0,270	-0,100	0,270
Chácara	0,300	0,200	-0,300	-0,180	-0,070	-0,250	0,180	-0,300	0,300
Tunosa	-0,130	-0,030	-0,500	-0,280	-0,020	-0,050	1,350	-0,500	1,350
Tunosa	-0,330	-0,400	-0,600	-0,420	-0,360	-0,090	-0,070	-0,600	-0,070
Tunosa	-0,280	-0,340	0,440	-0,280	-0,140	-0,080	0,170	-0,340	0,440
Tunosa	-0,410	-0,560	-0,960	-0,140	0,960	-0,140	0,640	-0,960	0,960
Tunosa	-0,300	-0,100	-0,170	-0,180	0,050	-0,050	0,010	-0,300	0,050
Tunosa	0,120	0,380	0,670	0,110	0,110	-0,150	0,180	-0,150	0,670
Tunosa	-0,080	-0,100	-0,100	-0,650	-0,050	-0,110	0,210	-0,650	0,210
Thompson	-0,250	-0,350	-0,200	-0,070	0,040	-0,040	1,720	-0,350	1,720
Thompson	-0,350	-0,270	-0,150	-0,030	-0,020	-0,110	0,140	-0,350	0,140
Thompson	-0,550	0,170	0,300	-0,490	0,540	-0,540	0,710	-0,550	0,710
Thompson	-0,240	-0,300	-0,050	-0,070	0,130	0,000	0,340	-0,300	0,340
Thompson	-0,400	-0,300	0,500	0,200	-0,570	-0,210	0,190	-0,570	0,500
Thompson	0,100	-1,150	0,660	0,020	-0,100	0,120	0,350	-1,150	0,660
San Pedro	-0,450	-0,450	-0,150	0,800	0,250	0,700	6,980	-0,450	6,980
San Pedro	-2,400	-1,200	-0,680	0,730	0,550	0,150	0,400	-2,400	0,730
Jícaro	-0,200	-0,300	-0,400	-0,240	-0,080	0,040	0,480	-0,400	0,480
Jícaro	-0,150	-0,350	-0,140	0,000	-0,120	-0,040	0,030	-0,350	0,030
Jícaro	-0,650	-0,500	-0,100	-0,040	0,010	-0,100	0,360	-0,650	0,360
Jícaro	-0,100	-0,200	-0,800	0,860	-0,220	-0,110	0,380	-0,800	0,860
Jícaro	-0,430	-1,290	-0,280	-0,120	0,050	-0,060	0,600	-1,290	0,600
Paso León	-0,480	-0,420	-0,550	-0,750	0,040	-0,060	0,500	-0,750	0,500
Paso León	-0,100	-0,100	-0,300	-0,110	-0,040	0,200	0,270	-0,300	0,270
Paso León	-0,270	-0,130	0,010	-0,060	-0,020	-0,150	0,250	-0,270	0,250
Paso León	-0,600	0,700	0,140	-0,550	-0,090	-0,100	-0,220	-0,600	0,700
Coyolito	-0,400	-0,400	-0,530	0,460	-0,200	-0,220	0,260	-0,530	0,460
Coyolito	-0,300	-0,400	-0,630	-0,430	-0,520	-0,520	1,800	-0,630	1,800
Coyolito	-0,500	-0,450	-0,930	0,630	-0,780	0,030	3,470	-0,930	3,470
Coyolito	-0,400	-0,500	0,100	0,190	-0,090	-0,050	1,000	-0,500	1,000
Coyolito	-0,500	-0,600	-0,550	-0,090	0,160	-0,320	2,770	-0,600	2,770
Máxima	-2,400	-1,290	-0,960	-0,750	-0,780	-0,540	-0,220	-2,400	-0,070
Media	-0,347	-0,317	-0,204	-0,038	-0,022	-0,075	0,830	-0,601	0,952
Mínima	0,300	0,700	0,670	0,860	0,960	0,700	6,980	-0,100	6,980

Respecto a los ascensos en los niveles de agua del acuífero hay un rango de 0.03 m a 6.98 m. La detección de los máximos ascensos se debe a que las fuentes son alimentadas por flujos preferenciales de agua característico en esas zonas. (Cuadro 5)

Los ascensos promedio de niveles de agua calculados para el acuífero son de 0.95 m. Asimismo, los descensos promedio son de 0.6 m. Sin embargo, utilizando la estadística descriptiva se eliminaron valores anómalos encontrados en los registros, valorando el grado de incertidumbre que podrían tener estos.

Conforme el planteamiento antes mencionados, se ha estimado una variación estacional en los niveles de agua de 0.44 m, con referencia de los registros del final del verano (abril) y final de invierno (octubre).



Gráfica 6. Variación estacional de NEA, Estelí, 2004

Un análisis de los registros pluviométricos colectados en las estaciones de Llano Redondo, San Roque y La Thompson, indican que en el valle de Estelí las precipitaciones son muy bajas, inconstantes e irregulares. Por tanto, es posible que la mayor cantidad de lluvia se escurra y/o se evapotranspire. Las únicas precipitaciones que pueden influir en la recarga del acuífero son las lluvias

registradas en el mes de septiembre. Aunque el incremento estacional registrado en los NEA, concuerda con los registros pluviométricos del área de estudio.

Sin embargo, los resultados de las mediciones de los NEA indican, que existe la tendencia de que el rebajamiento en el nivel del agua en que incurre el acuífero como resultado de la descarga artificial constante del agua para fines domésticos y la producida por el riego agrícola en la época seca, vuelva a su estado inicial una vez finalizada la época lluviosa (Gráfica 6). Por lo tanto, el mayor aporte ejercido en éste comportamiento, es posiblemente a que existen acuíferos subyacentes que están recargando a los acuíferos someros y no de recarga local.

Cuadro 6. Registros históricos y actuales de NEA de pozos ENACAL-Estelí

Código	Lugar	Prof. (m)	Fecha	NEAcons. (m)	Fecha	NEA act. (m)
2	La Cueva	200,00	nd	51,25	22-7-03	35,88
4	Fe y Alegría	nd	nd	60,00	28-7-03	41,19
6	El Parque	220,00	30-11-75	16,56	8-7-03	17,83
7	Villa Vieja	240,00	9-8-80	6,25	9-7-03	11,35
8	El Rosario	350,00	nd	5,63	23-7-03	23,95
9	Oscar Gamez	225,00	nd	28,13	11-7-03	27,51
10	El Limón	245,00	1-9-91	35,63	17-7-03	20,83
12	La Chácara	300,00	10-2-93	8,13	7-8-03	46,93
14	El Jazmín	300,00	28-6-93	4,69	25-9-03	4,53
16	La Cabaña	350,00	1-1-90	18,75	30-9-03	4,63
18	La Montañita	348,00	22-8-94	11,88	30-7-03	25,58
19	Las Porras	280,00	2-9-94	29,94	4-8-03	28,92
20	La Chiriza	350,00	10-8-94	30,63	14-7-03	46,58

nd: no definido NEA cons : NEA construcción NEA act: NEA actual

4.1.3. Piezometria

De la red de monitoreo de NEA se obtuvo el mapa de equipotenciales de verano e invierno, con éste se determinó el comportamiento de las líneas de flujo de agua subterránea en el acuífero, (Mapa 11-12).

La dirección del flujo subterráneo en ambas épocas climáticas tiene una dirección de sur a norte y de los extremos hacia el centro del valle. Asimismo, los mayores gradientes piezométricos se encuentran en las fronteras del acuífero, disminuyendo éste en el centro del valle de acuerdo al desnivel del terreno. Por tanto, las velocidades del flujo subterráneo son de 0.6 y 0.2 m/día, respectivamente en la época de verano para los sectores antes mencionados, en cambio en invierno son 1 y 0.2 m/día, resultando mayores velocidades en las fronteras del acuífero en época de invierno.

En la zona sur del valle de Estelí, la dirección del flujo está fuertemente acentuada hacia el noreste como resultado de la extracción de los pozos de ENACAL en este sector; posteriormente existe un cambio en éste hacia el norte del valle, observándose una tendencia de concentración hacia el área en que el río sale del valle.

En otro particular, el mapa de equipotenciales indica; que posiblemente el acuífero alimente el río en el sector sur y norte (salida del río del valle) de la ciudad de Estelí.

4.1.4. Balance hidrogeológico

Los balances hidrogeológicos son una herramienta importante para conocer el estado actual de explotación en que se encuentran los acuíferos. En base a los resultados positivos o negativos obtenidos, se puede determinar si los acuíferos están siendo sobre explotados o explotados racionalmente.

La tasa total estimada de escorrentía subterránea en el acuífero es del orden de los 2.68 MMCA. Además los flujos son mayores en la sección 1 (2.21 MMCA) al compararlo con la segunda sección (0.47 MMCA); como resultado de él menor gradiente hidráulico y valores bajos de transmisividad en relación a la primera sección, por tanto, los volúmenes de agua son mayores. (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cálculos de la Escorrentía Subterránea a través de Ley de Darcy.

Sección	i	T (m ² /día)	t (días)	L (m)	Esub(MMCA)
1	0,00756	400	365	2000	2,21
2	0,00249	260,91	365	2000	0,47
Total					2,68

La escorrentía subterránea estimada descarga en río Estelí, lo que se corrobora con el flujo constante del río en ciertos sectores del cauce principal.

Asimismo, si utilizamos como trazador las concentraciones de hierro total detectadas en el manantial La Chácara y el pozo excavado Las Quiatillas con relación a las encontradas en el río Porvenir se confirma dicho comportamiento. Por tanto, esté carácter de funcionamiento entre el agua subterránea y el río posiblemente sea una vía de depuración de los contaminantes del acuífero.

4.1.5. Régimen de flujo de red hídrica del río Estelí

Los ríos están alimentados principalmente por la precipitación y la escorrentía superficial directa. Las pérdidas del río se producen por infiltración, recarga a los acuíferos adyacentes en algunos casos; y en particular; por evaporación.

Las aguas superficiales, dependiendo de la conexión hidráulica que exista entre los acuíferos, (afluente y/o influentes); son importantes fuentes de recarga local como también un canal para el transporte de los contaminantes (en el caso de que se viertan aguas residuales a los cuerpos de agua superficial). Sin embargo, en el caso particular del área de estudio, la relación hidráulica del río-acuífero es afluente (Mapa 11-12 y Cuadro 22), por lo tanto, las posibilidades de transporte de contaminantes al acuífero por vertidos son menores o casi nulas.

Los resultados de las campañas de aforo realizadas indican que el régimen de flujo de los principales tributario del río Estelí (incluyendo a él), presenta caudales de estiaje muy reducidos (Cuadro 8).

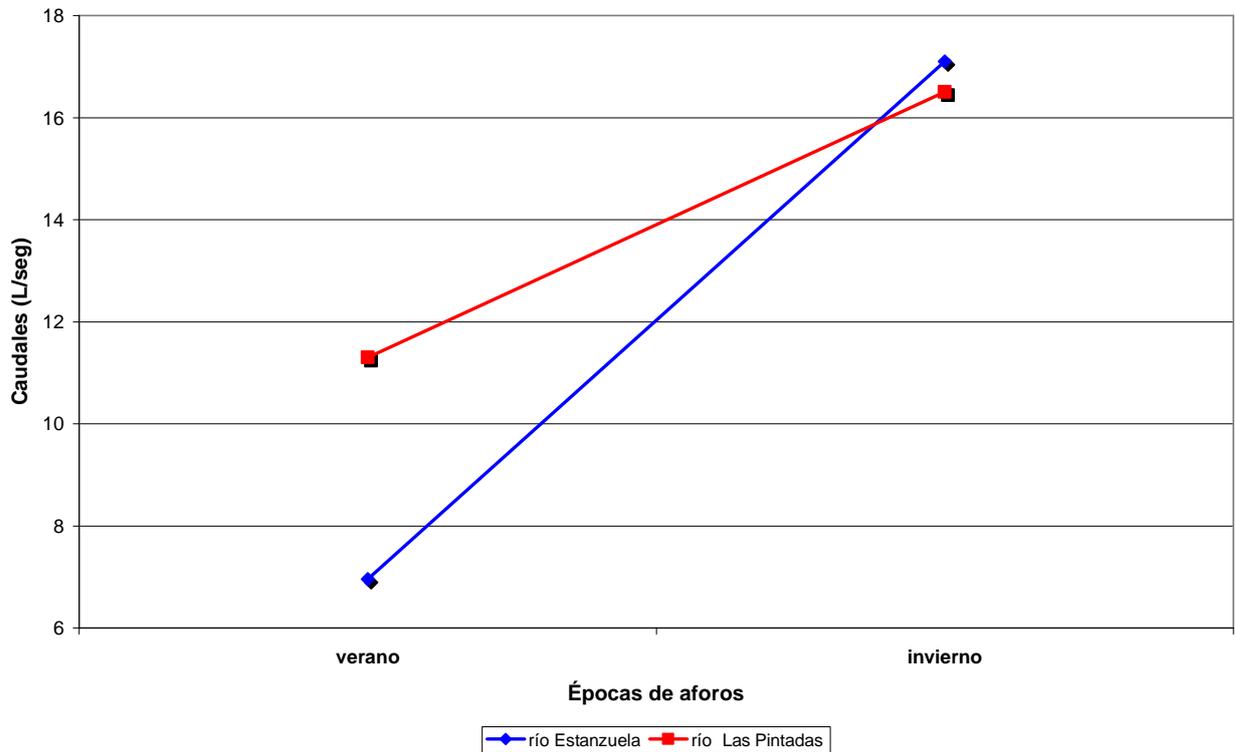
La principal fuente de recarga de los ríos son las precipitaciones, por lo tanto, los caudales de estos dependen del comportamiento pluviométrico y las características hidrodinámicas-hidráulicas de las aguas superficiales. Los registros pluviométricos actuales del área de estudio (Tablas 4-5-6) indican que los reducidos caudales de los ríos aforados, es debido al comportamiento del régimen climático.

El régimen pluviométrico registrado en las estaciones (San Roque, Llano Redondo y La Thompson) demuestra que la subcuenca del río Estelí pertenece a la zona seca del país (MAGFOR, 2003) Por tanto, se confirma el comportamiento actual de los ríos aforados, debidos al comportamiento pluviométrico actual.

Cuadro 8. Resultados de aforos en los principales afluentes del río Estelí, verano –invierno 2004.

Afluentes	R. Estelí		R. Estanzuela		R. Las Pintadas	
Coordenadas	1450571/569748		1439059/570425		1445914/565930	
Época de aforo	Abr.	Oct.	Abr.	Oct.	Abr.	Oct.
Sección Transversal (m)	5,5	2	2,2	2,2	3,5	3,5
Profundidad media de aforo (m)	0,1	0,25	0,1	0,15	0,05	0,1
Q margen derecho (L/seg)	40,0	16,4	6,8	17,1	11,3	15,8
Q margen izquierdo (L/seg)	37,2	19,0	7,1	17,1	11,3	17,1
Q promedio	38,6	17,7	7,0	17,1	11,3	16,5

Los caudales de estiaje en verano se encuentran en un rango de 7 hasta 38 L/seg. correspondiente al río Estelí, que presenta el mayor caudal de los tributarios aforados; debido a los aportes adicionales de los diferentes afluentes que drenan al río. Asimismo, los caudales de invierno de los afluentes se encuentran entre 16.5 – 17.1 L/seg., registrándose un incremento del 32% para el río Las Pintadas y el 61% en La Estanzuela (Gráfica 7).



Gráfica 7. Comportamiento de los caudales en verano e invierno de los ríos Las Pintadas y Estanzuela.

Es importante mencionar el aporte que hacen al régimen de flujo del río Estelí las descargas de aguas residuales de las lagunas de oxidación al cuerpo receptor. El caudal promedio de descarga de las pilas de oxidación, el cual se realiza por un canal de 1 m de ancho, es de 1000 L/seg.

El río Estelí y sus afluentes se clasifican como temporalmente intermitente, estos fluyen solo cuando las lluvias intensas, fuente principal de abastecimiento del caudal, elevan el nivel freático y reactivan lugares de salida de agua por encima del nivel habitual.

Cuadro 9. Registros históricos de caudales de los principales afluentes del río Estelí. 1963-1995.

Fecha de Aforo	Afluente	Caudal (m ³ /seg)	
		verano	invierno
08/10/1963	río Estelí	nr	22,97
09/10/1963	río Estelí	nr	277,26
14/12/1963	río Estelí	nr	nr
15/05/1965	río Estelí	0.98	nr
23/06/1965	río Estelí	nr	68,74
16/12/1965	río Estelí	0.95	nr
12/05/1966	río Estelí	0.98	nr
13/11/1966	río Estelí	3,01	nr
09/05/1995	río Estelí (Higo)	0.06	nr
29/06/1995	río Estelí (Higo)	nr	0.87
31/07/1995	río Estelí (Higo)	nr	0.24
06/09/1995	río Estelí (Higo)	nr	2.45
12/10/1995	río Estelí (Higo)	nr	5.44
17/11/1995	río Estelí (Higo)	1.36	nr
26/12/1995	río Estelí (Higo)	0,33	nr
20/04/1995	río Estanzuela	0.25	nr
29/06/1995	río Estanzuela	nr	0.56
31/07/1995	río Estanzuela	nr	0.11
05/09/1995	río Estanzuela	nr	21,71
11/10/1995	río Estanzuela	nr	5,72
17/11/1995	río Estanzuela	0.29	nr
27/12/1995	río Estanzuela	0.08	nr
20/04/1995	río Las Pintadas	0.02	nr
27/05/1995	río Las Pintadas	0.04	nr

Fuente: INETER, 2004.

nr: no registrado

Los caudales históricos del río Estelí registrados en período de 1963–1995 en diferentes épocas, están en un rango de 0.02 a 277.26 m³/seg. En época seca, relacionando con los registros actuales existe un descenso progresivo del caudal en los últimos 41 años muy significativo. El mismo comportamiento muestran los diferentes afluentes tributarios del río Estelí Este suceso fácilmente se visualiza en el valle de Estelí, tal es el caso que en algunos sectores del cauce principal del río ya no existe flujo; y si fluye es por vertido de aguas grises y residuales, (Cuadro 9).

4.1.6. Descarga artificial de agua subterránea

Es de suma importancia conocer la extracción anual y el volumen de almacenamiento de agua de los acuíferos, con este conocimiento se puede determinar el límite de explotación de las aguas subterráneas.

Los resultados de las encuestas realizadas y del procesamiento de la información, se calculó que la extracción total anual de agua del acuífero del valle de Estelí, para los usos principales del recurso agua en el año 2004, es del orden de 11.44 MMCA. También, se cuantificó que la mayor extracción de agua, es destinada para el abastecimiento de agua potable del el sector urbano y rural siendo ésta de 7.62 MMCA, (Cuadro10).

Cuadro10. Extracción de agua de acuerdo a los principales usos en el valle de Estelí, 2004

Actividad	Volumen (MMC)
Tabaco ^a	3,00
Lavado de vehículos ^b	0,03
Consumo humano (Urbano) ^b	7,22
Consumo humano (Rural) ^b	0,40
Pastos ^a	0,48
Hortalizas ^a	0,31
Total	11,44

a: época de riego b: anual

El 67% de la extracción anual es en abastecimiento potable urbana y rural y el 26% de la extracción total se le atribuye al riego por gravedad del cultivo del Tabaco. Se considera que dichos sectores son los principales consumidores del recurso hídrico, el rubro de riego de cultivo de Tabaco representa el 40% con respecto a la extracción para abastecimiento humano Es importante enfatizar que solo en 4 meses de desarrollo de éste cultivo se extraen 3 MMC; con esto, se cubrirían la demanda de la población urbana (cercano a la demanda de un

semestre). Asimismo, el 67% de la extracción anual se utiliza para consumo doméstico, un 33% de la extracción se le atribuye al sector agricultura.

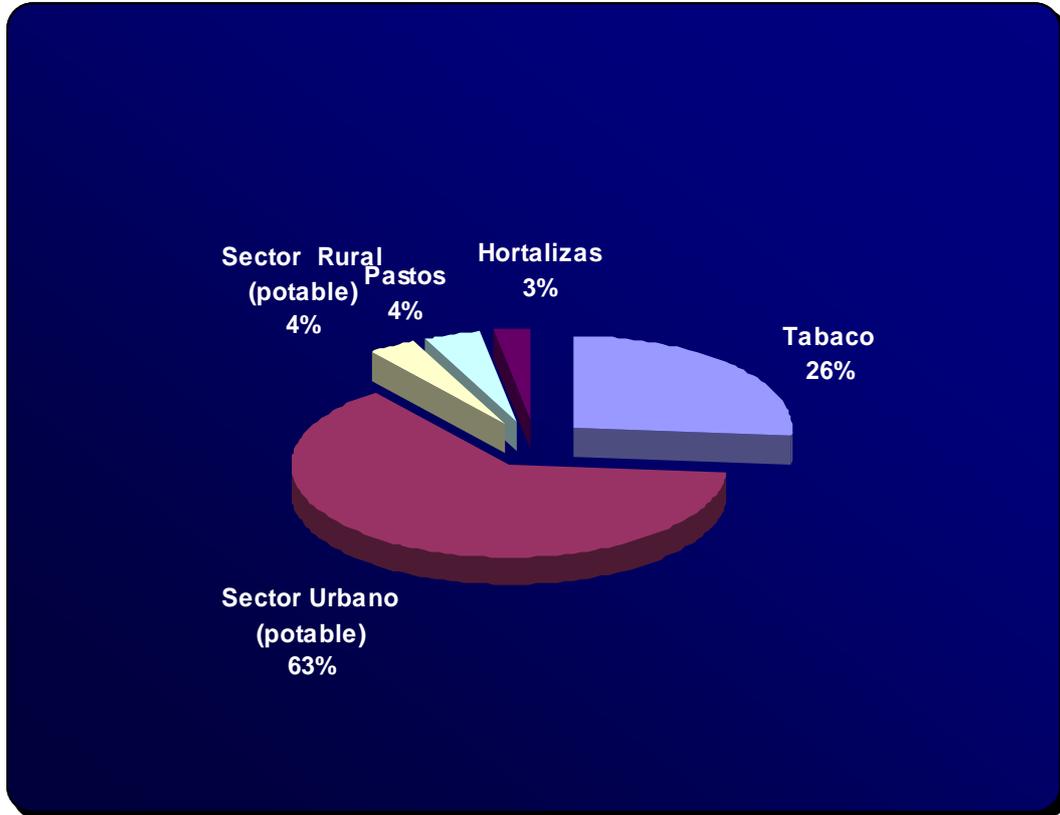


Figura 3. Extracción de agua en base a los principales usos en el valle de Estelí.

