



Estudio Hidrogeológico para la Subcuenca del Río Grande, Valle Central Occidental, Costa Rica

Elaborado por:

Geóloga María Magdalena Monge Cordero
Servicio Nacional de Aguas Subterráneas,
Riego y Avenamiento (SENARA)

Dirección de Investigación y Gestión Hídrica (DIGH)

Enero, 2020

Estudio hidrogeológico para la subcuenca del Río Grande, Valle Central Occidental, Costa Rica

Objetivo general

Realizar un estudio hidrogeológico de los acuíferos en la subcuenca del Río Grande, Alajuela, que incluye la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual, la determinación de vulnerabilidad y la estimación de la disponibilidad de agua en el área de estudio.

Justificación del estudio

Actualmente en el Valle Central se presenta un crecimiento de la población y de la industria, lo cual, a su vez, genera un crecimiento en la demanda de servicios públicos, entre ellos, el abastecimiento de agua potable. Este desarrollo está alcanzando la parte occidental del Valle Central, siendo un área con pocos estudios en materia de disponibilidad y riesgo de contaminación del recurso hídrico, y al mismo tiempo, una importante fuente de abastecimiento de agua para la población.

Participantes

SENARA, OIEA, UCR: Escuela Centroamericana de Geología, CICA.

Ubicación

Esta subcuenca abarca parte de los cantones de San Ramón, Palmares, Naranjo, Valverde Vega, Atenas, Alajuela, Grecia y Poás, de la provincia de Alajuela; y parte de los cantones de Barva y Santa Bárbara, de la provincia de Heredia. Tiene un área de 634,4 km² y está delimitada entre las coordenadas 481 000-524 000 E y 216 000-242 000 N, proyección Lambert Norte (fig. 1).

Los ríos más importantes que recorren la subcuenca son: Grande, Colorado, Cacao, Pilas, Zapote, Trojas, Sarchí, Rosales, Poás e Itiquís.

El área de estudio corresponde a 634,4 km². Tiene una longitud de 42,57 km de este a oeste, y una distancia aproximada de 20 km de norte a sur. La elevación máxima de la subcuenca es de 2781 m.s.n.m. en el volcán Barva y la elevación mínima es de 460 m.s.n.m. en el final de la subcuenca.