4.1.7. Recarga del acuífero (Rac)

4.1.7.1. Capacidad de infiltración

La infiltración del agua en la zona no saturada juega un rol importante en los procesos de recarga a los acuíferos como respuesta a una precipitación dada de una cuenca; dependiendo de la magnitud e intensidad de la lluvia. La infiltración depende de muchos factores; una estimación confiable es difícil y por ende, es imposible tener una hipótesis única entre los parámetros que la condicionan.

La capacidad de infiltración conocida también como “infiltrabilidad del suelo”, es el flujo que los horizontes de suelo pueden absorber desde la superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica.

Cuadro 11 Resultados de pruebas de infiltración realizadas en el valle de Estelí 2004

Lugar	Capacidad de Infiltración	
	mm / hr	mm/día
1- La Chácara	8,7	208,8
2- La Tunosa	7,2	172,8
3- Villa Vieja	3,7	88,8
4- El Rosario	2,2	52,8
5- La Thompson	10,7	256,8
6- Las Limas	5,1	122,4
7- Isidriño	4,1	98,4
8- Paso León	2,4	57,6
Media	6,3	132,3

Los suelos del área de estudio presentan velocidades de infiltración en el rango de 2.2 a 10.7 mm/hr. y con una media de 6.3 mm/hr. (Cuadro 11). El comportamiento de los horizontes del suelo referido a la velocidad de infiltración es muy heterogéneo; dadas las diferencias en propiedades físicas y químicas de los perfiles donde se llevaron a cabo las pruebas de infiltración, (Gráfica 8).

Asimismo, los resultados de los análisis físicos de suelos con relación a la textura éstos son arcillosos, muy porosos y con una alta retención de humedad lo que reduce la capacidad de infiltración de los mismos. Sin embargo, al presentar baja velocidades del agua se produce una alta tasa de escorrentía (Cuadro 12)

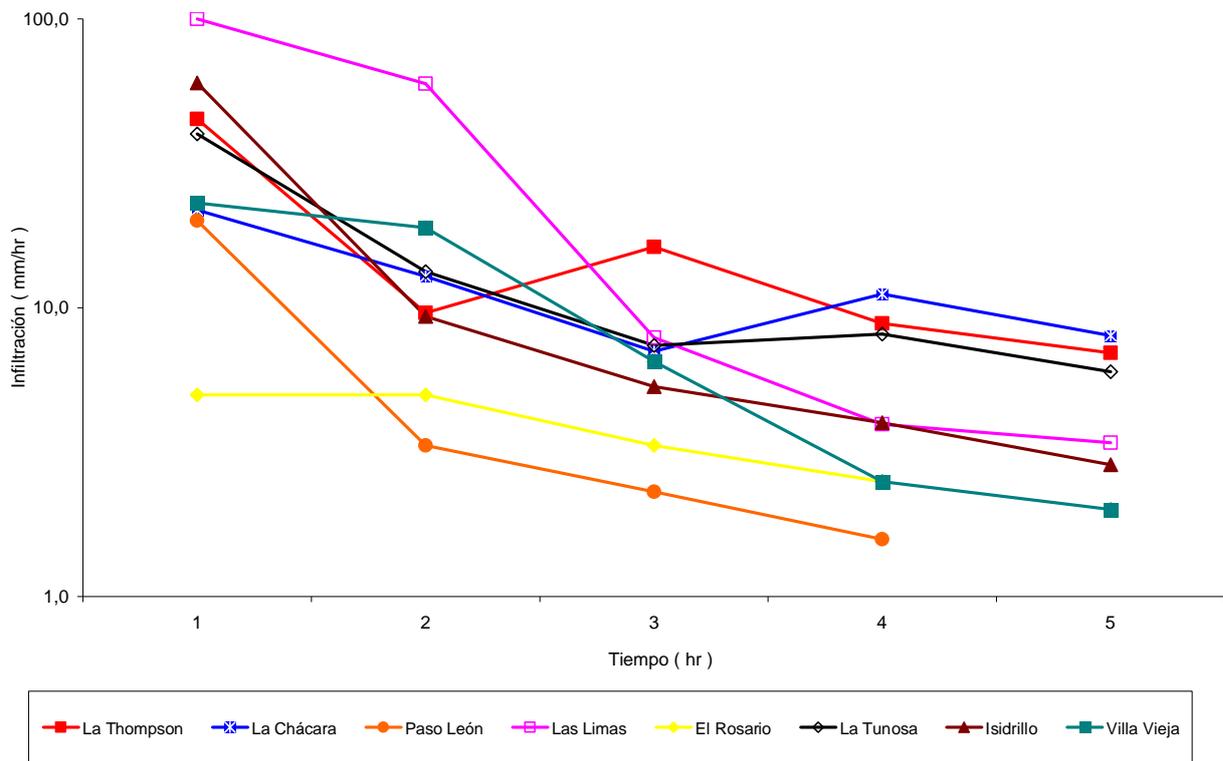
Cuadro 12. Resultados de análisis físicos de muestreo de suelos.

Localidad	Densidades		Porosidad	Retención de Humedad			Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura
	Dap	Dr		CC	%H	PMP				
Las Limas	1,17	2,14	45,33	45,82	21,00	22,30	63,60	18,00	18,40	Arcilloso
La Tunosa	1,19	2,14	44,39	38,26	31,00	18,36	43,60	30,00	26,40	Arcilloso
Paso León	1,55	2,27	31,72	47,14	22,00	22,62	57,60	20,00	22,40	Arcilloso
La Chácara	1,48	2,13	30,52	53,36	33,00	25,61	59,60	20,00	20,40	Arcilloso
Isidriilo	1,43	2,10	31,90	43,97	2,50	21,11	43,60	24,00	32,40	Arcilloso
Villa Vieja	1,17	2,27	48,46	35,33	19,00	16,95	43,60	34,00	22,40	Arcilloso
Los Chilamates	1,42	2,10	32,38	47,35	34,30	22,72	57,60	22,00	20,40	Arcilloso
El Rosario	1,30	2,12	38,68	28,70	20,00	28,70	41,60	30,00	29,40	Arcilloso

Dap: Densidad aparente Dr: Densidad relativa CC: Capacidad de Campo PMP: Pto. de marchitez.

Los valores bajos de infiltración concuerdan con la textura de suelo, porosidad y características del perfil donde se realizaron éstas pruebas. Estos se encuentran en la zona de Villa Vieja, Isidriilo, Paso León, Las Limas y El Rosario; en donde la compactación que ocasiona la maquinaria utilizada en la preparación del suelo para el cultivo de Tabaco, produce éste comportamiento. Estas áreas se han utilizado para siembra de Tabaco desde aproximadamente 45 años por cuanto este efecto es notable en estos suelos.

Finalmente, estos valores traen como consecuencia que la recarga del acuífero disminuya. En adición de la disminución de infiltración que es ocasionada en la urbanización de la ciudad de Estelí (23Km²), por impermeabilización de calles.



Gráfica 8. Velocidad de infiltración de los suelos según pruebas de infiltración.

En relación a la recarga natural en el valle de Estelí esta en el orden de 30,365 m³/año a través del balance hídrico del suelo realizado. Lo cual indica que la recarga procedente de las precipitaciones es muy bajo. Sin embargo, la recarga artificial procedente de retornos por riegos y fugas de la red de agua potable es de aproximadamente 620,000 m³/año superior a lo determinado en la recarga natural, (Cuadro 13).

Este resultado, indica que la recarga natural se ve afectada por altas tasas de escorrentías y evapotranspiración; de ahí que la recarga natural sea menor que la artificial. En cambio la recarga artificial es lo contrario, los retornos por riego al acuífero son considerables, debido a que mayoritariamente se utiliza riego por gravedad y en melgas, lo que permite que no exista elevadas tasas de

escorrentía. En lo que respecta a fugas de agua potable éstas son en la zona no saturada, por tanto, la recarga artificial no se ve afectada por los parámetros que afectan la recarga natural.

En cuanto a la recarga regional se estimó en el orden de 13.56 MMCA, tomando en cuenta un área importante de recarga regional que circunda al valle de Estelí de 203 Km², que se extiende desde la reserva natural Tisey-Estanzuela hasta La Labranza. Un valor de precipitación media de 669 mm anuales (Tabla 4-5-6) y un índice de infiltración del 10%.

Cuadro 13. Recargas naturales y artificiales del acuífero del valle de Estelí, 2004.

Recarga Natural	MMCA
Valle	0,03
Serranías	13,56
Sub Total	13,59
Recarga Artificial	
Retorno por riego	0,19
Fugas de red de agua potable	0,43
Sub total	0,62
Total	14,21

Finalmente, la abundancia de fallas y fracturas (permeabilidad secundaria) en las serranías que bordean al valle, las características morfológicas de los materiales volcánicos de éstas, y de acuerdo al origen; son los principales factores que contribuyen al alta recarga regional. Por lo tanto, ejerce un efecto importante en la recarga del acuífero del valle de Estelí

4.1.8. Entradas por límites geológicos (Qtc).

Basados en las características de la geología estructural del área del valle de Estelí, características hidráulicas y las proyecciones de las fallas regionales; se identificaron pozos que se encuentran alimentados por fallas.

La composición isotópica y régimen de las precipitaciones actuales, indican que éstas no tienen efecto significativo en la recarga del acuífero. Asimismo, las concentraciones de tritio, sugieren que son aguas infiltradas con anterioridad a 1952; aguas relativamente viejas (Cuadro 22). En éste contexto, el acuífero primario se alimenta de agua almacenada a mayores profundidades en el acuífero secundario que asciende por presión entre fallas y fracturas. Por tanto se ha estimado que existe una recarga al acuífero somero de 29.6 MMCA, como resultado de fallas de acuerdo a las proyecciones de fallas regionales (Cuadro 14)

Cuadro 14. Recarga por sistema de fallas localizadas, pozos ENACAL-Estelí 2004

Sector	Lugar	T (m ² /día)	NEA (pies)	ND (pies)	s (m)	Tiempo (min.)	Área de Falla (m ²)	Volumen (MMCA)
1	Las Cuevas	7698,4	115,5	118,4	0,9	1,0	1500000,0	1,4
1	Fe y Alegría	4183,0	131,9	132,8	0,3	1,0	1500000,0	0,4
1	El Parque	1229,2	61,4	75,1	4,3	14,0	1500000,0	6,4
1	La Cabaña	996,4	19,6	41,2	6,7	1,0	1500000,0	10,1
Media					3,1		1500000,0	4,6
2	Oscar Gamez	751,6	88,2	96,0	2,4	1,0	1500000,0	3,6
2	La Chiriza	2251,2	92,5	94,4	0,6	14,0	1500000,0	0,9
Media					1,5		1500000,0	2,2
3	La Montañita	4207,5	82,4	85,7	1,0	1,0	1500000,0	1,5
3	Las Porras	6280,8	149,7	154,2	1,4	5,0	1500000,0	2,1
3	El Rosario	10371,0	74,2	80,9	2,1	1,0	1500000,0	3,2
Media					1,5			2,3
Total								29,6

$$\text{Ecuación 4. } \Delta V = (Rac + Qtc + Ir) - (Dr + Qts + Pp + Etp + Dac + Esub)$$

$$\Delta V = (14.21 + 29.6 + 0) - (0 + 0 + 0 + 0 + 11.44 + 2.68)$$

$$\Delta V = 29.65 \text{ MMCA}$$

Utilizando los cálculos de ingresos y egresos del balance hidrogeológico, se tiene una variación en el almacenamiento del acuífero de 29.56 MMCA (ecuación 4).

En cuanto a la variación en el almacenamiento del acuífero y las interpretaciones isotópicas, la disponibilidad de agua subterránea no queda bien definida, ya que el acuífero se explota hasta una profundidad promedio de 100 m.

Las características hidrogeológicas del acuífero indican, que existe una disponibilidad de agua en el manto acuífero hasta profundidades de 400 m aproximadamente, que se infiltraron antes de 1952 en diferentes condiciones climáticas que las actuales, (Cuadro 22). Asimismo, el agua que podría estar almacenada en el entorno regional de la cuenca hidrogeológica definida en el estudio. Por tanto, habría que realizar estudios hidrogeológicos a detalle, para determinar la disponibilidad de agua almacenada que existe actualmente en el acuífero y en base a los resultados realizar proyecciones de la demanda futura del recurso hídrico subterráneo

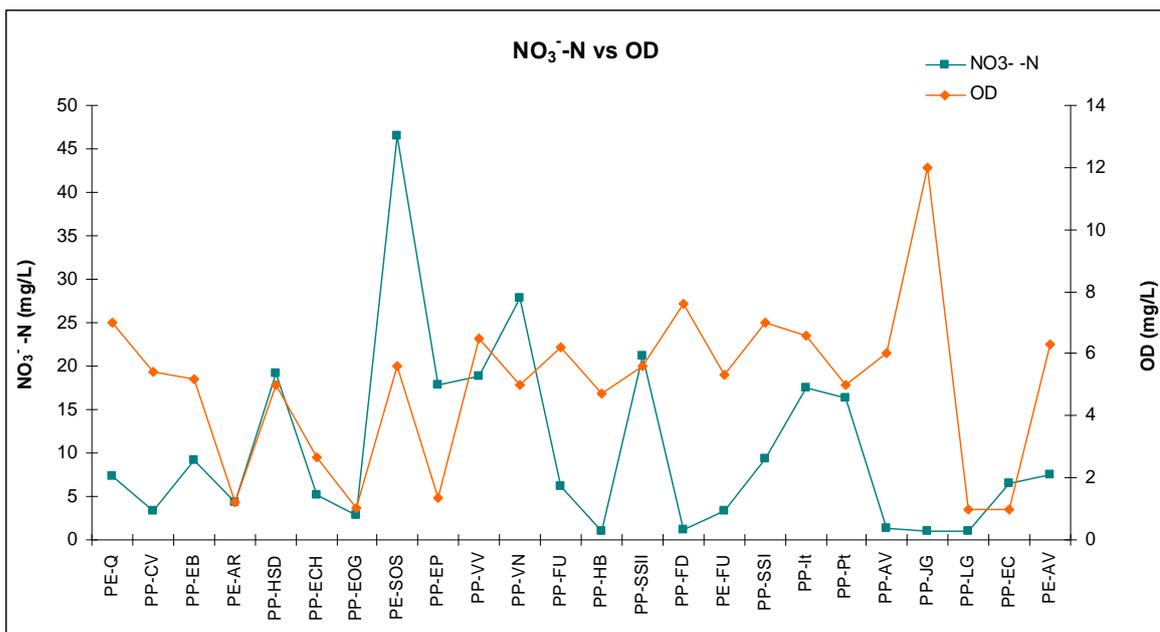
4.2. Caracterización física química

Los parámetros físicos determinantes para entender e interpretar reacciones químicas prevaletes en los acuíferos son: el pH, Eh (potencial Redox), conductividad eléctrica, temperatura del agua y oxígeno disuelto. La medición in-situ de estos parámetros es indispensable y se hace mediante utilización de instrumentos específicas.

La correlación de los parámetros: pH, oxígeno disuelto (OD), y potencial Redox (Eh), medidos en el campo, en las campañas de muestreo, reflejan que el sistema de agua subterránea presenta una tendencia marcada a condiciones oxidantes, esto indica un sistema aeróbico (Tabla 7-8-9-10). Por lo tanto, al correlacionar éstos con los resultados analíticos obtenidos de los compuestos nitrogenados (NO_3^- -N, NO_2^- -N, NH_4^+ -N), se corrobora que las reacciones de oxidación-reducción son las que se están llevando principalmente en el acuífero.

Al correlacionar, NO_3^- -N vs OD (Gráfica 9), se observa que a medida de que aumentan las concentraciones de OD igual lo hacen los contenidos de NO_3^- -N, debido principalmente al proceso de nitrificación que ocurre en condiciones aeróbica (Appelo y Postman, 1996). Aunque en algunos casos no se observa el mismo comportamiento en los pozos: PP-VN; PP-FU; PP-FD; PE-FU; PP-It; PPAV; PP-JG; PP-LG y PP-EC, los cuales presentan un contenido alto de NO_3^- -N, con una disminución de OD y viceversa.

Los valores de pH obtenidos en las diferentes fuentes, tienen un rango de 6.36 a 7.85; con un promedio de 7.02. Estas se pueden clasificar entre ligeramente ácidas y ligeramente alcalinas, en base al promedio de éstas se clasifican como neutras.

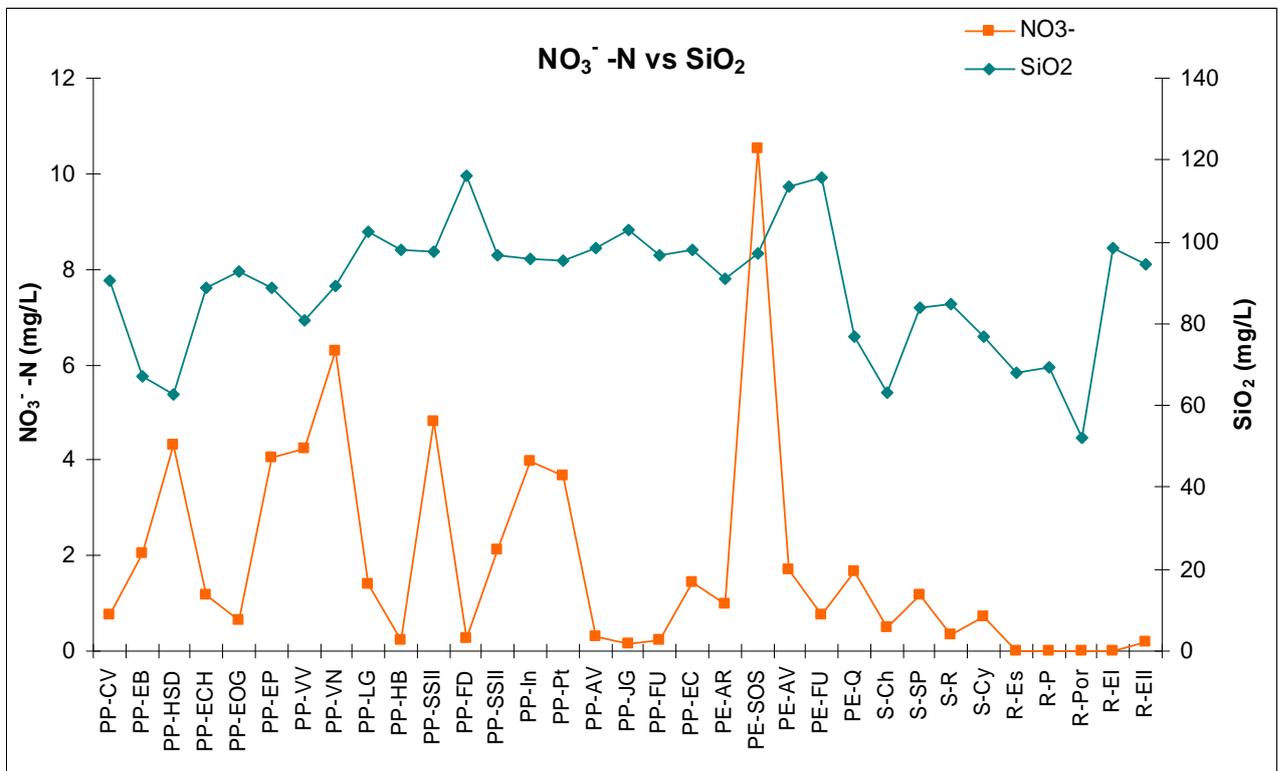


Gráfica 9. Correlación de NO_3^- -N vs. OD en agua subterránea de pozos del acuífero

De la correlación de NO_3^- -N con sílice (SiO_2), se observa de manera general que existe una tendencia a que la concentración de NO_3^- -N disminuya, cuando hay un

incremento en las concentraciones de SiO_2 (Gráfica 10). La presencia de NO_3^- -N se manifiesta en medios aeróbicos bajo condiciones alcalinas, preferentemente.

Los resultados analíticos, indican que el agua del acuífero es mayoritariamente Bicarbonatada (pH de 7 a 10); en este medio, es más propenso a que la sílice se encuentre en menores concentraciones a las que se encontrarían con pH mayores de 10. Sin embargo, es probable que las fuentes que presentan un contenido mayor de sílice sean; debido a la alta meteorización de silicatos, como resultado de un mayor tiempo de residencia del agua en el acuífero.



Gráfica 10. Correlación NO_3^- -N vs SiO_2 en aguas superficiales y subterráneas

Los resultados de los análisis de los parámetros NH_4^+ y Fe total en aguas superficiales, de la campaña de muestreo de verano e invierno, para los puntos de muestreo RE-I y RE-II (aguas superficiales), muestran concentraciones superiores

a los valores guía para calidad del agua para fines de protección de vida acuática y estética (EPA, 2000; CAPRE, 1994). (Cuadros 20-21)

Estas altas concentraciones de amonio presentes en éstos puntos (aproximadamente 1 y 4.5 Km. de las descargas de las pilas de oxidación), se deben probablemente al elevado contenido de compuestos nitrogenados (heces fecales y orina) en las aguas tratadas vertidas al río. Sin embargo, el punto más alejado, presenta una menor concentración de amonio; debido al recorrido de dichos compuestos en el río, experimentan dilución, oxigenación, hidrólisis, biodegradación, como resultado de la purificación natural del río; produciendo que éste se oxide.

Asimismo, éstas elevadas concentraciones se atribuyen a las condiciones anóxicas en que se encuentran en las pilas de oxidación, ocasionadas por las bacterias en el agua tratada; y una vez que éstas son descargadas al río Estelí, sufren oxidación

También se observa que el comportamiento de NH_4^+ y Fe total es inversamente proporcional, o sea que al aumentar las concentraciones de amonio disminuyen las de Fe total, debido a que cambia las condiciones de oxido-reducción.

Las fuentes, S-Ch, R-Por y el PE-Q; ubicados en el sector sur de la ciudad tienen valores de Fe total de 2.04, 0.64 y 1.55 mg/L superiores a los establecidos por la normativa de calidad del agua internacionales. Para el caso de los pozos y manantiales, posiblemente, las concentraciones detectadas, son provenientes del contacto del agua con materiales Máficos de Rocas del Grupo Coyol Superior. (Cuadro 19-20).

Basados en el diagrama de potencial Redox para el hierro y valores in situ de pH y Eh de pozos excavados, manantiales y ríos. Se determinó que el estado en que se encuentra el elemento hierro en el agua, es mayoritariamente como un hidróxido

férrico $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$; el cual es influenciado por procesos de óxido-reducción (Figura 4)

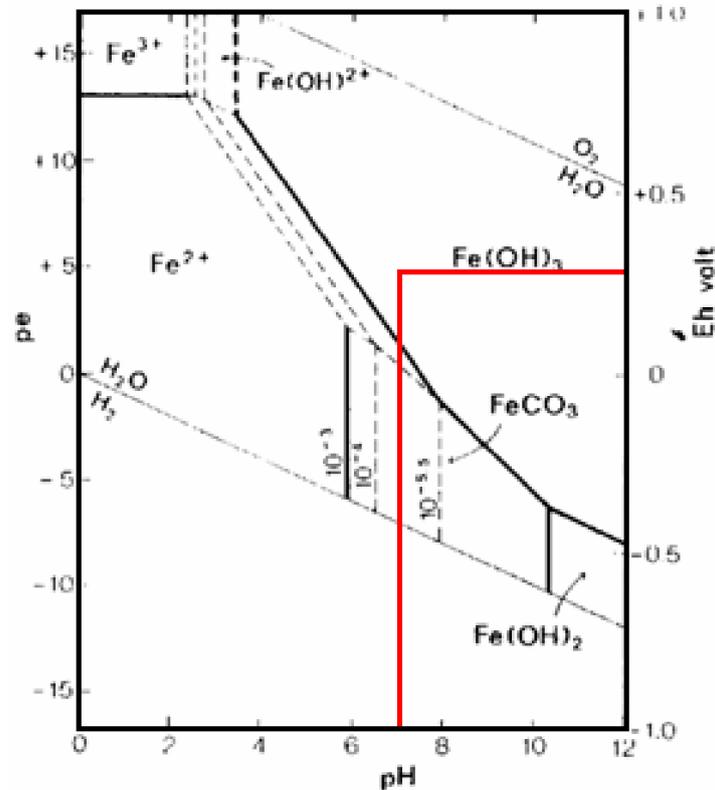


Figura 4. Diagrama Potencial Redox para el hierro en fuentes monitoreadas, verano, 2004.

4.2.1. Carácter hidroquímico del agua

4.2.1.1. Pozos Perforados

El carácter hidroquímico del agua para el 89% de los pozos perforados se clasifica como HCO_3^- - Ca^{+2} - Na^+ y el 11% restante HCO_3^- - Ca^{+2} - Mg^{+2} .

4.2.1.2. Pozos Excavados

Con respecto a los pozos excavados, el 55% presenta composición hidroquímica del tipo HCO_3^- - Ca^{+2} - Na^+ y un 45% HCO_3^- - Ca^{+2} - Mg^{+2} .

4.2.1.3 Manantiales

En relación a los manantiales, el 55% de las aguas son del tipo $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2}$ y el 45% restante como $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Na}^+$.

4.2.1.4. Ríos

La composición hidroquímica de las aguas superficiales es variable, ya que se presentan 3 categorías de clasificación. Mayoritariamente el 60% se clasifica como $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Na}^+$, el 20% de $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{+2}$ (RE-I y RE-II). Asimismo, existe un 20% de las aguas que se clasifica como: $\text{HCO}_3^- - \text{Fe}^{+2} - \text{Ca}^{+2}$; como resultado posiblemente del aporte de minerales férricos y de la escorrentía en época de invierno.

4.2.1.5. Precipitación

La precipitación colectada en el mes de septiembre es del tipo $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2}$ al compararla con las fuentes monitoreadas, existe una diferencia en la mayoría de las fuentes se clasifican de $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Na}^+$, ésta diferencia se debe probablemente al intercambio iónico entre el Magnesio presente en el agua y Sodio, localizado en las formaciones geológicas del acuífero.

De manera general del total de las fuentes monitoreadas en las diferentes épocas de muestreo, el 73% son del tipo $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Na}^+$; el 22 % $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2}$ Finalmente el 5% restante que pertenece a aguas superficiales que se clasifican entre $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{+2}$ (RE-I y RE-II) y $\text{HCO}_3^- - \text{Fe}^{+2} - \text{Ca}^{+2}$ (invierno) (Figura 5)

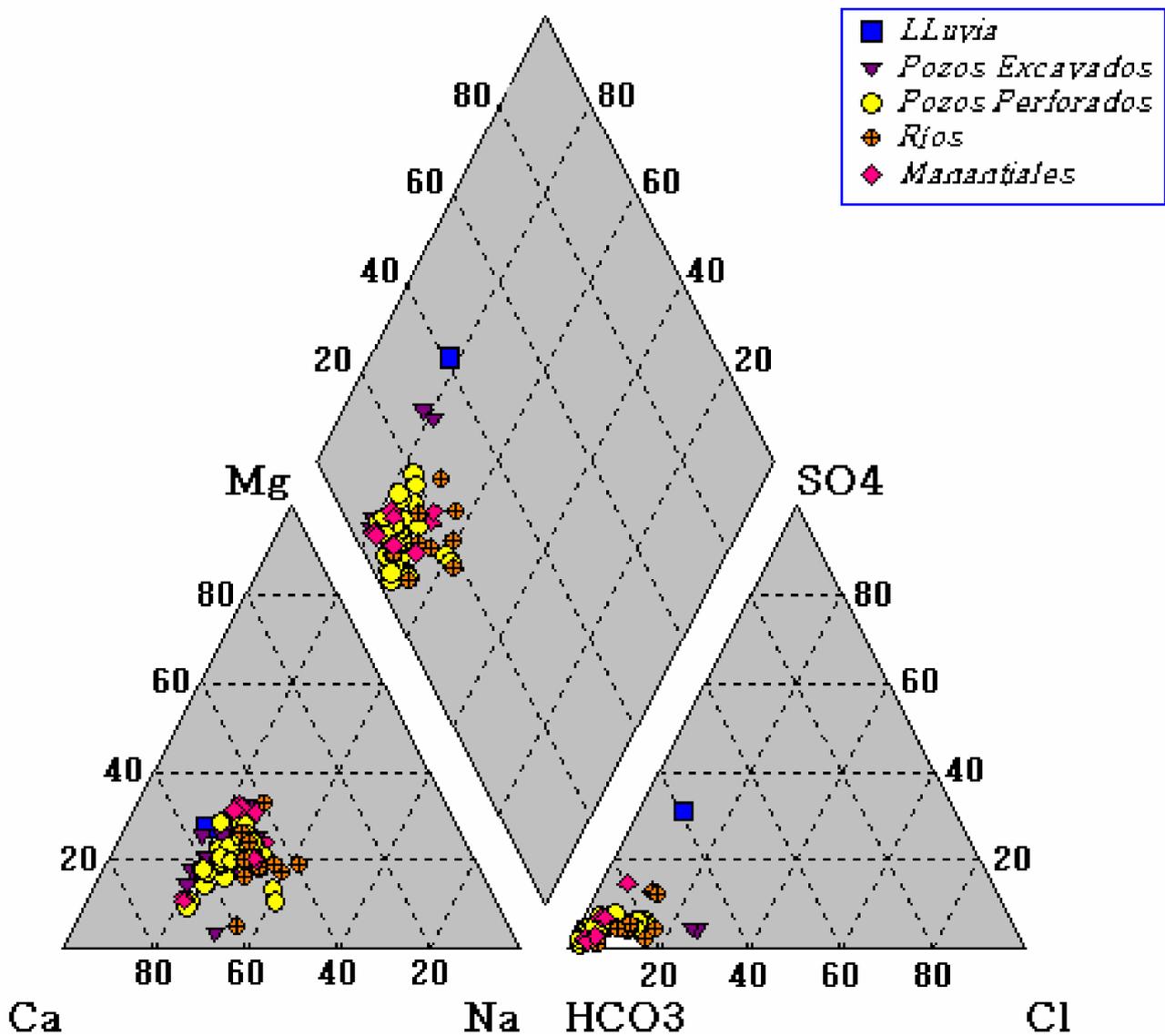


Figura 5. Diagrama de Piper

4.2.2. Calidad del agua para uso potable

De acuerdo a la red de monitoreo de control de calidad físico-química de las aguas subterráneas y superficiales de verano e invierno se obtuvieron los resultados de la calidad de agua del acuífero (Mapa 9).

4.2.2.1. Pozos perforados

De los 19 pozos perforados monitoreados, el 68% utilizan el agua para actividades agrícolas y pecuarias; y el 32 % restante para uso doméstico. De las fuentes utilizadas para uso doméstico 4 son para uso potable público (PP-EC, PP-EP, PP-EOG y PP-ECH), y son administrados por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL) para el abastecimiento público.

Los resultados físico-químicos, indican que el agua de los pozos cumplen con las normas internacionales de calidad de agua potable según las guías establecidas, (CAPRE, 1994, WHO, 1996, EPA, 2000)

Con excepción del 47% y 10% de las fuentes en la campaña de verano que presentan dos parámetros (conductividad eléctrica y temperatura) por arriba de las normas (Cuadros 15-16).

Asimismo, en la campaña de invierno el 33% y 11% de los pozos presentaron los mismos, por arriba de la norma. Finalmente según las máximas detectadas para ambos parámetros son de 584 μ S/cm de conductividad eléctrica y 31.9°C la temperatura, sin embargo, no existen problemas en que puedan afectar la salud de quienes ingieran agua provenientes de estas fuentes.

Además se detectaron concentraciones de Fe total en la segunda campaña de muestreo (invierno) por arriba de las normas. Los pozos perforados en que se detectó fueron los PP-HB y PP-VN, éste comportamiento posiblemente como resultado de la oxidación de las rejillas o tuberías ciegas presentes en estas fuentes.

Cuadro 15. Resultados físico – químicos de Pozos Perforados, verano 2004.

Código	pH	CE	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺	Fe T	F ⁻	B ³⁺	BI
	Und	µS/cm	° C	mg/L															
PP-CV	7,05	277	25,70	28,5	8,2	23,2	2,26	3,3	0,75	6,5	<2	177,7	90,6	0,0009	0,037	<0.04	0,11	0,23	0,60
PP-EB	7,46	426	26,50	59,5	5,8	22,9	1,08	6,0	2,06	5,1	<2	253,7	67,3	0,0009	0,055	<0.04	0,22	0,2	1,27
PP-HSD	7,63	584	28,20	59,4	10,2	56,1	1,91	24,4	4,31	19,3	<2	304,0	62,8	0,0009	0,026	< 0.04	0,18	0,09	0,74
PP-ECH	7,32	297	27,30	31,3	7,3	20,5	2,42	5,0	1,16	5,6	<2	178,1	88,9	0,0009	0,043	< 0.04	0,11	< 0.02	2,30
PP-EOG	7,12	263	27,80	25,3	7,8	16,6	2,92	4,2	0,66	4,2	<2	161,2	92,8	0,0009	0,004	< 0.04	0,12	< 0.02	3,50
PP-EP	7,02	471	26,70	51,3	12,6	24,4	3,90	23,4	4,03	14,6	<2	235,3	88,9	0,0009	0,033	< 0.04	0,05	0,06	3,54
PP-VV	7,30	506	25,90	64,2	11,1	27,9	1,77	16,8	4,25	14,6	<2	279,4	80,8	0,0009	0,093	<0.04	0,20	0,12	2,60
PP-VN	7,05	434	26,20	46,8	10,6	26,6	2,76	17,9	6,28	9,4	<2	207,6	89,4	0,0009	0,053	<0.04	0,18	0,16	1,30
PP-LG	7,32	326	26,40	29,3	9,6	20,4	4,93	5,4	0,22	8,5	<2	176,8	102,4	0,0009	0,033	<0.04	0,22	0,05	0,91
PP-HB	7,66	284	31,70	28,5	7,7	20,0	5,63	2,2	0,24	1,8	<2	182,0	97,9	0,0009	0,072	<0.04	0,16	0,12	0,45
PP-SSI	7,60	460	26,00	58,7	10,6	23,3	3,65	5,9	2,12	11,6	<2	264,0	97,5	0,0009	0,038	<0.04	0,18	0,12	1,72
PP-FD	7,18	220	27,40	22,6	7,0	16,9	4,35	2,0	0,26	1,6	<2	156,1	116,0	0,0009	0,113	<0.004	0,05	0,12	2,22
PP-SSII	7,78	448	26,10	61,0	8,7	26,8	3,45	5,3	4,79	10,4	<2	284,5	96,8	0,0009	0,051	<0.04	0,19	0,13	1,62
PP-In	7,19	413	25,40	49,2	8,7	27,0	2,07	4,7	3,96	10,5	<2	238,3	95,7	0,0009	0,036	<0.04	0,26	0,12	1,63
PP-Pt	7,16	466	26,30	55,5	12,0	26,8	3,35	6,4	3,68	18,1	<2	279,4	95,6	0,0009	0,057	<0.04	0,21	0,15	3,72
PP-AV	7,44	336	29,70	31,9	11,1	20,6	5,59	2,1	0,30	8,0	<2	209,6	98,7	0,0009	0,028	< 0.04	0,12	0,07	1,73
PP-JG	7,65	320	26,20	30,3	11,1	19,4	6,48	2,3	0,17	5,0	<2	204,5	102,7	0,0009	0,065	< 0.04	0,12	0,07	1,44
PP-FU	7,46	302	30,80	29,3	10,0	19,6	7,20	2,3	1,40	7,6	<2	200,2	96,9	0,0009	0,039	0,14	0,09	0,05	2,98
PP-EC	7,28	319	27,10	30,9	8,8	18,1	5,28	6,5	1,46	11,6	<2	179,4	97,8	0,0009	0,038	< 0.04	0,13	<0.02	4,30
CAPRE (1994)	6.5-8.5	400	30	100	30	≤ 200	10	250	10	250	nr	nr	nr	1	0,5	0,3	1,5	nr	
WHO (1996)	< 8	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	≤ 500	nr	nr	nr	1	1,5	0,3	1,5	0,5	
EPA (2000)	6.5-8.5	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	250	nr	nr	nr	1	nr	0,3	4	nr	
VAN(%)	0,0	47,4	10,5	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0		
MINIMA	7,0	220,0	25,4	22,6	5,8	16,6	1,1	2,0	0,2	1,6	0,0	156,1	62,8	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	
MAXIMA	7,8	584,0	31,7	64,2	12,6	56,1	7,2	24,4	6,3	19,3	0,0	304,0	116,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	
MEDIA	7,4	376,4	27,2	41,7	9,4	24,1	3,7	7,7	2,2	9,2	<2	219,5	92,6	<0.003	0,1	<0.04	0,2	< 0.02	

nr: no registrado VAN : Valor Arriba de la Norma BI: Balance Iónico

Cuadro 16. Resultados físico– químicos de Pozos Perforados, invierno 2004.

Código	pH	CE	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺	Fe T	F ⁻	B ⁺³	BI
	Und	µS/cm	° C	mg/L															
PP-CV	7,25	288	26,4	31,7	7,5	25,6	2,26	3,3	0,68	7,6	<2	191,0	92,5	<0.003	0,426	<0.04	0,21	0,18	0,96
PP-EB	7,44	379	27,1	58,3	5,1	21,7	0,97	5,1	1,80	6,1	<2	251,3	69,3	<0.003	0,072	<0.004	0,24	0,34	2,53
PP-HSD	7,52	584	28,1	65,4	8,9	63,6	1,86	28,1	4,51	19,7	<2	325,6	66,3	<0.003	0,059	<0.005	0,23	0,35	0,39
PP-ECH	7,40	278	28,0	31,3	11,5	18,6	2,26	4,5	1,17	6,3	<2	178,2	90,6	<0.003	0,118	<0.004	0,22	0,53	1,76
PP-EOG	7,39	235	26,4	25,4	7,9	18,1	2,93	2,2	0,62	4,9	<2	164,1	43,9	<0.003	0,018	<0.04	0,20	0,16	2,08
PP-EP	7,16	425	26,0	48,4	13,0	26,0	3,67	22,4	3,54	13,6	<2	230,8	91,0	<0.003	0,010	<0.04	0,18	0,22	2,51
PP-VV	7,06	502	26,0	65,8	11,8	26,8	1,60	12,6	3,98	20,5	<2	279,4	212,6	<0.003	0,052	0,2	0,08	0,23	1,66
PP-VN	7,31	404	28,2	44,4	10,8	30,4	3,30	15,8	5,44	8,4	<2	210,2	92,2	<0.003	0,036	0,45	0,07	0,16	0,60
PP-LG	7,73	291	30,3	28,4	9,0	20,3	7,12	2,0	0,14	4,1	<2	205,0	101,6	<0.003	0,027	0,16	<0.03	0,09	4,32
PP-HB	7,70	271	31,9	29,2	7,1	18,5	5,73	1,9	0,05	3,2	<2	182,0	102,8	<0.003	0,052	0,53	0,05	0,09	0,02
PP-NP	7,52	467	26,0	59,3	19,9	26,6	4,48	3,9	2,15	11,7	<2	294,1	98,9	<0.003	0,200	<0.04	0,13	0,26	4,85
PP-FD	7,39	228	25,8	23,4	6,4	16,8	4,44	1,8	0,15	3,1	<2	153,8	104,6	<0.003	0,031	<0.04	<0.03	0,04	2,14
PP-In	7,09	397	25,4	49,1	9,9	24,8	1,30	5,4	3,98	14,1	<2	238,4	102,1	<0.003	0,042	0,17	0,14	0,17	2,89
PP-SP	7,28	358	24,3	43,6	9,9	21,8	0,95	6,6	3,46	8,6	<2	203,8	100,5	<0.003	0,070	0,28	0,09	0,04	0,02
PP-Pt	7,30	453	26,1	53,8	11,6	26,9	2,88	6,4	3,04	10,8	<2	276,8	93,7	<0.003	0,019	<0.04	0,14	0,21	2,80
PP-JG	7,57	301	27,8	29,6	8,7	20,3	6,53	2,2	0,09	3,3	<2	199,9	103,6	<0.003	0,160	0,05	0,07	0,09	2,54
PP-FU	7,26	290	26,0	29,7	9,4	18,2	4,85	4,8	1,31	9,0	<2	174,3	112,8	<0.003	0,231	<0.04	0,08	0,14	1,57
PP-EC	7,58	303	27,5	30,9	9,4	19,0	4,85	6,3	1,38	7,3	<2	182,0	97,1	<0.003	0,015	<0.04	<0.03	<0.02	2,17
CAPRE (2000)	6.5-8.5	400	30	100	30	≤ 200	10	250	10	250	nr	nr	nr	1	0,5	0,3	1,5	nr	
WHO (1996)	< 8	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	≤ 500	nr	nr	nr	1	1,5	0,3	1,5	0,5	
EPA (1996)	6.5-8.5	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	250	nr	nr	nr	1	nr	0,3	4	nr	
VAN(%)	0,0	33,3	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				0,0	0,0	11,1	0,0	0,0	
MINIMA	7,06	228,0	24,3	23,4	5,05	16,8	0,95	1,78	0,0	3,11	0,00	153,8	43,93	0,00	0,01	0,05	0,05	0,04	
MAXIMA	7,73	584,0	31,9	65,8	19,93	63,6	7,12	28,14	0,0	20,46	0,00	325,6	212,64	0,00	0,43	0,53	0,24	0,53	
MEDIA	7,39	358,6	27,1	41,5	9,87	24,7	3,44	7,52	2,1	9,01	<2	218,9	98,66	<0.003	0,10	<0.04	0,14	< 0.02	

nr : no registrado VAN : Valor Arriba de la Norma BI: Balance Iónico

Asimismo de acuerdo al grado de dureza que presentan las aguas de los pozos perforados que se encuentran dentro de la red de calidad de agua, el 68% se clasifican como medianamente duras, el 28% se clasifican como duras y el 4% como muy duras.

4.2.2.2. Pozos excavados

Los cuadros 19-20, muestran que los análisis físicos-químicos realizados en los pozos excavados, los parámetros CE, Ca^{2+} , NO_3^- -N y Fe total presentan valores arriba de la norma, (CAPRE, 1994, WHO, 1996, EPA, 2000) en un 40, 20, 20 y 40% respectivamente.

Los pozos excavados muestran más indicadores por arriba de la norma que los pozos perforados, debido posiblemente ha mala construcción de los pozos. Estos se ubican cerca de fuentes puntuales de contaminación y la construcción de pozos, en áreas donde el agua subterránea es somera, por lo tanto; existe un riesgo y contaminación de estas fuentes alta. En consecuencia, existen fuentes que dejan de ser utilizadas para uso potable y pasan a ser utilizadas para el riego y otras necesidades. Como es la situación que presenta el PE-SOS.

De los pozos excavados y perforados, el pozo (PE-SOS) es la única fuente de agua subterránea en la que se detectó rastros de contaminación fuerte, tanto en verano como en invierno. Asimismo, fue el que presentó 4 parámetros por campaña de muestreo (CE, Ca^{2+} , Fe total (verano) Mg^{2+} (invierno), NO_3^- -N) arriba del valor normado, (CAPRE, 1994, WHO, 1996 , EPA, 2000), debido posiblemente a la cercanía de ésta fuente, al cauce natural de Los Cedros; fuente puntual de contaminación, donde se descargan los desechos orgánicos y aguas grises; por la ausencia de alcantarillado sanitario en el sector este de la ciudad.; Asimismo, la contribución de los aportes de contaminantes por letrinas y fosas sépticas ubicadas cercanas a ésta fuente, (Cuadros 18-19).

Los resultados de la clasificación de las aguas para uso agrícola, indica que el 100% de los pozos excavados presenta buena calidad para dicha actividad, (Cuadro 17)

4.2.2.3. Aguas superficiales y manantiales

Dentro de las estrategias de muestreo se monitorearon aguas superficiales y manantiales para comparar la química del agua con pozos perforados y excavados.

En los cuadros 20-21 se observa que los valores de conductividades eléctricas de las aguas superficiales y manantiales están cercano ó por encima de lo establecido por las guías. Con la excepción, de aguas superficiales que se encuentran ubicadas en las partes altas de la subcuenca.