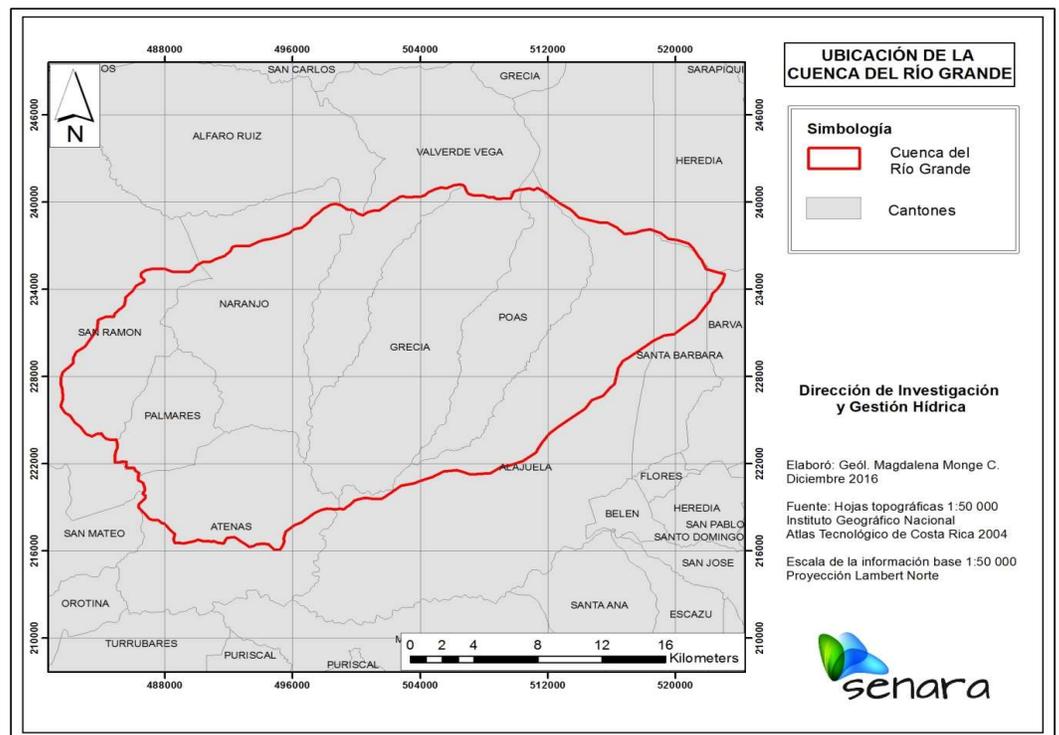


Figura 1: Delimitación de la subcuenca del Río Grande incluyendo cantones.

Marco geológico

Las rocas que existen en la zona son de origen volcánico, asociadas con la actividad del arco volcánico de Costa Rica durante el Neógeno y con el vulcanismo de la Cordillera Volcánica Central desarrollada durante el Pleistoceno. Las Figuras 2 y 3 muestran las unidades geológicas de la zona de estudio, las cuales utilizan los nombres usados por Huapaya & Rojas (2012) y Ruiz et al (2010). A continuación, se describen las rocas que afloran en la zona.

1.1.1 Grupo Aguacate

Denyer & Arias (1991) proponen dividir el Grupo Aguacate en la Formación La Cruz y la Formación Grifo Alto. La Formación La Cruz está compuesta por coladas de basalto y leucobasalto con espesores entre 20 – 30 m; es la unidad inferior, estas rocas se meteorizan simulando pseudoclastos en una matriz arenosa parda, es frecuente encontrar zeolitas y menos frecuente calcita. La Formación Grifo Alto es la unidad superior de este grupo y está compuesta por lavas andesíticas, ignimbritas y flujos piroclásticos que contienen bloques lávicos y escoriaáceos en una matriz lodosa. En la zona de estudio incluye lavas basálticas y andesítico-basálticas, brechas, aglomerados, ignimbritas ácidas, tobas y sedimentos vulcanoclasticos subordinados (Huapaya & Rojas, 2012).

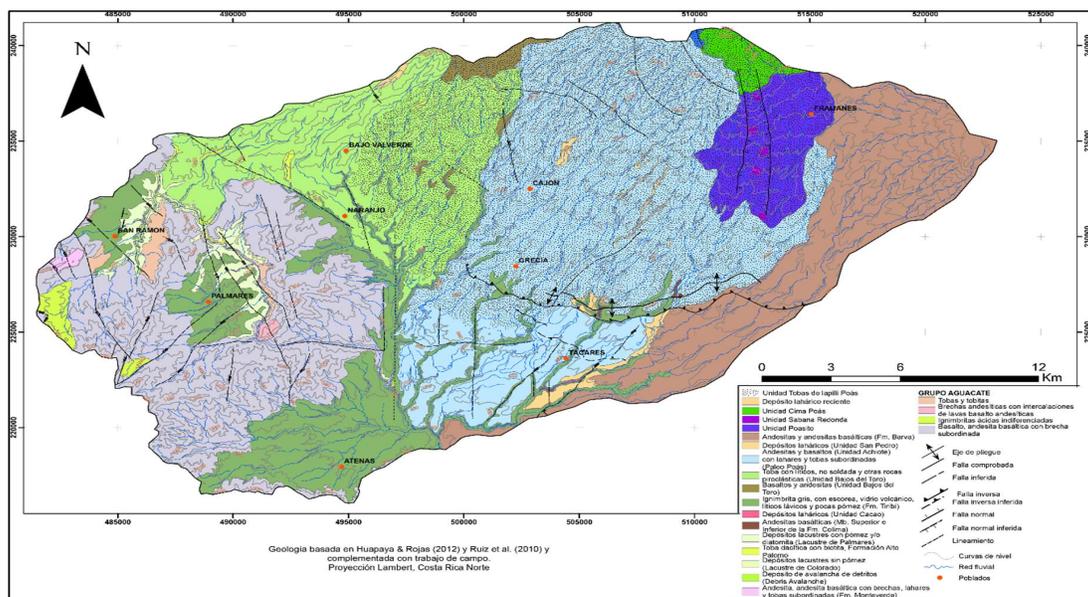


Figura 2: Mapa geológico de la subcuenca del río Grande. Digitalizó: Paola Alvarado Piedra.

En la zona de estudio de este trabajo, esta unidad aflora en el área oeste y sur de la Hoja Río Grande, y algunos puntos aislados en el centro y oeste de la Hoja Abra, cubre un 19% del área de estudio.

1.1.2 Formación Monteverde

Sobreyace rocas del Grupo Aguacate, cubre un área de 12000 km², y es considerada la mayor erupción andesítica fisural conocida del Cuaternario Inferior, (Gillot et al, 1994).

Žáček, et al (2012) describen lavas andesíticas hasta andesita-basálticas no alteradas, en menor cantidad hay rocas piroclásticas (brechas y tobas) y localmente importante son los depósitos de lahares. Según Mixa et al (2011) estas lavas no están alteradas hidrotermalmente y no tienen mineralizaciones, o metamorfismo de contacto, ni patrones estructurales similares a los de las vulcanitas del Grupo Aguacate.