Además, en los mismos cuadros se visualiza que de todos los parámetros analizados entre las aguas superficiales y manantiales, los puntos de muestreo RE-I y RE-II presentan valores de CE, K, NH₄-N y Fe total por arriba de la norma (CAPRE, 1994, WHO, 1996, EPA, 2000), como resultado del vertido de aguas tratadas de las pilas de oxidación al río Estelí.

El manantial La Chácara (S-Ch) presentó concentraciones de Fe total en las dos campañas realizadas por arriba de lo establecido por las normas mencionadas anteriormente, debido posiblemente al contacto del agua con Rocas Máficas sobreyacidas por materiales Cuaternarios según el origen de las formaciones en el acuífero.

Asimismo, el manantial Las Reventasonas (S-Rev) mostró el mismo comportamiento que el S-Ch, pero en la campaña de muestreo de invierno, probablemente por las entradas al reservorio de agua cargadas con sedimentos producto de escorrentías en esta época.

Las aguas de los manantiales presentan conductividades entre 434 y 245 μ S/cm respectivamente; de acuerdo al grado de dureza del agua el 100% de

las aguas de los manantiales monitoreados se clasificaron como medianamente duras.

Estas aguas presentan similitud al compararlas con las aguas de pozos perforados y pozos excavados, lo que indica que no existe diferencias marcadas en cuanto a su carácter químico del agua, debido a que son aguas recientes con muy poca evolución hidrogeoquímica, (Figura 5).

Conforme a la clasificación de las aguas superficiales para riego el 60% de estas son utilizables para riego y el 40% también utilizable pero con precauciones. Asimismo, el 60% son clasificadas como medianamente duras y el restante como duras (Cuadro 17).

De manera generalizada, de acuerdo al grado de dureza que presentan las aguas superficiales y subterráneas, estas se encuentran en el rango de medianamente duras a duras. Un 66%, se clasifican como medianamente duras. Existe un 30% que se clasifica como duras. Finalmente el 4% restante se clasifica como muy duras y pertenece al PE-SOS.

4.2.3. Calidad de agua para uso agrícola

El análisis riguroso de las aguas para fines agrícolas requiere del análisis del agua en Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Cloruros, Sulfatos, Carbonatos, Bicarbonatos y Nitratos. Las aguas de riego se pueden clasificar en función de la conductividad eléctrica (micromhos/cm a 25 °C), el RAS, Índice de scout o coeficiente alcalinométrico y contenido de Boro entre otros. Por otro lado, la permeabilidad del sustrato influye de forma notable en la definición de la calidad del agua de riego, ya que es necesario conocer el suelo para determinar el riesgo de salinidad y de sodio.

Cuadro 17. Clasificación de las aguas para riego, época seca.

Nº	Código Local	RAS	CE(uS/cm)	Clasificación
1	PP-CV	5,41	277	C2 - S1
2	PP-EB	4,01	426	C2 - S1
3	PP-HSD	9,52	584	C2 - S2
4	PP-ECH	4,66	297	C2 - S1
5	PP-EOG	4,08	263	C2 - S1
6	PP-EP	4,32	471	C2 - S1
7	PP-VV	4,55	506	C2 - S1
8	PP-VN	4,97	434	C2 - S1
9	PP-LG	4,61	326	C2 - S1
10	PP-HB	4,70	284	C2 - S1
11	PP-SSI	3,96	460	C2 - S1
12	PP-FD	4,40	220	C1 - S1
13	PP-SSII	4,55	448	C2 - S1
14	PP-In	5,03	413	C2 - S1
15	PP-Pt	4,62	466	C2 - S1
16	PP-AV	4,44	336	C2 - S1
17	PP-JG	4,26	320	C2 - S1
18	PP-FU	4,42	302	C2 - S1
19	PP-EC	4,07	319	C2 - S1
20	PE-AR	4,17	253	C2 - S1
21	PE-SOS	5,84	925	C3 - S1
22	PE-AV	4,53	479	C2 - S1
23	PE-FU	5,16	311	C2 - S1
24	PE-Q	3,43	368	C2 - S1
25	R-Es	4,54	215	C1 - S1
26	R-P	3,49	223	C1 - S1
27	R-Por	3,86	224	C1 - S1
28	R-EI	10,46	776	C3 - S2
29	R-EII	9,44	674	C2 - S2

Desde el punto de vista para el desarrollo económico del valle de Estelí en cuanto a condiciones edafoclimáticas y topográficas 62 Km² cuenta con alto potencial para el riego (MAG-FOR ,2000). Pero, debido a los bajos caudales de estiajes que presenta el río Estelí y sus principales afluentes en verano, las aguas subterráneas son utilizables para la explotación agrícola.

Cuadro 18. Resultados físico-químicos de Pozos Excavados, verano 2004.

Código	pH	CE	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Fe T	F ⁻	B	BI
	Und	µS/cm	° C	mg/L															
PE-AR	7,0	253	25,3	27,3	6,1	17,0	2,1	2,3	0,97	6,0	< 2	154,7	90,82	0,001	0,032	< 0,04	0,13	0,07	2,6
PE-SOS	7,1	925	24,7	122,0	26,9	50,4	3,2	96,8	10,52	22,5	< 2	436,6	97,20	0,004	0,162	0,44	0,10	0,17	2,5
PE-AV	7,4	479	26,2	53,9	19,2	27,4	2,7	17,2	1,70	14,4	< 2	289,4	113,56	0,001	0,120	0,06	0,14	0,23	1,2
PE-FU	7,5	311	24,1	31,8	10,8	23,8	5,6	5,1	0,77	4,0	< 2	206,9	115,66	0,003	0,165	0,10	0,07	0,14	1,8
PE-Q	7,5	368	25,3	57,2	7,7	19,6	0,9	3,1	1,65	6,4	< 2	255,1	76,90	0,002	0,072	1,55	0,16	0,17	0,2
CAPRE (1994)	6.5-8.5	400	30	100	30	≤ 200	10	250	10	250	nr	nr	nr	1,0	0,5	0,3	1,5	nr	
WHO (1996)	< 8	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	≤ 500	nr	nr	nr	1,0	1,5	0,3	1,5	0,5	
EPA (2000)	6.5-8.5	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	250	nr	nr	nr	1,0	nr	0,3	4	nr	
VAN(%)		40	0	20	0	0	0	0	20	0	nr	nr	nr	0	0	20	0	40	
MINIMA	7,0	253,0	24,1	27,3	6,1	17,0	0,9	2,3	1,0	4,0	0,0	154,7	76,9	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	
MAXIMA	7,5	925,0	26,2	122,0	26,9	50,4	5,6	96,8	10,5	22,5	0,0	436,6	115,7	0,0	0,2	1,6	0,2	0,2	
MEDIA	7,3	467,2	25,1	58,4	14,1	27,6	2,9	24,9	3,1	10,6	<2	268,5	98,8	0,0	0,1	0,5	0,1	0,2	

nr : no registrado VAN : Valor Arriba de la Norma BI: Balance Iónico

Cuadro 19. Resultados físico-químicos de Pozos Excavados, invierno 2004.

Código	pH	CE	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Fe T	F ⁻	B	BI
	Und	µS/cm	° C	mg/L															
PE-AR	7,2	240	28,8	35,3	1,2	19,5	2,1	2,2	1,04	6,5	<2	156,4	91,36	0,001	0,028	<0.04	0,23	0,15	1,4
PE-SOS	7,1	1085	26,6	132,4	36,8	47,0	3,6	104,8	10,04	27,5	<2	515,6	93,22	0,006	0,046	0,12	0,14	0,49	3,7
PE-AV	7,4	525	26,0	59,2	17,7	28,4	1,7	18,9	1,78	16,6	<2	307,6	101,26	0,001	0,144	0,04	0,17	0,22	3,0
PE-FU	7,5	321	24,8	31,7	10,3	21,0	5,3	4,7	0,75	5,4	<2	205,3	106,56	0,013	0,216	0,05	0,03	0,16	2,4
PE-Lag	7,7	164	24,3	15,6	7,3	10,6	1,1	3,2	0,37	4,7	<2	101,2	27,38	0,002	0,073	0,22	0,13	0,05	0,2
PE-Qui	7,9	339	25,3	46,7	8,0	16,4	1,0	3,4	1,69	7,4	<2	217,9	64,68	0,001	0,032	<0.04	0,13	0,15	2,8
CAPRE (1994)	6.5-8.5	400	30	100	30	≤ 200	10	250	10	250	nr	nr	nr	1,0	0,5	0,3	1,5	nr	
WHO (1996)	< 8	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	≤ 500	nr	nr	nr	1,0	1,5	0,3	1,5	0,5	
EPA (2000)	6.5-8.5	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	250	nr	nr	nr	1,0	nr	0,3	4	nr	
VAN(%)	0,0	50,0	0,0	16,7	16,7	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	nr	nr	nr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
MINIMA	7,1	164,0	24,3	15,6	1,2	10,6	1,0	2,2	0,0	4,7	0,0	101,2	27,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
MAXIMA	7,9	1085,0	28,8	132,4	36,8	47,0	5,3	104,8	0,0	27,5	0,0	515,6	106,6	0,0	0,2	0,2	0,2	0,5	
MEDIA	7,5	445,7	26,0	53,5	13,6	23,8	2,5	22,9	2,6	11,3	<2	250,7	80,7	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	

nr : no registrado VAN : Valor Arriba de la Norma BI: Balance Iónico

La calidad de agua para riego, basados en la relación de absorción de sodio, la conductividad eléctrica (Cuadro 17) y utilizando el diagrama para la clasificación de las aguas de riego (Figura 6). Se encontró que el 86% de las fuentes monitoreadas son aptas para el riego y el 14% son utilizables para el riego pero con precauciones.

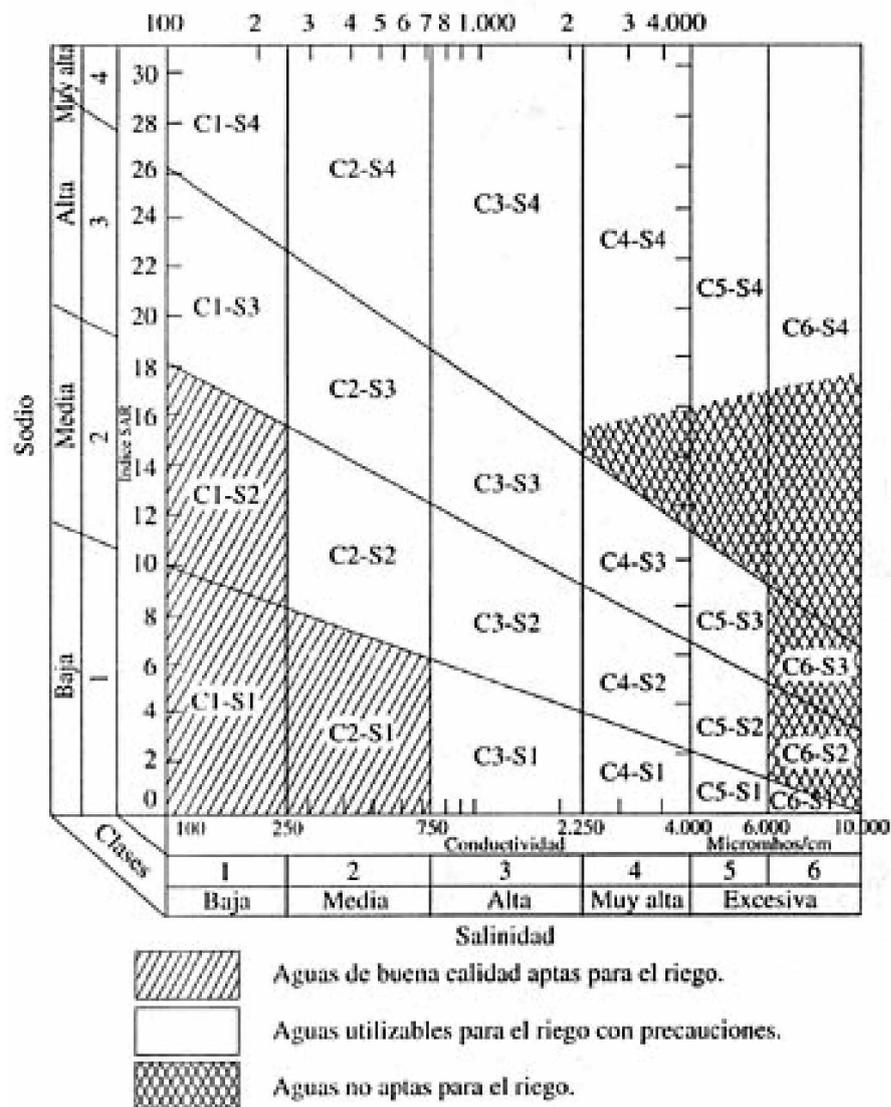


Figura 6. Normas de Americana Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego (U.S Soild Salinity Labratory)

Cuadro 20. Resultados físico-químicos de aguas superficiales y manantiales , verano 2004.

Código	pH	CE	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Fe T	F ⁻	B ⁺³	BI
	Und	µS/cm	° C	mg/L															
S-Ch	7,44	351	25,1	49,3	5,1	17,1	1,7	4,0	0,11	3,7	< 2	226,2	63,3	0,0012	0,05	2,04	0,04	0,03	3,4
S-SP	7,11	359	26,1	34,5	8,8	26,6	3,1	6,4	0,26	13,1	< 2	206,7	83,9	0,0009	0,06	< 0.04	0,15	< 0.02	3,3
S-R	7,72	245	25,2	23,8	9,6	12,5	1,6	3,4	0,07	2,0	<2	154,6	84,8	0,0332	0,51	0,12	0,05	0,02	2,5
S-Cy	7,23	434	24,8	41,2	18,2	23,2	3,7	6,8	0,16	17,1	<2	269,1	76,9	0,0015	0,04	0,06	0,06	0,08	3,6
R-Es	7,8	215	18,2	19,8	4,7	15,9	4,0	4,5	0,01	1,4	<2	129,0	67,9	0,0009	0,09	0,18	0,13	0,04	2,3
R-P	7,86	223	19,9	21,0	7,0	13,0	3,2	5,0	0,01	1,4	<2	133,2	69,2	0,0009	0,03	0,16	0,12	0,08	1,8
R-Por	8,22	224	24,4	18,2	9,1	14,3	3,4	5,3	0,01	1,3	<2	142,3	52,2	0,0009	0,04	0,64	0,15	0,07	2,9
R-EI	7,45	776	nr	46,7	13,7	57,5	15,8	38,8	0,01	7,7	<2	344,1	98,6	0,0146	26,53	0,44	1,06	0,07	4,0
R-EII	7,81	674	24,4	52,3	13,0	53,9	13,3	35,0	0,05	13,2	<2	280,7	94,5	0,1050	14,44	2,96	0,71	0,1	3,9
CAPRE (1994)	6.5-8.5	400	30	100	30	200	10	250	10	250	nr	nr	nr	1	0,5	0,3	1,5	nr	
WHO (1996)	< 8	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	500	nr	nr	nr	1	1,5	0,3	1,5	0,5	
EPA (2000)	6.5-8.5	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	250	nr	nr	nr	1	1,5	0,3	4	nr	
VAN(%)	0,0	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2	0,0	0,0	0,0				0,0	22,2	44,4	0,0	0,0	
MINIMA	7,1	215	18	18,2	4,7	12,5	1,6	3,4	0,0	1,3	0,0	129,0	52,2	0,001	0,03	0,06	0,04	0,02	
MAXIMA	8,2	776	26	52,3	18,2	57,5	15,8	38,8	0,3	17,1	0,0	344,1	98,6	0,105	26,53	2,96	1,06	0,10	
MEDIA	7,6	389	24	34,1	9,9	26,0	5,5	12,1	0,1	6,8	<2	209,5	76,8	0,018	4,64	0,83	0,27	0,06	

nr : no registrado VAN : Valor Arriba de la Norma BI: Balance Iónico

Cuadro 21. Resultados físico– químicos de aguas superficiales y manantiales, invierno 2004.

Código	pH	CE	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Fe T	F ⁻	B ⁺³	BI
	Und	µS/cm	° C	mg/L															
LL-SR	5,68	8,31	21,2	0,79	0,2	0,3	0,1	<0,2 5	0,26	1,1	<2	2,56	1,62	0,0100	0,201	0,04	<0,03	0,008	4,9
S-Ch	7,54	315,00	25,9	49,80	4,8	17,4	1,3	3,4	0,73	4,3	<2	217,84	141,15	<0,003	0,10	1,35	0,190	0,280	1,8
S-SP	7,15	394,00	24,9	40,04	10,3	30,3	3,8	8,6	0,96	30,9	<2	210,15	85,41	0,0130	0,02	0,17	0,140	0,160	1,8
S-Rev	7,67	231,00	21,2	21,80	9,6	15,6	1,3	4,6	0,34	3,6	<2	148,64	79,59	0,0160	0,07	11,71	0,130	0,080	1,4
S-Coy	7,21	421,00	23,6	40,89	17,8	24,3	3,7	6,5	0,73	16,3	<2	263,98	76,45	<0,003	0,09	0,05	0,060	0,160	2,1
R-Est	7,65	121,00	20,9	17,09	0,9	11,5	3,6	5,3	0,15	3,2	<2	71,08	56,11	0,0490	0,13	32,94	<0,03	0,100	4,5
R-Pin	7,73	151,00	20,9	14,67	4,6	10,1	5,0	6,4	0,40	4,6	<2	84,57	44,51	0,0390	0,04	6,65	<0,3	0,090	0,6
R-Por	7,84	235,00	27,3	18,26	3,5	12,7	4,7	5,9	0,05	4,2	<2	99,00	48,98	0,0200	0,12	4,44	0,180	0,080	0,2
R-EI	7,34	140,00	nr	12,68	3,4	11,9	5,0	6,1	0,66	8,7	<2	64,07	32,36	0,0720	1,02	30,45	<0,030	0,040	3,5
C-Dde	7,48	115,30	22,0	9,62	3,2	8,0	2,2	5,3	0,05	2,1	<2	52,54	46,80	0,0100	0,15	0,51	0,070	0,060	4,0
R-EII	7,32	207,00	24,4	19,47	4,7	13,1	6,0	9,5	0,51	11,7	<2	89,70	39,55	0,1680	2,35	8,00	<0,03	0,040	2,3
CAPRE (1994)	6.5-8.5	400	30	100	30	200	10	250	10	250	nr	nr	nr	1	0,5	0,3	1,5	nr	
WHO (1996)	< 8	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	500	nr	nr	nr	1	1,5	0,3	1,5	0,5	
EPA (2000)	6.5-8.5	400	nr	nr	nr	200	nr	250	10	250	nr	nr	nr	1	1,5	0,3	4	nr	
VAN(%)	0	9,091	0	0	0	0	22	0	0	0				0	9,1	72,7	0,0	0,0	
MINIMA	7,2	115,3	20,9	9,6	0,9	8,0	1,3	3,4	0,1	2,1	0,0	52,5	32,4	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	
MAXIMA	7,8	421,0	27,3	49,8	17,8	30,3	6,0	9,5	1,0	30,9	0,0	264,0	141,2	0,2	2,3	32,9	0,2	0,3	
MEDIA	7,5	233,0	23,5	24,4	6,3	15,5	3,7	6,2	0,5	9,0	<2	130,2	65,1	0,0	0,4	9,6	0,1	0,1	

nr : no registrado VAN : Valor Arriba de la Norma BI: Balance Iónico

4.2.4. Evaluación de la contaminación generada por actividad antrópica

La conservación de las aguas subterráneas en términos de calidad de agua, es una actividad prioritaria en el área ambiental por ser éstas la principal fuente de abastecimiento de agua para los diferentes usos. Sin dejar escapar que se requiere un manejo integrado de los recursos agua-suelo-bosque, y considerar todos los aspectos social-político-administrativos principalmente.

Por lo tanto, se deben tomar las medidas de control necesarias para proteger los recursos hídricos subterráneos de una zona.

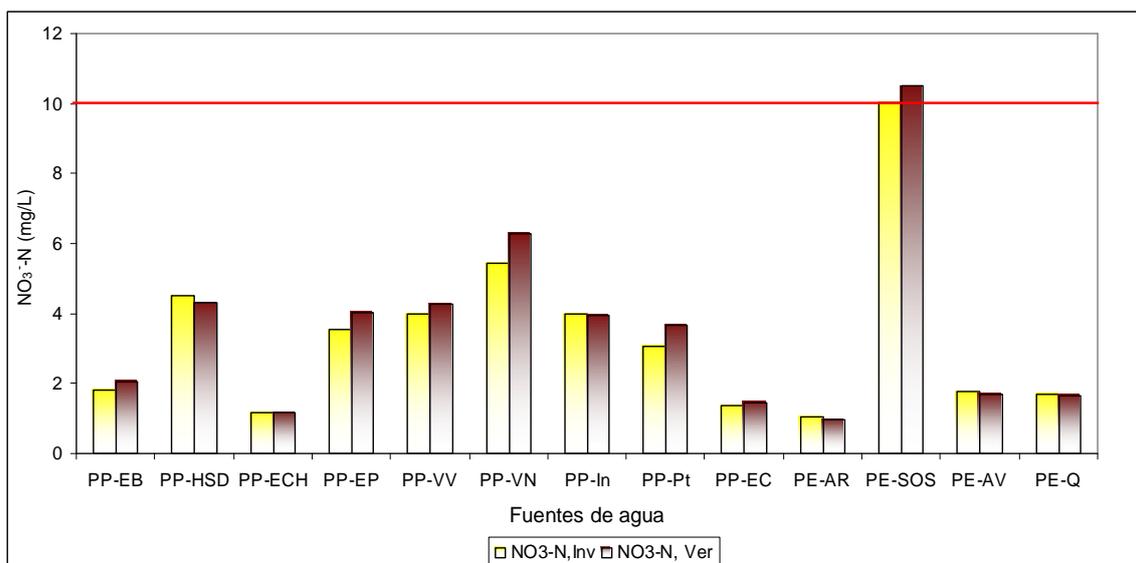
Los monitoreos de calidad de agua son una actividad muy importante en la evaluación de los impactos generados en los recursos subterráneos, por derrames de gasolineras, vertidos de aguas residuales e industriales, fugas de alcantarillado sanitario, letrificación, agricultura entre otras.