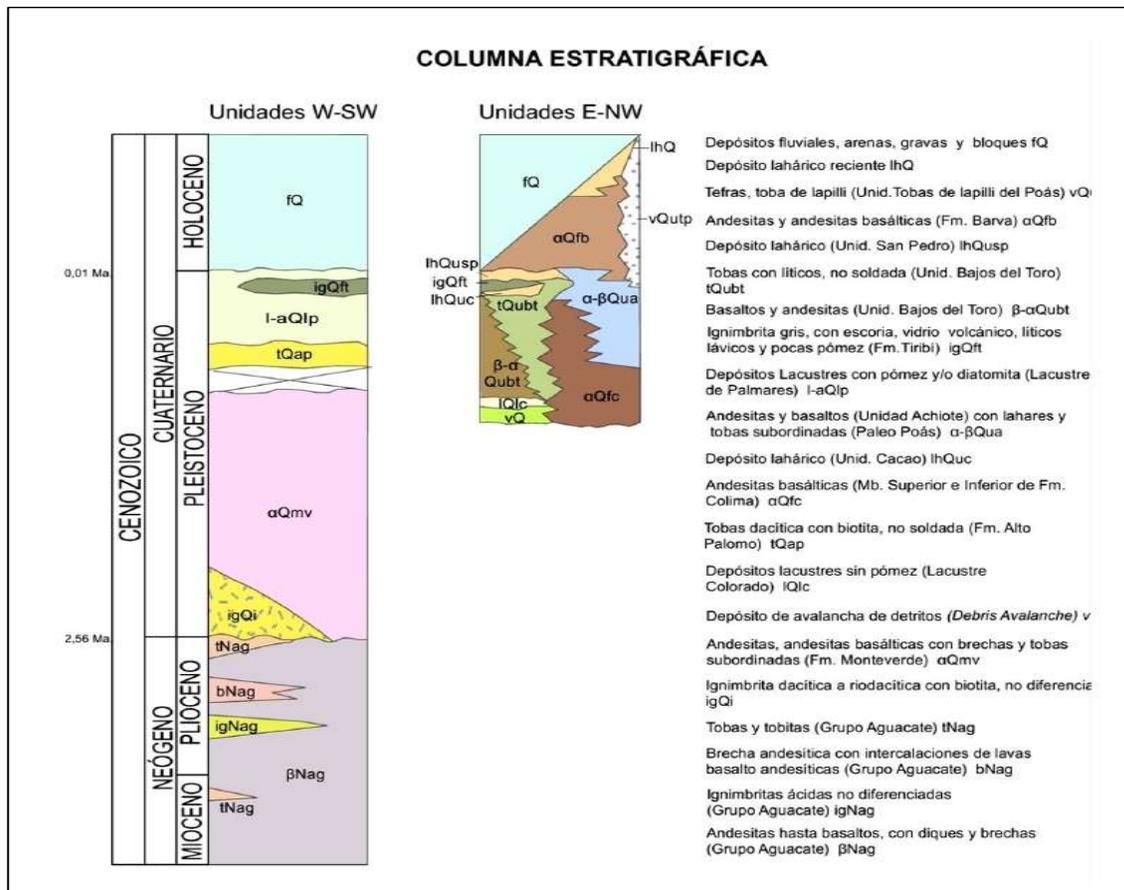


Figura 3: Columna estratigráfica de la Hoja Naranja, Tomado de Huapaya & Rojas (2012).

1.1.3 Depósitos de avalancha de detritos (Debris Avalanche)

Se trata de una megabrecha que aflora en el Tajo La Pista en Grecia, en el cruce de la autopista Bernardo Soto. Está constituida por bloques de lavas andesítica a andesítico-basáltica, algunas vesiculadas, con tamaños desde centimétricos a métricos, en contacto flotante y con muy mala selección; además contiene lentes métricos a decamétricos de tobas consolidadas de tonos amarillentos y grises, por otro lado, se presentan fragmentos de escorias centimétricas a decimétricas. El depósito es caótico, con matriz tobácea azul a morado en la parte inferior y café claro en la parte superior (el cambio de tono se debe posiblemente a la meteorización), y se observa un espesor máximo de 45 m.

1.1.4 Depósitos lacustres sin pómez (Lacustre de Colorado)

Se trata de una secuencia de limos y arenas finas líticas localizadas en el tajo La Pista, en el mismo sitio en donde aflora la megabrecha descrita anteriormente (Rojas, 2012). La base de esta secuencia está constituida por 1,5 m de intercalaciones de limos café a café claro y arenas líticas color gris oscuro y café desde claro a oscuro. Dicha secuencia presenta una serie de pliegues y fallas, que podrían ser el resultado de un deslizamiento de material inconsolidado o el reflejo de un movimiento sísmico que deformó estos sedimentos cuando aún se conservaban plásticos; sobreyaciendo esta secuencia, hay 2,5 m de capas horizontales de limos y arenas líticas finas, con laminación paralela milimétrica y estratificación horizontal, de colores desde café claro a café.

1.1.5 Toba dacítica con biotita (Formación Alto Palomo)

Fue definida por Villegas (1997), está compuesta principalmente por ignimbritas con brechas coignimbriticas de caída o de rezago y oleadas en su base (“ground surges” cineríticos). Se divide en dos miembros, el inferior conocido como Miembro Palomo, está compuesto por tobas de lapilli pumíficos rojos, crema, amarillo y blancos, con mala a muy mala selección y contacto por matriz, se diferencia del miembro superior en que no contiene

biotita ni lapilli acrecional. Este miembro descansa sobre rocas del Grupo Aguacate y a su vez es sobreyacido por el miembro Palmitos. El miembro Palmitos está compuesto por tobas de lapilli pumítico crema, grises a blancos, con mala a muy mala selección y contacto por matriz, productos de flujos piroclásticos y a diferencia del miembro inferior contiene cristales de biotita y anfíbol. Subyace al Lacustre de Palmares. En la zona de estudio aflora en el extremo oeste.