Los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo de calidad de agua, muestran que no existen rastros de contaminación marcados en las aguas subterráneas. Aunque, inicialmente se esperaba detectar presencia de algunos compuestos orgánicos e inorgánicos, debido a detección de posibles fuentes puntuales de contaminación como: la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de Tabaco en el sector norte de la ciudad, fugas de alcantarillado sanitario; ya que el sistema de alcantarillado sanitario data desde aproximadamente 1960, ausencia de alcantarillado en el sector este de la ciudad y vertidos de aguas residuales a ríos y cauces (Cuadros 15-16-18-19)

Sin embargo, se encontraron algunas fuentes que presentaron concentraciones de NO_3^- -N por arriba de los valores naturales (3 mg/L; Seller & Muesel, 1996), en las fuentes de monitoreo: PP-HSD, PP-EP, PP-VV, PP-VN, PP-SSII, PP-It , PP-Pt y PP-SP (Cuadros 16-17), sin embargo, estos valores no están por arriba de las normas de agua potable (CAPRE, 1994, WHO, 1996, EPA, 2000). Únicamente el

PE-SOS presentó concentraciones de NO_3^- -N (Gráfica 8) por arriba de los valores guías de agua potable.

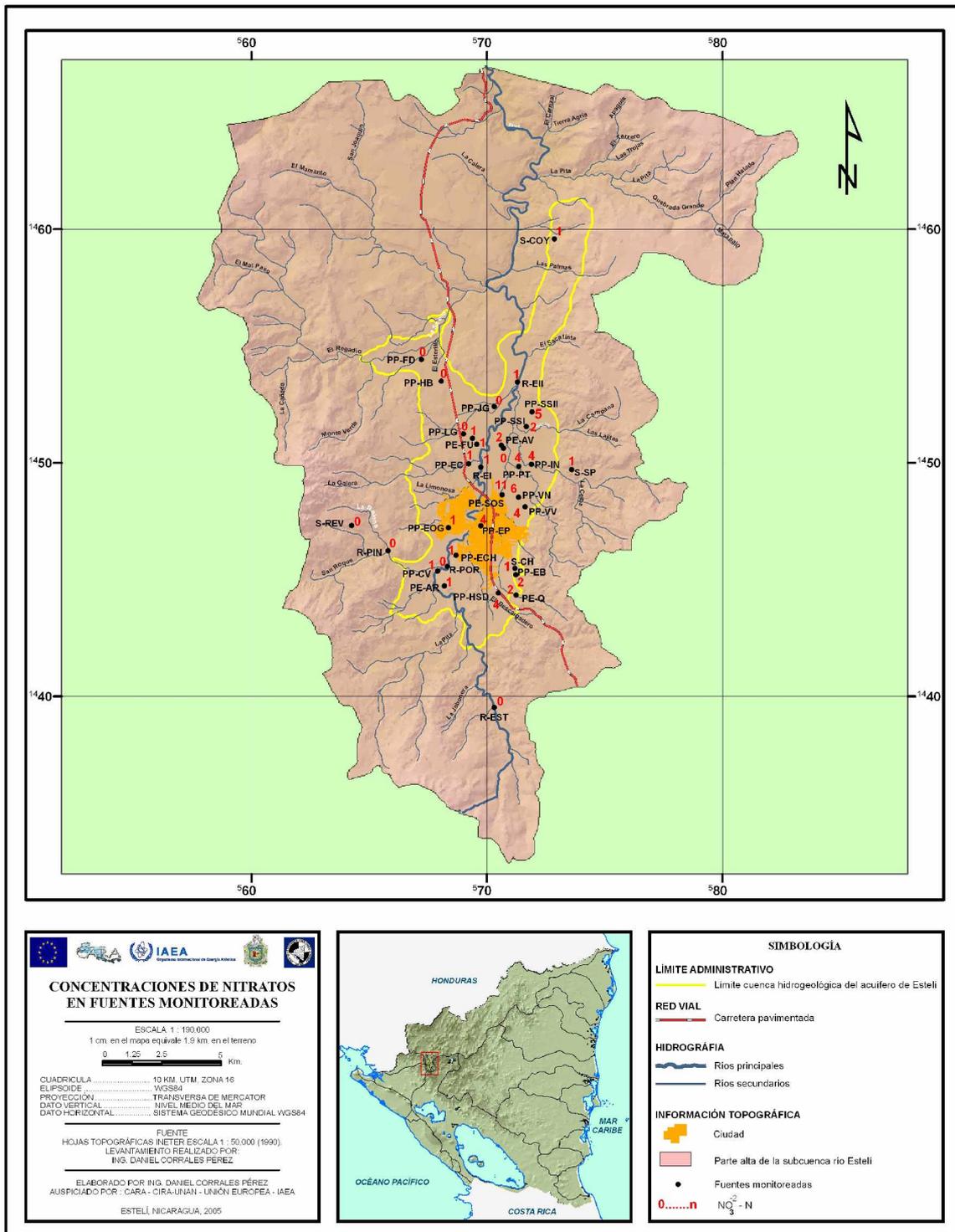
De manera general, se consideran como posibles fuentes de aporte de nitratos en dichos pozos en el orden descrito anteriormente, lo siguiente: lixiviados de compuestos orgánicos de depósitos del hospital, la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados (zona tabacalera). En el caso particular del PE-SOS, es debido posiblemente a la cercanía al cauce natural de Los Cedros, fuente puntual de contaminación donde se descargas los desechos orgánicos y aguas grises por la ausencia de alcantarillado sanitario en el sector este de la ciudad. Asimismo los aportes de letrinas y fosas sépticas ubicadas en éste sector.



Gráfica 11. Concentraciones de NO_3^- -N en pozos perforados y excavados

Con la existencia de éstas fuentes puntuales de contaminación mencionadas anteriormente, se debería-de esperar altas concentraciones de nitrato.

Estudio hidrogeológico del funcionamiento del acuífero de Estelí



Mapa 14. Concentraciones de $\text{NO}_3^- - \text{N}$ detectadas en fuentes del acuífero.

Las bajas concentraciones de compuestos nitrogenados de fuentes orgánicas e inorgánicas detectadas puede ser posiblemente, debido, a que con el fenómeno del huracán Mitch, los niveles de agua ascendieron hasta la superficie terrestre y las velocidades del flujo subterráneo se incrementaron, por lo tanto, dichos compuestos pudieron ser eliminados a través de la descarga del acuífero en esa época.

Asimismo, la baja carga de contaminante encontrada en el acuífero, debe ser probablemente también a que los contaminantes están siendo eliminados del acuífero a través de la descarga de las aguas subterráneas al río.

La contaminación del agua subterránea ocurre cuando los contaminantes se infiltran hasta el acuífero. Frecuentemente esto ocurre como consecuencia de la descarga descontrolada al suelo de efluentes. Los horizontes del suelo tienen capacidad de atenuar muchos, pero no todos los contaminantes del agua. Los procesos involucrados en esta atenuación continúan, pero en menor grado, a mayor profundidad en la zona no saturada y no saturada del acuífero.

En nuestro caso, los espesores de arcilla montmorillonita del orden de 70 cm de la superficie del suelo hacia la zona no saturada y la presencia de lentes de arcillas en el acuífero, posiblemente estén estar jugando un papel importante en la atenuación de la carga de contaminantes conjugados con el proceso de advección.

Otro factor importante que podría estar evitando a que los contaminantes lleguen al acuífero, es el hecho de la baja tasa de recarga local (Cuadro 13) según las características morfológicas de los horizontes de suelos, cobertura vegetal y el régimen pluviométrico del valle de Estelí (Tabla 4-5-6).

Finalmente los resultados de los análisis de calidad de agua, indican que no existe impacto negativo en el acuífero por la actividad agrícola y urbana ante la presencia

de posibles fuentes puntuales de contaminación que se mencionaron anteriormente.

La migración del agua y el transporte de los contaminantes desde el suelo hasta las aguas subterráneas tienden a ser un proceso lento en la mayoría de acuíferos. Esto significa que puede tomar muchos años, incluso décadas, antes que el impacto de las actividades antrópicas sea identificado en los suministros de aguas obtenidos desde el acuífero.

Por tanto, el hecho de no encontrar evidencias de contaminación en las fuentes monitoreadas, no quiere decir que el acuífero del valle de Estelí este libre de ser afectado por la carga de contaminantes, es un riesgo latente que éstos se encuentren posiblemente en la zona no saturada y estén cerca de llegar al acuífero.

4.3. Isótopos estables, valle de Estelí, 2004

4.3.1. Datos isotópicos de precipitación

Las muestras de lluvias colectadas en tres estaciones a alturas diferentes en el período de mayo a octubre de 2004, muestran una amplia variación en la composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$. Los rangos de $\delta^{18}\text{O}$ se encuentran desde -2.9 ‰ hasta -8.2 ‰ y los $\delta^2\text{H}$ de -12.2 hasta -57.8 ‰.

Estos datos se ajustan a la relación lineal $\delta^2\text{H} = 8.7 \delta^{18}\text{O} + 11.5$ que correspondería a línea meteórica local (Figura 7). Esta línea es muy parecida a la línea meteórica mundial (LMM) definida por Viena a través de la Red Global de Isótopos de la Precipitación (GNIP) formada por la Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), quienes tienen un banco de datos de la composición isotópica de las aguas meteóricas colectadas en sus estaciones desde principios de la década de 1960. También se utilizaron los datos de los registros de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de cada una de las estaciones localizadas en San Salvador, Costa Rica y Panamá, y los datos que mejor se

ajustaron de acuerdo a nuestros resultados locales fueron los datos de la estación Howard ubicada en el canal de Panamá.

Los promedios isotópicos ponderados de la precipitación para las distintas estaciones corresponde a Llano Redondo, San Roque y la Thompson, estos datos no muestran ninguna relación con la altura de precipitación (Figura 7-Cuadro 23).

El efecto de altitud en Nicaragua ha sido estudiado por Payne, B.R & Yurisever, Y (1973) en la zona del acuífero de León y Chinandega. Los resultados obtenidos en ese estudio mostraron una disminución de $\delta^{18}\text{O}$ de 0.26 ‰ por cada 100 de aumentos en la altitud, o sea que se encuentran precipitaciones mas negativas a cotas mas elevadas.

El comportamiento observado en la zona de Estelí puede deberse al origen y historia de las masas de aire que producen la precipitación en la zona de Estelí. Las masas pueden provenir del Atlántico y del Pacífico en distintas épocas de año. Es posible también que un año de datos no representen el comportamiento isotópico de la precipitación a largo plazo. Los datos de los manantiales deberían ser más representativos de la composición isotópica de la precipitación a largo plazo.

4.3.2. Composición isotópica de las fuentes

Los resultados de la composición isotópica del agua colectada en manantiales, pozos perforados, excavados y aguas superficiales en las campañas de muestreo de época seca y lluviosa, muestran que no existen diferencias significativas entre ambas campañas. La composición del agua de las diferentes fuentes monitoreadas presenta valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en el rango de -7.9 a -5.0 ‰ y -55.2 a -39‰ respectivamente (Cuadro 22).

Cuadro 22. Resultados de tritio e isótopos estables del agua, Estelí 2004.

Código Local	Altitud (m.s.n.m)	Estación de muestreo				
		verano		invierno		verano
		¹⁸ O(‰)	² H(‰)	¹⁸ O(‰)	² H(‰)	³ H (UT)
PP-ECH	862	-7,25	-51,69	-7,20	-51,65	0,20
PP-EOG	856	-7,50	-53,87	-7,49	-53,51	0,00
PP-EP	840	-7,18	-51,54	-7,18	-51,35	0,60
PP-VV	830	-7,13	-51,50	-7,04	-51,21	nspa
PP-VN	835	-6,89	-49,89	-7,14	-51,74	nspa
PP-Pt	826	-6,94	-50,05	-6,91	-51,27	nspa
PP-In	824	-6,97	-50,98	-6,99	-50,18	nspa
PP-AV	818	-7,28	-51,63	nc	nc	nspa
PP-EC	810	-7,23	-51,30	-7,22	-52,12	0,40
PP-LG	820	-7,38	-51,53	-7,40	-52,47	nspa
PP-SSI	821	-7,05	-51,11	nc	nc	nspa
PP-SSII	820	-7,26	-52,89	nc	nc	nspa
PP-SP	851	-7,07	-51,47	-7,01	-51,93	0,90
PP-FD	816	-7,48	-51,54	-7,48	-53,04	nspa
PP-Chil	990	-7,30	-52,43	-7,29	-52,93	nspa
PE-SOS	840	-7,02	-50,17	-6,90	-48,80	nspa
PE-Qui	870	-7,11	-51,18	-6,88	-48,66	nspa
PE-AR	853	-7,49	-53,83	-7,45	-52,25	nspa
PE-Pit	967	-7,54	-50,98	-7,52	-50,87	nspa
PE-Lag	1252	-6,02	-42,49	-5,22	-36,68	nspa
PE-Esq	1100	-7,51	-51,13	-7,90	-53,70	nspa
S-Rv	1020	-7,92	-55,19	-7,49	-50,96	0,90
S-Ch	880	-7,39	-52,50	-7,43	-53,37	nspa
S-SP	896	-7,42	-53,90	-6,87	-48,42	0,00
S-Cy	959	-7,76	-54,47	-7,86	-55,88	nspa
R-Pin	901	-6,78	-48,88	-6,69	-45,03	0,80
R-Vrs	835	-5,04	-38,99	-6,25	-41,52	nspa
R-PL	802	-6,33	-47,37	-6,47	-42,59	nspa
R-Est	1005	nspa	nspa	nspa	nspa	0,30

nc: no colectado nspa : no se selecciono para análisis

error analítico del ³H es ±0.2

4.3.2.1. Pozos perforado y excavados

Considerando las diferentes características hidráulicas particulares que presentan ambos tipos de pozos en cuanto a profundidad de perforación, protección del pozo, ubicación de rejillas principalmente y su ubicación a diferentes cotas (Mapa 10). No se presentaron diferencias isotópicas significativas en el agua subterránea

colectada en ambos tipos de pozos (Mapa 15). La excepción fue el pozo excavado PE-Lag que presentó valores enriquecidos de $\delta^{18}\text{O}$ de -6‰ y -5.2‰ en ambas épocas de muestreo, debido posiblemente que no se realizó una purga adecuada del pozo, por lo tanto, las muestras están alteradas por el efecto de evaporación.

Estos rangos mencionados anteriormente en aguas subterráneas en el área de estudio presentan un comportamiento similar a los datos obtenidos de las aguas subterráneas del valle de Sébaco que presentan un rango entre -5.03 hasta -7.8‰ . (Plata, A, 1988).

La composición del agua no varía mucho con la profundidad de muestreo. Este comportamiento puede ser posiblemente producto de la mezcla entre acuíferos más profundos y someros, partiendo que es un acuífero volcánico multicapas conformado por una superposición de estratos permeables por porosidad (arena y gravas alternantes con arcillas y limo) y estratos preferentemente permeables por grietas y fisuras (Basaltos, Dacitas e Ignimbritas), (Sequeira, L.1998).

4.3.2.2. Manantiales

Los valores isotópicos más empobrecidos del área de estudio se registraron en los manantiales (Cuadro 22 – Mapa 15), aunque el efecto de altitud (basado en los datos de precipitación) en la composición isotópica del agua, no es muy notorio en el presente estudio. Sin embargo, éste efecto pareciera observarse principalmente en los manantiales S-Rv y S-Coy, que se encuentran ubicados a mayores elevaciones (950 y 1020 m.s.n.m.) y que presentan valores de desviaciones de tanto por mil para $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de $(-7.9, -55.2\text{‰})$, $(-7.8, -55.2\text{‰})$.

En cambio los manantiales S-P y S-Ch están localizados a 835 y 896 m.s.n.m en la frontera del acuífero (altiplanicie sector este del valle) y tienen valores $(-7.4, -54\text{‰})$ y $(-7.4, -53\text{‰})$ iguales para $\delta^{18}\text{O}$ y ligeras diferencias para $\delta^2\text{H}$ respectivamente. Tomando en cuenta la mayor y menor elevación se tiene una diferencia de 155 m y 0.5‰ de $\delta^{18}\text{O}$

4.3.2.3. Aguas superficiales

Las aguas superficiales (R-Pin, R-PL, R-Vrs) presentaron los valores mas enriquecidos en comparación con las aguas subterráneas. Se registraron valores de $\delta^{18}\text{O}$ de -6.2 hasta 6.8 ‰, (Cuadro 22 – Mapa 15), la única muestra que se encuentra afectada por el efecto de evaporación fue la colectada en verano del R-Vrs con un valor de $\delta^{18}\text{O}$ de -5 ‰.

La evaporación es uno de los procesos físicos que experimenta el agua en las diferentes fases del ciclo hidrológico. Además es uno de los factores más importantes que influyen en la composición isotópica del agua, dado el fraccionamiento isotópico que ocurre entre las fase liquido – vapor de agua una vez se rompe el equilibrio isotópico. Debido a dicha evaporación, las concentraciones de las moléculas pesadas DHO ó $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ y H_2^{18}O aumentan en las aguas superficiales y los valores δ se desplazan hacia valores menos negativos.

Dadas las condiciones hidrológicas de la zona de estudio, el río es claramente alimentado en la cabecera por aguas subterráneas en el periodo de estiaje. El río cerca de la cabecera tiene una composición isótopica de -6.8 en ^{18}O que es similar durante el periodo de estiaje y el periodo húmedo. Esto sugiere que el acuífero descarga al río, tiene una composición isótopica cerca de -6.8 y para ^2H -48.9 ‰.

Evidencia de este acuífero se puede encontrar en el pozo excavado PE-Q que tiene una valor de $\delta^{18}\text{O}$ cercano a -7.0 ‰. Luego, el río tiende a valores mas enriquecidos a lo largo del cauce incluso en el periodo húmedo probablemente debido al efecto de evaporación. Los resultados obtenidos de la composición isotópica de los ríos al compararlos con los resultados del agua subterránea (Figura 7), sugieren que el río no estaría recargando al acuífero en el valle.

4.3.3. Sistema de recarga

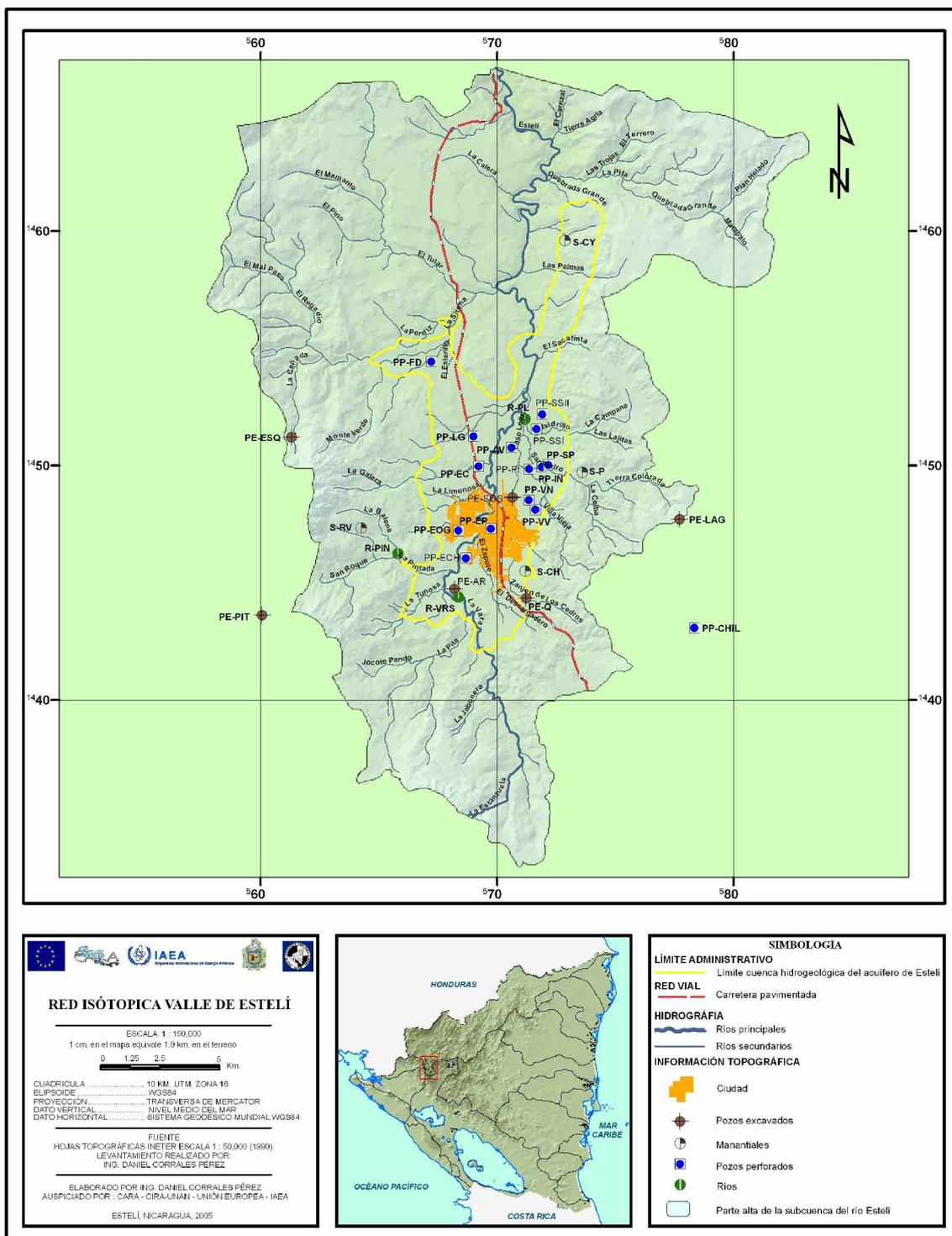
La determinación y delimitación de zonas de recarga es muy importante dentro del marco de una planificación estratégica de los recursos hídricos subterráneo de los acuíferos locales, regionales y transfronterizos.

Los resultados de la composición isotópica de las muestras de lluvias colectadas de las estaciones pluviométricas durante el invierno del 2004 en el valle de Estelí, muestran que no existe ninguna similitud o relación con los contenidos isotópicos ($\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$) de las aguas subterráneas colectada en pozos perforados y excavados de la red de monitoreo (Cuadro 22-23, Mapa 10).