1.1.6 Lacustre de Palmares

De acuerdo con Rojas (2012), está constituido por 70 m de alternancias de depósitos lacustres de aguas profundas y someras, el cual estuvo conformado por dos lagos, uno al noroeste del centro de San Ramón, denominado lago Los Ángeles (área estimada 3 km²) y otro principal, en el área del centro de Palmares y San Ramón (área estimada 25 km²). Destacan dos facies principales, asociación I: enriquecidas en clastos pumíticos y asociación II: enriquecidas en clastos de líticos de lavas. La asociación I, está representada a su vez por las litofacies de gravas, arenas y limos pumíticos, así como diamictopumítico, mientras la asociación II: está representada por gravas, arenas y limos con predominancia de líticos de lavas.

1.1.7 Formación Colima

Esta formación tiene potencial para el aprovechamiento del agua subterránea. Echandi (1981) la subdivide en tres miembros: Miembro Belén, el cual está compuesto por lavas andesíticas y andesíticas-basálticas, y se trata del miembro inferior, el Miembro Ignimbritas de Puente de Mulas es el intermedio y presenta una ignimbrita de color gris oscura, con un núcleo denso en la parte central y hacia la base y el techo cambia a una toba. Finalmente, el miembro superior es el Miembro Linda Vista, el cual incluye lavas y brechas lávicas. Los afloramientos de esta formación en la zona de estudio son muy pocos y se ubican en la zona noreste del área de estudio, cerca de la falla de Alajuela.

1.1.8 Andesitas y basaltos de la Unidad Achioté, con tobas y lahares subordinados (Paleo-Poás)

Ruiz et al. (2010) le asignan el nombre de Andesitas La Paz para describir lavas andesíticas-basálticas hasta basaltos, se distinguen por ser porfíricas con megafenocristales de plagioclasa que pueden tener hasta 2-3 cm, además incluye brechas, tobas y piroclastos interdigitados. Aflora al norte de la Laguna de Hule, en los ríos Toro, Sarapiquí y Poás, al este de San Pedro de Poás.

1.1.9 Unidad Achioté

Ruiz et al. (2010) indican que aflora en la zona sur del Volcán Poás hasta la Falla de Alajuela. Está compuesta por coladas de lava andesítico-basálticas con fábrica masiva, presentan fracturación en lajas por enfriamiento. Los productos de esta unidad probablemente provienen de focos eruptivos cercanos a la actual cumbre del volcán Poás.

1.1.10 Depósitos laháricos (Unidad Cacao)

Según Campos (2005), está compuesto por una matriz arcillosa color café, de poca plasticidad, con bloques de andesitas, muy consolidado y de poca plasticidad. Su contacto inferior es erosivo con la Unidad Andesitas Río Poás y el contacto superior es erosivo con la Formación Tiribí.

1.1.11 Formación Tiribí

Fernández (1969) describe una toba soldada de coloración grisácea oscura a gris claro hasta amarillenta por alteración, con bandeo horizontal de vidrio negro y pómez colapsada, en una matriz cenicienta densa.

1.1.12 Unidad Bajos del Toro-Viejo

Alvarado & Carr (1993) describen lavas basálticas-andesíticas interestratificadas con flujos piroclásticos y otras rocas piroclásticas, presentando secciones de casi 1000 metros de espesor y le asignan una edad de 0,4 millones de años, correspondiente al Pleistoceno. Huapaya & Rojas (2012) separan, las tobas con líticos no consolidadas, las cuales se localizan en la zona norte del río Grande, y los basaltos y andesitas, los cuales afloran al norte de Sarchí.