Los datos de lluvia indican que una parte de la precipitación (valores mas enriquecidos que -5.0 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$, (Figura 7) no recargaría al acuífero. Los valores isotópicos de los manantiales, especialmente los localizados en la parte alta de área de estudio representan mejor la composición isotópica de agua que esta recargando al acuífero. Los pozos excavados en las Rocas Terciarias (PE-) ubicadas en los bordes del área de estudio parecería que están interceptando el acuífero ($\delta^{18}\text{O} = -7.5$ ‰; $\delta^2\text{H} = -52$ ‰) que descarga en los manantiales

Las aguas subterráneas muestran valores isotópicos en el rango de -6.9 y -7.5 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y de -50 y -54 ‰ para $\delta^2\text{H}$. Estos valores son muy parecidos a los valores isotópicos de los manantiales en la parte alta de la subcuenca y dado el comportamiento isotópico de los ríos, esto indicaría que el área de recarga principal del acuífero es la parte alta de las sierras que bordean el valle de Estelí.

Estudio hidrogeológico del funcionamiento del acuífero de Estelí



Mapa 15. Composición de ¹⁸O en fuentes monitoreadas.

Cuadro 23. Pesos promedios de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las precipitaciones, Estelí 2004.

Código	^{18}O	^2H	pp mensual.	pp anual	P. Prom.	P. Prom.	n
Local	(‰)	(‰)	mm	mm	^{18}O (‰)	D(‰)	
PP-LL-May	-8,2	-57,8	61,40	737,27	-5,07	-32,30	6,00
PP-LL-Jun	-5,6	-39,3	97,74		1,91	14,67	
PP-LL-Jul	-2,9	-17,2	176,97				
PP-LL-Agos	-5,0	-32,2	23,26				
PP-LL-Sep	-6,2	-39,2	294,90				
PP-LL-Oct	-3,0	-13,1	83,00				
PP-Sr-Abri	-3,0	-12,2	11,40	672,10	-5,53	-35,53	7,00
PP-Sr-May	-6,7	-47,7	77,60		1,60	15,27	
PP-Sr-Jun	-7,0	-52,5	75,60				
PP-Sr-Jul	-4,0	-22,4	139,00				
PP-Sr-Agos	-5,0	-32,6	55,10				
PP-Sr-Sep	-6,2	-38,9	268,00				
PP-Sr-Oct	-3,4	-16,3	45,40				
PP-Th-May	-7,8	-55,6	69,70	555,20	-5,66	-37,40	6,00
PP-Th-Jun	-6,6	-49,4	75,10		1,49	11,45	
PP-Th-Jul	-3,8	-25,6	69,80				
PP-Th-Agos	-6,5	-47,3	36,40				
PP-Th-Sep	-6,3	-40,7	174,20				
PP-Th-Oct	-3,95	-19,9	130,00				

P-LL: Llano Redondo, PP-Sr: San Roque, PP-Th: La Thompson:

4.3.4. Tiempo de residencia del agua subterránea

Es tritio es un isótopo radioactivo del hidrógeno, siendo su periodo de semidesintegración de 12,32 años. Después de su formación natural (en la alta atmósfera) o artificialmente (ensayos termonucleares o industriales) el tritio se oxida (HTO) y entra a formar parte del ciclo del agua. Su distribución en la precipitación esta condicionada por la latitud, proximidad al mar y distancia a fuentes artificiales o zonas de ensayos termonucleares. Estos factores, junto a su desintegración radioactiva, permiten utilizar los contenidos de tritio como indicadores de la presencia de aguas recientes en los acuíferos y determinar, bajo ciertas condiciones, zonas de recarga preferente.

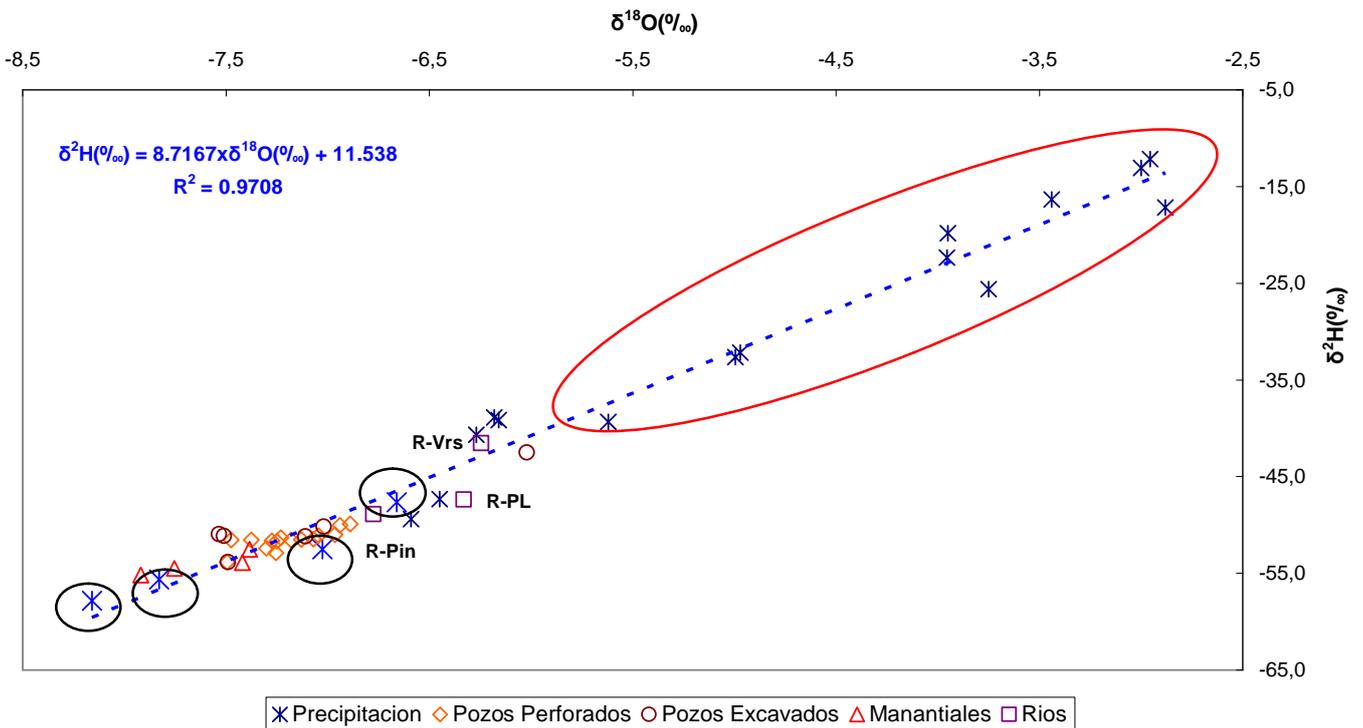


Figura 7. Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ de las fuentes monitoreadas, valle de Estelí 2004

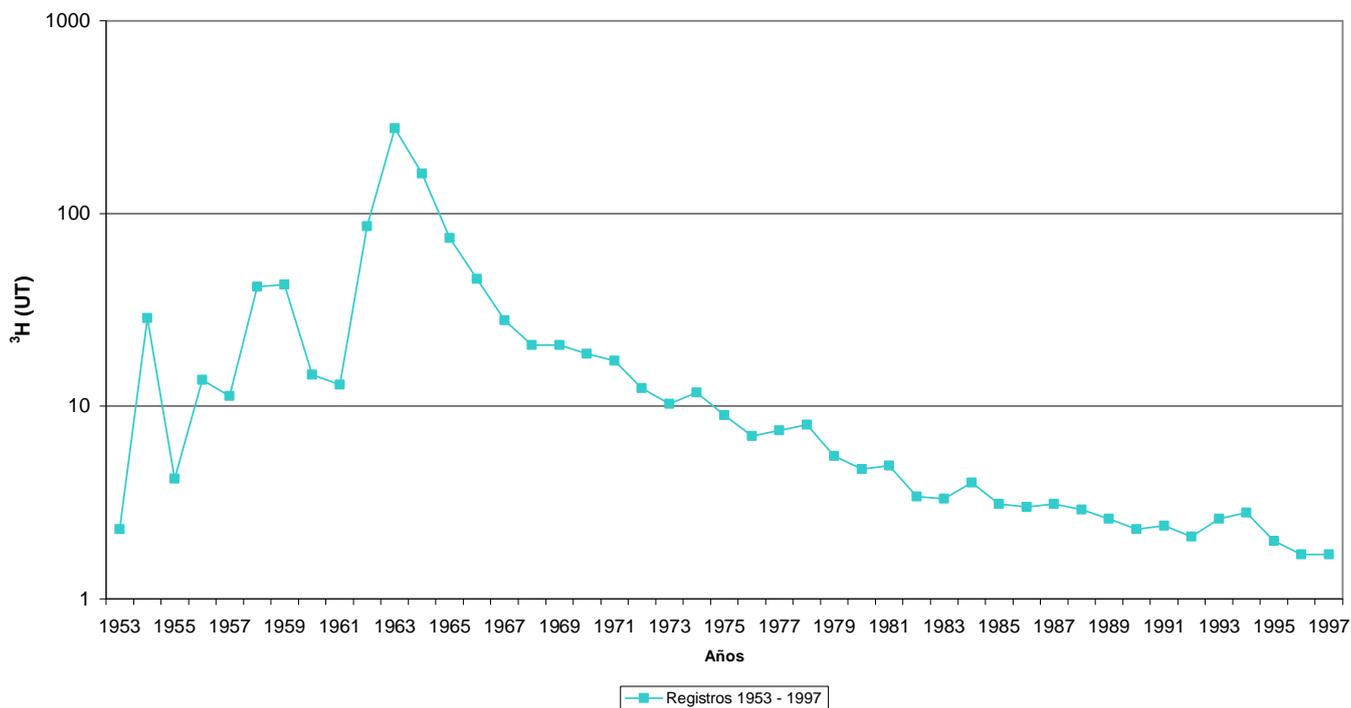
Con el objetivo de analizar los valores de concentración de tritio obtenido en el valle de Estelí, es necesario tener de referencia las concentraciones de las precipitaciones de la zona del estudio durante los últimos 52 años, considerando que las concentraciones de tritio comenzaron a incrementarse a partir de 1952. No existen datos directos sobre la concentración de tritio de las precipitaciones locales. Sin embargo, éstas pueden estimarse de datos obtenidos de las estaciones de la red OIEA-OMM principalmente las del Salvador, Costa Rica y Panamá

Cuadro 24. Concentraciones de tritio estimadas para las precipitaciones locales de los últimos años.

Año	Tritio (UT)	Año	Tritio (UT)	Año	Tritio (UT)
1953	2,30	1968,00	20,70	1983,00	3,30
1954	28,60	1969,00	20,80	1984,00	4,00
1955	4,20	1970,00	18,70	1985,00	3,10
1956	13,70	1971,00	17,20	1986,00	3,00
1957	11,30	1972,00	12,40	1987,00	3,10
1958	41,60	1973,00	10,30	1988,00	2,90
1959	42,70	1974,00	11,80	1989,00	2,60
1960	14,60	1975,00	9,00	1990,00	2,30
1961	12,90	1976,00	7,00	1991,00	2,40
1962	85,70	1977,00	7,50	1992,00	2,10
1963	277,20	1978,00	8,00	1993,00	2,60
1964	161,20	1979,00	5,50	1994,00	2,80
1965	74,60	1980,00	4,70	1995,00	2,00
1966	45,70	1981,00	4,90	1996,00	1,70
1967	27,90	1982,00	3,40	1997,00	1,70

Por lo tanto, se utilizarán los resultados de estimación, basado en los datos conocidos para una estación existente en El Salvador y en un modelo general válido para el Hemisferio Norte, (Plata, A. 1988), (Cuadro 24)

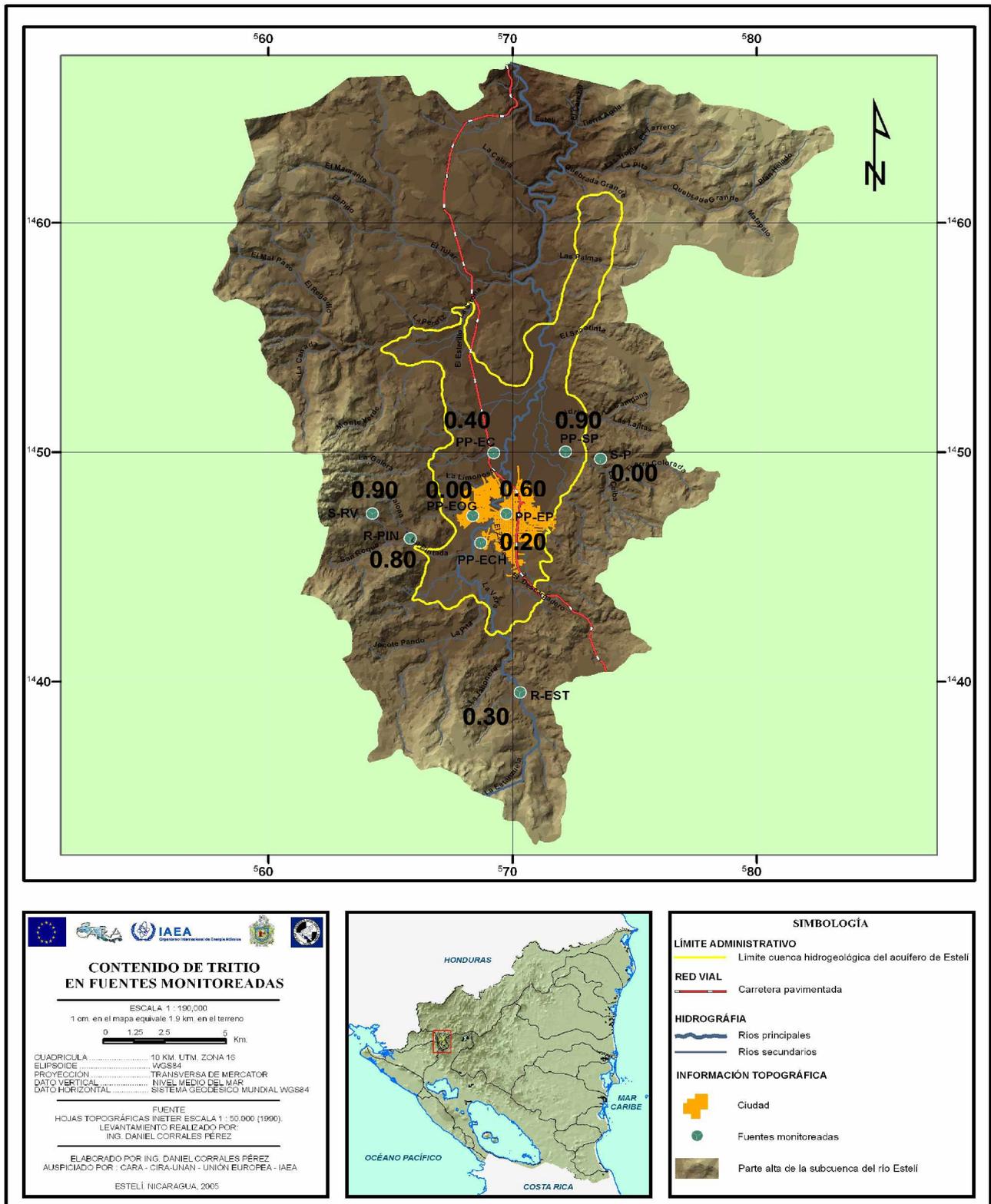
Los valores indican concentraciones medias anuales de las precipitaciones válidas para el año a que se refieren. Se observa en el cuadro 24 que estas concentraciones han sido desde el año 1956 han sido superiores a unas 2 UT, incluso una vez corregidas por desintegración radiactiva. Asimismo se observa en la gráfica 12 que a partir de 1963 hasta 1997 ha habido una disminución en las concentraciones de tritio. Sin embargo, en estudio realizado en el acuífero de León-Chinandega (IAEA-CIRA, 1999) se monitorearon muestras de precipitación obteniéndose valores de 10.5 a 1 UT con un error analítico de ± 0.5 a 1 UT. Por lo tanto, se supone que cualquier agua procedente de precipitaciones en la actualidad, deberían ser mayores de unas 2 UT. Aunque, para un mejor análisis de los datos de tritio obtenidos en el acuífero de Estelí se debería caracterizar las concentraciones de tritio en precipitaciones en el área de estudio.



Gráfica 12. Registros de concentraciones estimadas de tritio en el periodo de 1953-1997.

Los datos de tritio muestran valores menores que 1 UT en los distintos tipos de aguas analizadas en el estudio (Cuadro 22 – Mapa 16). Los valores mas altos fueron encontrados en los manantiales de las partes altas (0.9 y 0.8) y algo de tritio se encontró en el río Estelí (0.3 y 0.8) y aguas subterráneas (0.4 y 0.9). Prácticamente no se encontró tritio en algunas aguas subterráneas y un manantial en parte baja de la subcuenca.

De las ligeras diferencias entre las fuentes monitoreadas se puede afirmar que las concentraciones bajas de tritio muestran que los ríos son alimentados por aguas subterráneas. Además los bajos contenidos de tritio encontrados en los manantiales indican que estos son parte de la descarga regional del almacenamiento del acuífero. Asimismo los valores detectados de tritio en el acuífero representan que la recarga reciente no es significativa, posiblemente estas agua se infiltraron antes de 1952. Los valores de tritio encontrados en este



Mapa 16. Contenidos de tritio en fuentes monitoreadas.

estudio están en el rango de valores reportados en un estudio de hidrología isotópica del valle de Sébaco (Plata A, 1988), donde se detectaron concentraciones de tritio en el rango de 6.7 hasta 0 UT con un promedio de 2 UT .Por lo tanto, los resultados indicaron que el acuífero de Sébaco presentaba aguas modernas y aguas infiltradas con anterioridad a 1952.

V. CONCLUSIONES

- F En el acuífero no existe rebajamiento en los volúmenes de agua subterráneo, en relación a los principales períodos de recarga por precipitación (mayo – octubre) y descarga artificial (noviembre – abril). Ya que el descenso medio de 0.64 m, que es incurrido el acuífero en época seca; es recuperado al nivel en que se encontraba al finalizar la época lluviosa.

- F La disponibilidad potencial de agua del acuífero, resultante del balance hidrogeológico; es de 29.65 MMCA. Asimismo, de acuerdo a proyecciones de fallas regionales; el 68% de ingreso de agua en el acuífero, es debido, al ascenso de aguas profundas a través de fallas locales.

- F La dirección del flujo subterráneo es principalmente de sur al norte del valle de acuerdo a la topografía. Aunque el flujo en ambas épocas climáticas presenta un ligero cambio de suroeste a noreste por la influencia de los pozos de explotación municipal.

- F La profundidad de agua del acuífero, se encuentra desde los 5 m en el sector norte del valle (Paso León, La Thompson, Los Chilamates), hasta los 20 en el sector sur del valle (Sector Chácara, La Tunosa, Quiatillas). Aunque, es surgente en algunos sectores norte del valle y también existen lugares (San Pedro-Villa Vieja), donde el nivel de agua se encuentra hasta los 29 m y es por la influencia de conos de abatimientos.

- F La variación estacional de 44 cm en que es incurrido el acuífero, es debido al efecto de recarga de aguas profundas.

- F La relación hidráulica entre el río y el acuífero en época de estiaje, es de carácter influente en los ríos Estanzuela, Las Pintadas, Varas, Paso León, y el Estelí; con una descarga del flujo subterráneo de 7 a 38 l/seg.

- F El acuífero del valle de Estelí, presenta excelentes características hidráulicas; como lo reflejan transmisividades desde 40 hasta 10,371 m²/día, debido a que el acuífero se concentra en rocas fracturadas y materiales permeables (arenas, gravas y bolones).

- F El 67% de descarga artificial del acuífero, es debido al abastecimiento de agua potable y el 33% restante se atribuye al sector agrícola.

- F La recarga local de 30,365 m³/año, no tiene ningún efecto significativo en la recarga del acuífero, debido a las características de los perfiles de suelos y al régimen pluviométrico del valle, siendo de mayor relevancia la recarga artificial del orden de 620,000 m³/año.

- F La permeabilidad secundaria (fallas y fracturas) y las características morfológicas de los materiales volcánicos que predominan en las serranías que circundan el valle de Estelí (Mapa geológico), están influyendo en la recarga regional de 13.56 MMCA. Por lo tanto, esta recarga regional esta ejerciendo un efecto importante en la recarga actual del acuífero.

- F Existe una amplia variación en la composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en las aguas de lluvias, desde muestras enriquecidas hasta empobrecidas (Cuadro 23). Sin embargo, las precipitaciones no tienen ningún efecto en la recarga del acuífero. A excepción de las lluvias empobrecidas provenientes del mes de septiembre que presentan similar composición isotópica con las aguas subterráneas.

- F Solamente existe una zona de recarga por lluvia importante al acuífero y es la proveniente de las serranías que circundan el valle, ubicadas en la Reserva Tisey-Estanzuela, Mesas de Moropotente y el Quiabú.

- F La recarga reciente en el acuífero no es significativa ya que las aguas actuales del acuífero se infiltraron antes de 1952, aguas relativamente viejas.
- F El agua proveniente de los manantiales es descarga de agua del almacenamiento del acuífero, a través de fallas.
- F Las condiciones aeróbicas predominantes en el acuífero, están contribuyendo a que prevalezcan las reacciones de oxido reducción en el sistema acuífero., como lo indican la presencia de los iones NO_3^- -N, NH_4 y Fe total.
- F El carácter hidroquímico de las aguas monitoreadas es del tipo HCO_3^- - Ca^{+2} - Na^+ y HCO_3^- - Ca^{+2} - Mg^{+2} .
- F Desde el punto de vista de la calidad del agua físico-química, de todas las fuentes de aguas subterráneas monitoreadas cumplen con las normas de calidad para uso potable establecidas (CAPRE, 1994, WHO, 1996, EPA, 2000). A excepción del PE-SOS que no cumplen con las normas internacionales establecidas.
- F La calidad de las aguas superficiales ubicadas después de las descargas de aguas tratadas y crudas; provenientes de las lagunas de oxidación y rastro municipal, no cumplen con las normas o guías internacionales de calidad de agua para fines de protección de la vida acuática y estética.
- F El 86% de las fuentes monitoreadas son aptas para el riego y el 14% son utilizables para riego pero con precauciones.

F La contaminación por actividad agrícola y urbana ejercida sobre el valle de Estelí, no ha tenido ningún efecto negativo en la calidad del agua del acuífero, debido posiblemente a los siguientes factores:

- 1) Ascensos de los niveles de aguas del acuífero hasta la superficie terrestre tras el paso de huracán Mitch en 1998.
- 2) El carácter influente que presenta el acuífero con el río.
- 3) La atenuación por la presencia de arcillas en los primeros estratos superficiales del suelo y lentes de arcillas a nivel interior del acuífero.
- 4) Baja tasa de recarga local

VI. RECOMENDACIONES

- 1)** Monitoreos trimestrales permanentes de los niveles estáticos de agua del acuífero por un periodo indeterminado basados en la red de monitoreo establecida en el presente estudio e incluir los pozos de explotación de ENACAL–Estelí, con el objetivo de evaluar el comportamiento hidrodinámico del acuífero.
- 2)** Realizar estudio geofísico a detalle para determinar la profundidad del basamento hidrogeológico, características de fallas geológicas locales y la disponibilidad de agua almacenada en el acuífero.
- 3)** Efectuar un estudio hidrogeológico a detalle, en un área de 7 km² ubicada en sector noreste del valle (San Pedro, Paso León, La Thompson), con la finalidad determinar el potencial del acuífero en ésta área; para el futuro abastecimiento de la población de Estelí.
- 4)** Elaboración de perfil Conductividad, Oxígeno Disuelto y Temperatura (CDT) y análisis de isótopos estables en el pozo exploratorio de Las Porras.
- 5)** Realizar pruebas de bombeo simultáneamente con pozos de observación, en fuentes cercanas a zonas de fallas locales, con el objetivo de determinar el coeficiente de almacenamiento del acuífero y posteriormente la planificación adecuada del recurso hídrico.
- 6)** Monitoreo de tritio en las mismas fuentes donde se evaluó el trazador; pero en época de invierno e incluir otros pozos. Asimismo, incluir análisis para muestras de lluvias. También, monitorear Oxígeno-18 (¹⁸O) y Deuterio (²H) en aguas de precipitación durante un período de 3 a 5 años.

- 7) De acuerdo al desarrollo agrícola y urbano de la ciudad de Estelí; realizar un monitoreo de plaguicidas y microbiológico en los pozos de abastecimiento municipal y otras fuentes, para evaluar la contaminación agrícola y urbana.
- 8) Realizar una campaña de sensibilización mediante talleres, con todos los productores que habitan en la micro cuencas que circundan el valle, con énfasis a fomentar la protección de las fuentes subterráneas; utilizando como incentivos los programas de pagos por servicios ambientales.
- 9) Establecimientos de obras de conservación de suelos y aguas (barreras vivas, acequias, curvas a nivel, abonos verdes, agroforestería, reforestación, barreras muertas entre otras) en la parte alta de subcuenca del río Estelí para aumentar la recarga regional y local del acuífero.
- 10) Promoción de sistemas de riego por goteo y micro aspersion especialmente en el cultivo de tabaco para racionalizar el uso del agua. Ya que el método de riego utilizado no es el adecuado.
- 11) Formular ordenanzas municipales o normativas técnicas en cuanto a la explotación sostenible de los recursos hídricos subterráneos del valle de Estelí, con prioridad en el consumo de agua potable.
- 12) Realizar una coordinación interinstitucional con MARENA, Alcaldía Municipal de Estelí, ENACAL, Policía Nacional, INAFOR, Sociedad Civil, MAGFOR, ONGs y todas aquellas instituciones que velan por el manejo adecuado de los recursos naturales, para reorientar los planes de desarrollo económico, encaminados a la conservación y manejo sostenido de los recursos hídricos subterráneos del valle de Estelí.

- 13)** Promoción y divulgación de los resultados obtenidos en la investigación a través de medios de comunicaciones (radios, televisión, periódicos locales, tiraje de trípticos entre otros), talleres, conferencias, seminarios; con el objetivo de informar a la población del estado actual de las aguas subterráneas y hacer tomar conciencia sobre la protección del medio ambiente.

VII. REFERENCIAS

- 1) Arreglos regionales cooperativos para la promoción de la ciencia y la tecnología nucleares en América Latina y el Caribe. Proyecto (Arcal XXXI). Caracterización de los acuíferos para la gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos en áreas urbanas. Informe de Nicaragua. **Estudio isotópico y de la contaminación del Acuífero León – Chinandega, Nicaragua.**
- 2) Appelo y Postman, 1996. **Geochemistry, groundwater and pollution.** AA. Balkema-Rotterdam-brookfield, 1996.
- 3) Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica (CAPRE, 1994). **Normas de calidad del agua para consume humano.** Primera edición, Septiembre 1993.
- 4) **Diagnóstico de aguas de riego** (Apartado 3), Artículo Internet 2002. www.abcagro.com/riego/diagnostico_aguas2.asp-32K.
- 5) INETER, 2004. Dirección de Meteorología. Managua, Nicaragua.
- 6) INETER, 2004. Dirección de Hidrología. Managua, Nicaragua.
- 7) **Estudio de Prefactibilidad.** Ciudad Estelí, Sección EE.
- 8) Fenzl N. y Wezel F., 1985. **Clasificación hidrogeológica de las formaciones geológicas de Nicaragua.** Managua, Nicaragua, p. 48. Informe
- 9) González, 1993. **Diagnóstico del estado actual de los pozos que abastecen de agua potable a la ciudad de Estelí.** Managua, Febrero 1993.
- 10) Gurovich, L. 1985. **Fundamentos y diseño de sistema de riego.** Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (CIIA). Primera Edición, San José, Costa Rica. Capítulo 6. p. 143-168.
- 11) Hogdson V. G., 1983. **Generalidades de la geología de Nicaragua. Primer seminario de hidrogeología.** Asociación Nacional de Geólogos y Profesionales Afines. CONAPRO “Héroes y Mártires”. Managua, J. R., Nicaragua. Noviembre. p. 7-15. Informe.
- 12) Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (INAA, 1981). **Análisis de las condiciones hidrogeológicas para el uso de agua subterránea como fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Estelí.** Sección de Hidrogeología, Mayo, 1981.

- 13) Instituto Geológico y Minero de España, 2002. **Isótopos Ambientales en el ciclo hidrológico. Principios y aplicaciones.** Guías y manuales N° 1. Mook, G.
- 14) IAEA-CIRA, 1999. **Estudio isótopico y de la contaminación del acuífero León-Chinandega, Nicaragua.** Proyecto Caracterización de los acuíferos para la gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos en áreas urbanas.
- 15) Köppen, W., Geiger, R., 1928. Köppen-Geiger **Map of World Climates**
- 16) Mangano, F. 2002. **Estudio preliminar de los recursos hídricos actuales de los Municipios de Estelí y Ocotal e individualización de las fuentes alternativas, con nivel temporal al año 2020.** PRRAC N°N/SE/01/039. Estelí, 2002.
- 17) Mangano, F. 2002. Informe Final de Misión del experto de corto plazo en hidrogeología e hidrología, Septiembre 2002. PRIESO
- 18) Ministerio Agropecuario y Forestal (MAG-FOR, 2000). **Manejo integrado de cuencas hidrográficas de la región de las Segovias.** Dirección de estudios territoriales. Mayo 2000.
- 19) Mejia et, al. 1981. **Análisis de las Condiciones Hidrogeológicas para el uso de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Estelí.** Sección de Hidrogeología. División de estudios y Construcciones, Mayo, 1981.
- 20) Plata, A. 1984. **Hidrología isotópica del acuífero aluvial del valle de Sébaco.** Proyecto Nic/8/002. Sección de hidrología isotópica. Informe final, Julio 1988.OIEA.
- 21) Payne, B.R & Yurtsever, Y, 1973. **Environmental Isotopes as a Hydrogeological Tool in Nicaragua.** Departament of Research and Isotopes, OIEA;Vienna,Austria.
- 22) Resumen ejecutivo. **Situación Actual de la Recolección y Tratamiento de los desechos sólidos en la ciudad de Estelí,** Septiembre 2000.
- 23) Sequeira, L. 1998. **Estudio geofísico del acuífero del Valle de Estelí.** Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, Instituto de Geofísica.
- 24) Universidad de Costa Rica, (UCR, 2000). **Revista geológica de América Central. N° 23.** Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Diciembre 2000.

- 25) **Summary of Guidelines for Canadian Drinking Water Quality**. Prepared by the Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water. April 2002. www.hc-sc.gcca/waterquality).

VIII. ANEXOS

Tabla 1. Datos in situ de fuentes monitoreadas para análisis de isótopos estables, verano 2004.

Sitio de muestreo	Código	Coordenadas		Altitud	Fecha	CE	T°	pH	Alcalinidad
		oeste	norte	m.s.n.m.		υS/cm	C	und	mg/L
B° La Chiriza	PP-ECH	862158	130450	959	11-3-04	292,00	27,70	7,26	91,00
B° Oscar Gámez	PP-EOG	862209	130529	946	11-3-04	256,00	28,00	7,07	68,00
Cerro Esquiriri	PE-Esq	862647	130748	1100	27-3-04	512,00	25,00	6,70	90,00
El Coyolito	S-Coy	861941	131214	959	10-3-04	417,00	24,80	7,05	126,00
El Jícara	PP-FD	862247	130924	807	16-4-04	248,00	27,50	6,57	93,00
El Pital	PE-Pit	862644	130332	1001	26-3-04	232,00	20,80	7,08	78,00
La Cabaña	PP-EC	862141	130658	863	11-3-04	303,00	27,50	7,25	59,50
La Chácara	S-Ch	862036	130432	1124	11-3-04	321,00	26,80	7,24	101,00
La Thompson	PP-LG	862141	130739	880	11-3-04	322,00	31,00	7,40	86,00
Las Lagunas	PE-Lag	861652	130553	1263	27-3-04	221,00	22,00	6,90	100,00
Las Limas	PP-AV	862055	130723	820	15-4-04	334,00	29,50	7,24	127,00
Las Pintadas	R-Pin	862336	130457	850	10-3-04	187,60	26,00	7,68	45,00
Las Quiatillas	PE-Qui	862035	130355	897	16-4-04	414,00	26,50	7,21	148,00
Las Reventasonas	S-Rev	862422	130531	1020	10-3-04	262,00	26,30	7,47	55,00
Los Chilamates	PP-Chil	861639	130313	1232	25-3-04	609,00	26,40	7,28	85,00
Parque Central	PP-EP	862124	130532	931	11-3-04	458,00	27,00	6,96	458,00
Paso Ancho	PE-AR	862215	130407	865	12-3-04	247,00	26,50	7,00	247,00
Paso León	R-PL	862035	130809	840	12-3-04	635,00	26,70	7,62	153,00
Rio Estanzuela	R-Est	862102	130103	948	26-2-04	168,70	24,00	6,94	49,00
San Pedro	PP-Pte	862030	130654	828	15-4-04	482,00	27,80	6,55	154,00
San Pedro	PP-Int	861953	130645	835	15-4-04	415,00	28,00	6,49	138,00
San Pedro	PP-SP	862011	130705	838	3-5-04	389,00	26,00	7,06	110,00
San Pedro	S-SP	862148	130739	946	1-5-04	330,00	25,60	7,08	127,00
San Sebastian I	PP-SSI	862026	130801	821	23-4-04	464,00	27,00	7,16	101,00
San Sebastian II	PP-SSII	862015	130811	820	23-4-04	468,00	27,80	6,92	93,00
Villa Nueva	PP-VN	862031	130611	835	15-4-04	446,00	28,00	6,38	161,00
Villa Vieja	PP-VV	862021	130557	810	15-4-04	520,00	27,00	6,63	101,00

Tabla 2. Datos in situ de fuentes monitoreadas para análisis de isótopos estables, invierno 2004

Sitio de muestreo	Código	Coordenadas		Altitud	Fecha	CE	T°	pH	Alcalinidad
		oeste	norte	m.s.n.m		υS/cm	C	und	mg/L
Aldea SOS	PE-SOS	862054	130615	840	23-9-04	1090,00	27,80	6,83	355,00
Barrio La Chiriza	PP-ECH	862158	130450	862	20-9-04	293,00	28,70	7,17	128,00
Barrio Oscar Gámez	PP-EOG	862209	130529	856	20-9-04	249,00	27,00	7,02	122,00
Cerro Esquiriri	PE-Esq	862647	130748	1100	11-10-04	104,00	25,00	7,00	60,00
El Coyolito	S-Coy	861941	131214	959	22-9-04	427,00	24,00	6,92	115,00
El Júcaro	PP-FD	862247	130924	816	23-9-04	233,00	26,30	7,14	43,00
El Pital	PE-Pit	862644	130332	967	21-9-04	254,00	23,70	6,44	8,00
La Cabaña	PP-EC	862141	130658	815	21-9-04	308,00	28,00	6,55	42,00
La Chácara	S-Ch	862036	130432	880	20-9-04	328,00	26,70	7,22	62,00
La Thompson	PP-LG	862141	130739	820	23-9-04	298,00	31,60	7,29	135,00
Las Lagunas	PE-Lag	861652	130553	1252	23-9-04	170,00	22,50	7,11	20,00
Las Pintadas	R-Pin	862336	130457	901	21-9-04	155,50	23,00	7,29	43,00
Las Quiatillas	PE-Qui	862035	130355	870	23-9-04	348,00	26,20	7,40	122,00
Las Reventasonas	S-Rev	862422	130531	1000	21-9-04	239,00	25,00	7,39	84,00
Los Chilamates	PP-Chil	861639	130313	990	10-10-04	440,00	25,00	7,05	100,00
Parque Central	PP-EP	862124	130532	840	20-9-04	443,00	28,00	6,83	138,00
Paso Ancho	PE-AR	862215	130407	889	20-9-04	250,00	27,00	6,81	28,00
Paso León	R-PL	862035	130809	802	22-9-04	379,00	23,50	7,22	30,00
río Estanzuela	R-Est	862102	130103	1005	20-9-04	124,80	20,20	7,39	10,00
San Pedro	PP-Pt	862030	130654	826	22-9-04	445,00	27,00	6,70	154,00
San Pedro	PP-Int	861953	130645	824	22-9-04	403,00	26,50	6,69	146,00
San Pedro	PP-SP	862011	130705	851	23-9-04	361,00	28,00	6,74	114,00
San Pedro	S-SP	862148	130739	896	23-9-04	354,00	28,30	6,78	132,00
Villa Nueva	PP-VN	862031	130611	835	21-9-04	404,00	28,50	6,75	76,00
Villa Vieja	PP-VV	862021	130557	847	21-9-04	504,00	26,50	6,72	144,00
Paso Ancho	R-Vrs	862210	130356	835	22-9-04	157,50	29,00	7,27	25,00

Tabla 3. Datos in situ de muestras de lluvia, colectadas en él 2004.

Sitio de muestreo	Código	Coordenadas		Altitud m.s.n.m.	Fecha	CE	T°	pH	Alcalinidad
		oeste	norte			µS/c	C	und	mg/L
San Roque	Pp-Sr-May	862348	130405	974	15-5-04	20,00	23,00	7,00	25,00
San Roque	Pp-Sr-Jun	862349	130406	974	15-6-04	25,80	24,30	6,86	38,00
San Roque	Pp-Sr-Jul	862350	130407	974	15-7-04	30,00	25,00	6,90	24,00
San Roque	Pp-Sr-Agos	862351	130408	974	15-8-04	17,00	24,00	7,02	27,00
San Roque	Pp-Sr-Sep	862352	130409	974	15-9-04	18,60	22,00	6,61	1,00
San Roque	Pp-Sr-Oct	862353	130410	974	15-10-04	12,00	26,00	6,30	10,00
Llano Redondo	Pp-LL-May	861841	130221	1200	15-5-04	20,00	24,00	6,50	12,00
Llano Redondo	Pp-LL-Jun	861842	130222	1200	15-6-04	19,00	26,00	6,89	11,00
Llano Redondo	Pp-LL-Jul	861843	130223	1200	15-7-04	21,00	25,40	7,03	10,00
Llano Redondo	Pp-LL-Agos	861844	130224	1200	15-8-04	35,00	24,50	6,91	19,00
Llano Redondo	Pp-LL-Sep	861845	130225	1200	15-9-04	40,00	25,00	7,00	15,00
Llano Redondo	Pp-LL-Oct	861846	130226	1200	15-10-04	11,00	27,00	6,50	12,00
La Thompson	Pp-Th-May	862137	130727	820	15-5-04	28,00	23,30	6,88	8,00
La Thompson	Pp-Th-Jun	862138	130728	820	15-6-04	19,50	24,80	7,07	16,00
La Thompson	Pp-Th-Jul	862139	130729	820	15-7-04	30,00	25,30	7,01	20,00
La Thompson	Pp-Th-Agos	862140	130730	820	15-8-04	42,00	24,80	6,70	31,00
La Thompson	Pp-Th-Sep	862141	130731	820	15-9-04	34,00	24,20	6,80	22,00
La Thompson	Pp-Th-Oct	862142	130732	820	15-10-04	15,00	27,00	6,30	15,00

Tabla 4. Registros pluviométricos de las estaciones, 2004.

Estación: San Roque 1445140N/ 563174E Elevación: 920 m.s.n.m

Día	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	0,0	0,0	0,0	4,0	1,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	1,2	0,0	0,0	0,0	3,0	4,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	2,2	2,3	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	17,0	0,0	12,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	3,1	3,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	3,0	4,1	8,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
10	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,2	0,0	0,0	8,0	0,0	1,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	2,0	1,1	3,0	4,0	5,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	0,0	49,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	7,2	0,0	0,0	1,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,4	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	7,0	1,2	14,2	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	5,1	0,0	17,1	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	1,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	20,4	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,3	0,0	6,2	0,0	0,0	2,1	3,4	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	0,0	5,0	10,0	17,4	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	1,0	0,0	3,4	16,4	8,1	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0	9,4	10,0	10,3	1,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	6,4	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	1,1	11,4	0,0	15,2	2,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	7,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	6,3	5,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	14,4	0,0
29	0,0	0,0	9,2	0,0	0,0	12,4	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	0,0	8,0	1,1	0,0	0,0
31	0,0		0,0	0,0	0,0		1,0	0,0		0,0		0,0
Total	1,0	0,0	11,8	11,4	77,6	75,6	139,2	55,1	268,0	45,4	34,7	1,0
Max	1,0	0,0	9,2	11,4	19,0	19,2	61,4	10,0	49,0	8,1	14,4	1,0
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 5. Registros pluviométricos de las estaciones, 2004.

Estación: Llano Redondo 1441478 N/ 574671E Elevación: 1232 m.s.n.m.

Día	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	1,2	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,3	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	0,0	3,4	31,1	0,0	0,0
9	1,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	3,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	11,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	19,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	11,0	0,0	16,3	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	15,8	0,1	24,0	8,6	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	25,4	7,2	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	1,0	0,0	0,6	29,6	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	0,0	7,0	0,0	17,2	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	0,6	0,0	2,0	28,3	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	12,8	9,4	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	11,0	86,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	24,8	7,2	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,4	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	9,4	0,2	0,0	6,2	0,0	7,8	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	19,2	0,0	0,0	0,0
30	0,0		6,0	0,0	0,0	18,6	0,3	1,0	3,8	0,0	0,0	0,0
31	0,0				0,0		0,0	0,0		0,0		0,0
Total	1,0	1,8	6,0	2,4	61,4	97,7	177,0	23,3	294,9	83,0	21,2	0,0
Max	1,0	1,8	6,0	2,4	10,6	24,8	86,0	14,0	36,4	31,1	7,8	0,0
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 6.Registros pluviométricos de las estaciones, 2004.

Estación: La Thompson 1450798 N/ 569568 E Elevación: 820 m.s.n.m.

Día	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	5,2	0,0	13,8	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	10,8	24,8	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	24,2	18,8	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	17,8	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	10,6	0,0	0,0
11	1,0	0,0	0,0	0,0	2,6	7,8	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	20,8	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	8,2	50,6	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	7,2	4,8	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	37,8	0,0	0,0	0,0	2,4	25,2	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	20,2	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	7,4	20,4	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	3,2	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	14,2	0,0	0,0	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0		0,0	0,0			26,6			0,0	0,0	0,0
Total	2,0	0,0	14,2	0,0	69,7	75,1	69,8	36,4	174,2	130,2	26,0	0,0
Max	2,0	0,0	14,2	0,0	37,8	21,2	26,6	8,2	50,6	25,2	13,8	0,0
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 7. Datos obtenidos in situ, campaña de muestreo de verano, 2004.

Parámetros de Campo	Lugar							
	Paso León	Las Limas	Villa Vieja	Villa Nueva	San Pedro	San Pedro	Paso León	Paso León
Coordenadas								
N	1452408	1450759	1448118	1448524	1449852	1449935	1451559	1452187
E	570309	570605	571623	571339	571353	571887	571670	571909
Elevación (m.s.n.m.)	803	818	840	835	828	835	821	820
Fecha	12-mar-04	12-mar-04	14-abr-04	14-abr-04	14-abr-04	14-abr-04	14-abr-04	14-abr-04
Hora	11:45 AM	12:10 md	7:40 AM	8:00 AM	8:20 AM	8:40 AM	9:40 AM	10:00 AM
Código de la muestra	PP-JG	PP-AV	PP-VV	PP-VN	PP-Pt	PP-In	PP-SSI	PP-SSII
pH (und. pH)	7,43	7,24	6,63	6,38	6,36	6,41	7,16	6,92
T° de pH (°C)	25,00	25,00	26,00	26,00	26,00	25,00	26,00	26,00
Conductividad (µS/cm)	295,00	334,00	520,00	440,00	480,00	427,00	464,00	468,00
T° de Conductividad (°C)	26,20	29,70	25,90	26,20	26,30	25,40	26,10	26,00
% de Salinidad (‰)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Potencial Redox (mV)	278,30	277,90	262,90	290,80	288,80	270,50	250,20	251,50
Alcalinidad a la fenoltaleína (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcalinidad Total (mg/L)	99,00	127,00	101,00	161,00	154,00	138,00	101,00	93p
Oxígeno Disuelto (mg/L)	12,00	6,00	6,50	5,00	5,00	6,60	7,00	5,60
Valores in situ	El Jicaro	Estelí	La Thompson	Las Lajas	Paso León	El Higo	Las Quiatillas	La Thompson
Coordenadas								
N	1453494	1445209	1450798	1448632	1450633	1445361	1444341	1451045
E	568063	571222	569568	570640	570707	567907	571232	569384
Elevación (m.s.n.m)	825	876	833	791	789	864	897	818
Fecha	14-abr-04	14-abr-04	14-abr-04	15-abr-04	15-abr-04	15-abr-04	16-abr-04	16-abr-04
Hora	11:30 AM	1:20 PM	4:00 PM	8:00 AM	2:00pm	4:00 PM	2:30 PM	9:00 AM
Código de la muestra	PP-HB	PP-EB	PP-FU	PE-SOS	PE-AV	PP-CV	PE-Q	PE-FU
pH (und. pH)	6,74	6,79	6,53	6,61	7,00	6,58	7,21	6,81
T° de pH (°C)	31,00	27,00	26,00	25,00	27,00	26,00	26,00	24,00
Conductividad (µS/cm)	314,00	421,00	312,00	979,00	510,00	292,00	414,00	326,00
T° de Conductividad (°C)	31,70	26,50	26,40	24,70	26,20	25,70	25,30	24,10
% de Salinidad (‰)	0,10	0,20	0,10	0,50	0,20	0,10	0,20	0,20
Potencial Redox (mV)	250,30	257,10	247,60	274,60	247,90	271,10	240,30	337,60
Alcalinidad a la fenoltaleína (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcalinidad Total (mg/L)	100,00	105,00	144,00	265,00	177,00	97,00	148,00	144,00
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,70	5,20	6,20	5,60	6,30	5,40	7,00	5,30

Tabla 8. Datos obtenidos in situ en campaña de muestreo de verano, 2004.

Parámetro de Campo	Lugar								
Valores in situ	Pintadas	Reventasonas	Porvenir	Coyolito	Thompson	Paso León	Estanzuela	Chácara	El Jicaro
Coordenadas									
N	1446229	1447323	1445554	1459592	1449820	1453466	1439520	1445484	1454430
E	565803	564254	568319	572861	569738	571297	570308	571191	567212
Elevación (m.s.n.m.)	850	1020	867	959	851	840	948	957	807
Fecha	10-mar-04	10-mar-04	10-mar-04	10-mar-04	10-mar-04	10-mar-04	10-mar-04	11-mar-04	16-abr-04
Hora	7:37 AM	9:10 AM	11:17a.m	3:50 AM	1:10 PM	2:20 PM	5:50 AM	4:20 PM	10:00 AM
Código de la muestra	R-Pin	S-Rev	R-Por	S-Coy	R-EI	R-EII	R-Est	S-Ch	PP-FD
pH (und. pH)	7,68	7,47	7,85	7,05	nc	7,62	6,94	7,24	6,57
Tº de pH (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00	nc	25,00	25,00	25,00	27,00
Conductividad (µS/cm)	187,60	262,00	209,00	417,00	nc	635,00	168,70	321,00	248,00
Tº de Conductividad (°C)	19,90	25,20	24,40	24,80	nc	24,40	18,20	25,10	27,40
% de Salinidad (‰)	0,10	0,10	0,10	0,20	nc	0,30	0,10	0,20	0,10
Potencial Redox (mV)	256,70	247,50	280,80	259,00	nc	327,50	249,00	312,00	284,80
Alcalinidad a la fenoltaleína (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	nc	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcalinidad Total (mg/L)	45,00	55,00	64,00	126,00	nc	153,00	49,00	101,00	93,00
Oxígeno Disuelto (mg/L)	8,00	7,60	8,20	7,40	nc	8,50	6,00	2,00	7,60
Lugar	El Parque	Oscar Gamez	Chiriza	Cabaña	Thompson	Sn Pedro	Paso Ancho	Hospital Sn Juan	
Coordenadas									
N	1447306	1447223	1446036	1449966	1451237	1449710	1444723	1444425	
E	569737	568359	568691	569215	569006	573603	568197	570487	
Elevación (m.s.n.m.)	931	946	959	863	880	946	861	876	
Fecha	11-mar-04	11-mar-04	11-mar-04	11-mar-04	11-mar-04	11-mar-04	11-mar-04	12-mar-04	
Hora	2:00PM	2:40 PM	3:00 PM	10:40 AM	11:20 AM	1:20 AM	8:30 AM	10:01 AM	
Código de la muestra	PP-EP	PP-EOG	PP-ECH	PP-EC	PP-LG	S-SP	PE-AR	PP-HSD	
pH (und. pH)	6,96	7,07	7,26	7,25	7,40	7,08	7,00	7,50	
Tº de pH (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	
Conductividad (µS/cm)	458,00	256,00	292,00	303,00	322,00	330,00	247,00	572,00	
Tº de Conductividad (°C)	26,70	27,80	27,30	27,10	30,80	26,10	25,30	28,20	
% de Salinidad (‰)	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,30	
Potencial Redox (mV)	258,40	627,90	399,40	275,00	283,80	265,30	272,60	288,80	
Alcalinidad a la fenoltaleína (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Alcalinidad Total (mg/L)	110,50	68,00	91,00	59,50	86,00	82,50	72,00	134,00	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	1,35	1,05	2,65	0,85	0,95	1,50	1,20	5,00	

Tabla 9. Datos obtenidos in situ, campaña de muestreo de invierno, 2004.

Parametros de Campo	Lugar							
	Paso León	Sn Roque	Villa Vieja	Villa Nueva	San Pedro	San Pedro	Las Lagunas	San Pedro
Coordenadas								
N	1452408	1445140	1448118	1448524	1449852	1449935	1447704	1450018
E	570309	563174	571623	571339	571353	571887	577717	572167
Elevación (m.s.n.m.)	794	974	847	835	826	824	1252	851
Fecha	22-sep-04	21-sep-04	21-sep-04	21-sep-04	22-sep-04	22-sep-04	23-sep-04	23-sep-04
Hora	9:50 AM	8:05 AM	10:25 AM	10:00 AM	12:20 MD	11:40 AM	12:00 MD	4:00 PM
Código de la muestra	PP-JG	LL-SR	PP-VV	PP-VN	PP-Pt	PP-In	PE-Lag	PP-SP
pH (und. pH)	7,19	6,99	6,72	6,75	6,70	6,69	7,11	6,74
Tº de pH (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Conductividad (µS/cm)	300,00	10,90	504,00	404,00	445,00	403,00	170,00	361,00
Tº de Conductividad (°C)	27,80	21,20	26,00	28,20	26,10	25,40	22,10	24,30
% de Salinidad (‰)	0,10	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,20
Potencial Redox (mV)	163,30	513,80	450,40	490,30	251,30	50,00	174,00	107,30
Alcalinidad a la fenolftaleína	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcalinidad Total (mg/L)	134,00	5,00	144,00	76,00	154,00	146,00	20,00	114,00
Oxigeno Disuelto (mg/L)	nc	3,40	2,38	2,20	nc	nc	nc	nc
Valores in situ	El Jícaro	Estelí	La Thompson	Las Lajas	Paso León	El Higo	Las Quiatillas	La Thompson
Coordenadas								
N	1453494	1445209	1450798	1448632	1450633	1445361	1444341	1451045
E	568063	571222	569568	570640	570707	567907	571232	569384
Elevación (m.s.n.m.)	804	889	833	791	810	881	897	818
Fecha	23-sep-04	20-sep-04	21-sep-04	23-sep-04	22-sep-04	20-sep-04	23-sep-04	23-sep-04
Hora	9:25 AM	9:55 AM	2:25 PM	10:30 AM	10:20 AM	1:35 PM	2:30 PM	8:15 AM
Código de la muestra	PP-HB	PP-EB	PP-FU	PE-SOS	PE-AV	PP-CV	PE-Qui	PE-FU
pH (und. pH)	7,20	7,08	6,75	6,83	6,97	6,87	7,40	7,20
Tº de pH (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Conductividad (µS/cm)	276,00	391,00	307,00	1090,00	521,00	296,00	348,00	328,00
Tº de Conductividad (°C)	31,90	27,10	26,00	26,60	26,00	26,40	25,30	24,80
% de Salinidad (‰)	0,10	0,20	0,10	0,50	0,20	0,10	0,20	0,20
Potencial Redox (mV)	184,70	102,90	457,60	164,70	210,50	561,90	173,30	197,50
Alcalinidad a la fenolftaleína	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcalinidad Total (mg/L)	138,00	157,00	102,00	355,00	132,00	63,00	122,00	90,00
Oxigeno Disuelto (mg/L)	nc	2,84	2,68	n	nc	2,53	nc	nc

Tabla 10. Datos obtenidos in situ, campaña de muestreo de invierno, Estelí 2004.

Parámetro de Campo	Lugar								
	Pintadas	Reventasonas	Porvenir	Coyolito	Thompson	Paso León	Estanzuela	Chácara	El Júcaro
Coordenadas									
N	1446229	1447323	1445554	1459592	1449820	1453466	1439520	1445484	1454430
E	565803	564254	568319	572861	569738	571297	570308	571191	567212
Elevación (m.s.n.m.)	901	1020	876	959	815	840	1005	880	816
Fecha	21-sep-04	21-sep-04	20-sep-04	22-sep-04	22-sep-04	22-sep-04	20-sep-04	20-sep-04	23-sep-04
Hora	6:20 AM	7:34 AM	2:50 PM	7:00 AM	10:15 AM	8:00 AM	6:45 AM	9:20 AM	6:40 AM
Código de la muestra	R-Pin	S-Rev	R-Por	S-Coy	R-EI	R-EII	R-Est	S-Ch	PP-FD
pH (und. pH)	7,29	7,39	7,37	6,92	nc	7,62	7,39	7,22	7,14
T° de pH (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00	nc	25,00	25,00	25,00	25,00
Conductividad (µS/cm)	155,50	239,00	164,50	427,00	nc	635,00	124,80	328,00	233,00
T° de Conductividad (°C)	20,90	21,20	27,30	23,60	nc	24,40	19,70	25,90	25,80
% de Salinidad (‰)	0,10	0,10	0,10	0,20	nc	0,30	0,10	0,20	0,10
Potencial Redox (mV)	489,00	468,30	572,30	389,00	nc	327,50	183,60	165,20	267,00
Alcalinidad a la fenoltaleína (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	nc	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcalinidad Total (mg/L)	43,00	84,00	39,00	115,00	nc	153,00	nc	62,00	43,00
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3,54	3,61	3,81	nc	nc	8,50	3,44	2,15	
Valores in situ	El Parque	Oscar Gámez	Chiriza	Cabaña	Thompson	Sn Pedro	Paso Ancho	HSJD	
Coordenadas									
N	1447306	1447223	1446036	1449966	1451237	1449710	1444723	1444425	
E	569737	568359	568691	569215	569006	573603	568197	570487	
Elevación (m.s.n.m.)	840	888	959	819	814	946	889	891	
Fecha	20-sep-04	20-sep-04	20-sep-04	21-sep-04	23-sep-04	23-sep-04	20-sep-04	20-sep-04	
Hora	3:35 PM	3:00 PM	12:00 MD	9:40 AM	7:40 AM	3:45 PM	12:45 MD	10:30 AM	
Código de la muestra	PP-EP	PP-EOG	PP-ECH	PP-EC	PP-LG	S-SP	PE-AR	PP-HSD	
pH (und. pH)	6,83	7,02	7,17	6,55	7,29	6,78	6,81	7,15	
T° de pH (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	
Conductividad (µS/cm)	443,00	249,00	293,00	308,00	298,00	354,00	250,00	595,00	
T° de Conductividad (°C)	26,00	26,40	28,00	27,50	30,30	24,90	28,80	28,10	
% de Salinidad (‰)	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,30	
Potencial Redox (mV)	558,60	603,60	619,70	478,10	243,00	201,00	552,50	631,40	
Alcalinidad a la fenoltaleína (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Alcalinidad Total (mg/L)	138,00	122,00	128,00	42,00	135,00	132,00	28,00	146,00	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	2,92	3,10	2,38	3,28	0,00	nc	2,46	2,80	

Tabla 11. Velocidades de infiltración de perfil de suelo.

El Rosario

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura (cm)	Diferencial (cm)	Infiltración (mm/hr)
0,00	22,00		0,00	
15,00	19,00		3,00	120,00
30,00	18,50		0,50	10,00
60,00	18,00		0,50	5,00
120,00	17,00		1,00	5,00
180,00	16,00		1,00	3,33
240,00	15,00		1,00	2,50
300,00	15,50		0,40	0,80
Capacidad de infiltración (mm/hr)				2,21

La Thompson

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura (cm)	Diferencial (cm)	Infiltración (mm/hr)
0,00	12,00		0,00	
1,00	12,00		12,00	7200,00
3,30	12,00		12,00	2181,82
9,00	12,00		12,00	800,00
33,00	12,00		12,00	218,18
80,00	6,00		6,00	45,00
125,00	4,00		2,00	9,60
185,00	0,00	12,00	5,00	16,22
272,00	8,00		4,00	8,82
344,00	4,00		4,00	6,98
Capacidad de infiltración (mm/hr)				10,67

Las Limas

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura (cm)	Diferencial (cm)	Infiltración (mm/hr)
0,00	18,00		0,00	
17,00	18,00		18,00	635,29
29,00	18,00		18,00	372,41
60,00	18,00		18,00	180,00
108,00	18,00		18,00	100,00
181,00	18,00		18,00	59,67
266,00	14,50		3,50	7,89
380,00	12,00		2,50	3,95
440,00	9,50		2,50	3,41
Capacidad de infiltración (mm/hr)				5,08

Paso León

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura (cm)	Diferencial (cm)	Infiltración (mm/hr)
0,00	14,00		0,00	
30,00	13,00		1,00	20,00
90,00	12,50		0,50	3,33
130,00	12,00		0,50	2,31
190,00	11,50		0,50	1,58
Capacidad de infiltración (mm/hr)				2,41

La Chácara

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura (cm)	Diferencial (cm)	Infiltración (mm/hr)
0,00	13,00		0,00	
0,16	13,00		13,00	48750,00
0,58	13,00		13,00	13448,28
1,00	13,00		13,00	7800,00
1,50	13,00		13,00	5200,00
2,00	13,00		13,00	3900,00
3,00	13,00		13,00	2600,00
5,00	13,00		13,00	1560,00
7,00	13,00		13,00	1114,29
10,00	13,00		13,00	780,00
20,00	13,00		13,00	390,00
50,00	13,00		13,00	156,00
80,00	13,00		13,00	97,50
110,00	9,00		4,00	21,82
140,00	6,00		3,00	12,86
170,00	4,00	13,00	2,00	7,06
215,00		9,00	4,00	11,16
300,00		5,00	4,00	8,00
Capacidad de infiltración (mm/hr)				8,74

Villa Vieja

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura (cm)	Diferencial (cm)	Infiltración (mm/hr)
0,00	13,00		0,00	
11,00	9,00		4,00	218,18
22,00	7,50		1,50	40,91
52,00	5,50	13,00	2,00	23,08
95,00	10,00		3,00	18,95
184,00	8,00		2,00	6,52
240,00	7,00		1,00	2,50
300,00	6,00		1,00	2,00
Capacidad de infiltración (mm/hr)				3,67

La Tunosa

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura (cm)	Diferencial (cm)	Infiltración (mm/hr)
0,00	17,00		0,00	
15,00	15,00		2,00	80,00
45,00	12,00		3,00	40,00
90,00	10,00		2,00	13,33
162,00	9,00	14,00	2,00	7,41
222,00	11,00		3,00	8,11
300,00	8,00		3,00	6,00
Capacidad de infiltración (mm/hr)				7,17

Isidriilo

Tiempo (min)	Altura (cm)	Altura (cm)	Diferencial (cm)	Infiltración (mm/hr)
0,00	17,00		0,00	
15,00	15,50		1,50	60,00
45,00	14,80		0,70	9,33
90,00	14,00		0,80	5,33
150,00	13,00		1,00	4,00
210,00	12,00		1,00	2,86
Capacidad de infiltración (mm/hr)				4,06

Formato 1.Formato para aforos

Aforo N°

Nombre del Aforador: _____

Fecha: _____ Río: _____

Época de Aforo: Verano: _____ Invierno: _____

Molinete

Marca: _____ Tipo: _____ Serie: _____ Hélice N° _____

Vuelta por toque: _____ Prueba de Giro: _____

Molinete suspendido por:

Ecuación del molinete $V = \text{_____} + \text{_____} \text{ N/T}$

Nivel del Río

Elevación Inicial _____ Hora Inicial: _____

Elevación Final: _____ Hora Final: _____

Punto Inicial

Margen Izquierdo: _____ Margen derecho: _____

Aforo hecho por : Vadeo _____ Cable: _____ Bote: _____ Puente: _____

Escurrimiento

Tranquilo: _____ Turbulento: _____ Muy Turbulento: _____

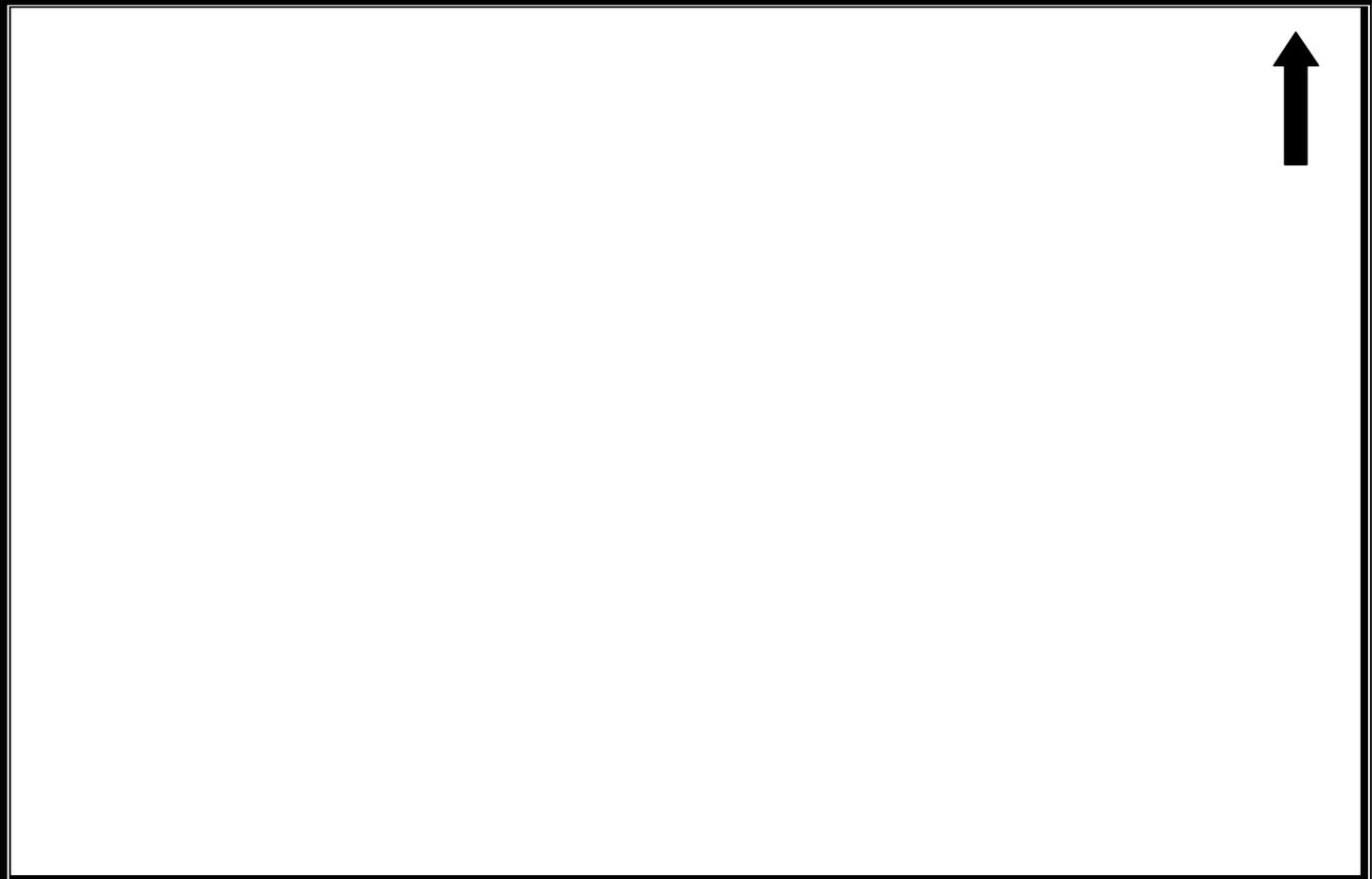
Estado del Cauce

Señas de desbordamiento: SI ___ NO ___ Sección Estable SI ___ NO ___

Formato 2. Formato de Entrevista Semi-Estructurada

I. INFORMACIÓN GENERAL			
Entrevista N° / Fecha			
Departamento			
Comunidad / Finca Particular			
Nombre del propietario			
Ubicación Geográfica			
Norte	<input type="text"/>	Este	<input type="text"/>
Sur	<input type="text"/>	Oeste	<input type="text"/>
Uso			
Tipo de Obra			
Época de Riego			
Diciembre	<input type="text"/>	Enero	<input type="text"/>
Marzo	<input type="text"/>	Abril	<input type="text"/>
Febrero	<input type="text"/>		

CROQUIS Y DISEÑO DEL ÁREA DE RIEGO



Escala

Estudio hidrogeológico del funcionamiento del acuífero de Estelí

Continuación anexo 9

II. DATOS ESPECÍFICOS	
Tipos de Cultivo	
Área de Siembra	
Ciclo Vegetativo	
Tipo de suelo	
Pendiente	
Fecha de Siembra	
III. DATOS TÉCNICOS	
Estación de Bombeo	
Ubicación Geográfica	
Norte	
Este	
Tipo de Bomba	
Caudal de Bombeo (GPM o LPS o M3/seg)	
Lamina Aplicada mm.	
Norma de riego (m ³ /ha)	
Tiempo de Riego	
Método de Riego	
Microriego	
Caudal de Goteo (Lps)	
Distancia entre Gotero (cm)	
Longitud del Surco (m)	
Numero de Surcos	
Turnos de Riego	
Aspersión	
Caudal de la Boquilla (Lps)	
Numero de Aspersores	
Obstrucciones	
Tuberías Secundaria (n°)	
Distancia entre aspersores (m)	
Radio de Cobertura	
Obstrucciones	
Gravedad	
Turnos de Riego	
Caudal de Bombeo	
Tiempo de Riego	
Caudal del equipo	
Eficiencia del riego (%)	
Fugas	
Inadecuado control de la lamina de riego	
Otros	

Continuación anexo 9.

FASE DE DESARROLLO DEL CULTIVO	
Fases	Norma de riego (m ³ /ha)
Germinación	
Crecimiento	
Desarrollo	
Madurez Fisiológica	
Total	