1.1.13 Formación Barva

La Formación Barva está compuesta por coladas andesíticas y andesítico-basálticas que pueden alcanzar espesores entre 10 y 80 metros (Echandi, 1981). Protti (1986) considera que la Formación Barva comprende todos los tipos litológicos que constituyen el estratovolcán Barva, por lo que propone la siguiente denominación informal: Miembro Bermúdez, constituido por una serie de coladas de lava andesítica a basáltica, Miembro Carbonal formado por tobas líticas y tobas poco consolidadas, Miembro Los Bambinos compuesto por una serie de coladas de lava andesítica de poca extensión, Miembro Porrosatí constituido por un depósito de piroclastos de granulometría gruesa (arena media a gruesa), Miembro Los Ángeles formado por una colada de lava andesítico-basáltica y Miembro Cráter el cual corresponde con una unidad de cenizas y piroclastos gruesos de poco espesor.

El frente sur de las lavas andesítico-basálticas del Miembro Bermúdez se ubica en el cauce del río Bermúdez al este de la ciudad de Heredia, mientras que el Miembro Carbonal está constituido por tobas líticas y cenizas poco consolidadas y meteorizadas que cubren una gran extensión.

1.1.14 Unidad Poasito

Gazel & Ruíz (2005) denominan Andesitas de Poasito a las lavas afíricas que afloran en la zona entre las localidades de Poasito, Sabana Redonda, Bajos del Tigre y Los Ángeles. Está compuesta por coladas de lava masiva, con texturas fluidales mostrando pliegues y fallas inversas, además de estructuras de cizalle interno características que quedan como remanente del movimiento de la colada (Ruíz et al., 2012).

1.1.15 Unidad Sabana Redonda

Según Ruíz et al. (2010), corresponde con los depósitos de los conos piroclásticos del mismo nombre. Se compone por depósitos de bombas y bloques en una matriz de lapilli, niveles de aglomerados y pequeñasseudocoladas de lava clastogénicas en la base.

1.1.16 Unidad Cima Poás

Ruíz et al. (2010) utilizan este nombre para referirse a los productos emitidos de los cráteres Botos y Principal del Poás. Los productos del cráter Principal se extienden hacia el oeste y las coladas del cráter Botos se extienden hacia el este y sobreyacen una secuencia considerable de piroclastos indiferenciados en la quebrada Pulga.

1.1.17 Unidad de tobas de lapilli Poás

Según Ruíz et al. (2010) se extiende desde la cúspide del Poás, hacia el suroeste en el sector de Grecia, cubre las lavas del sector sur del volcán Poás. Tienen un espesor de 7 metros y se observa en los cortes de los caminos. Gazel & Ruíz (2005) indican que hay una reducción en el tamaño de las partículas desde el cráter hacia el NE-SW siguiendo la dirección del viento.

1.1.18 Depósito lahárico reciente

Huapaya & Rojas (2012) ubican un depósito de lahares recientes en el río Zapote al este de Llano Bonito, Naranjo, el cual cubre un área de 300 m² aproximadamente. El lahar tiene una matriz arcillosa color café claro, con líticos piroclásticos (escorias y pómez) centimétricos y hasta 35 cm de diámetro máximo observado, contiene líticos lávicos con fenocristales de plagioclasas y piroxenos, de tamaños métricos, predominantemente angulares y algunos con meteorización tipo cebolla.

Hidrología

1.2 Cuencas hidrográficas de la zona de estudio.

La subcuenca de Río Grande forma parte de la cuenca del Río Grande de Tárcoles, el cual desemboca en el océano Pacífico. Las principales microcuencas que se encuentran en la subcuenca de Río Grande se muestran en el cuadro 1 y la figura 4.

Cuadro 1: Microcuencas que conforman la subcuenca del Río Grande

Microcuenca	Área (km ²)	Ríos asociados
Río Poás	210,0448	Poás, Itiquís, Prendas, Tacares, Tambor, Mastate
Río Colorado	163,8782	Agualote, Vigía, Sarchí, Trojas, Colorado, San Juan
Río Cacao	60,8093	Cacao, Cajón
Río Grande	132,5804	Grande, Palmitos
Río Rosales y otros	67,0678	Rosales, Pilas, Poró, Achiote. Quebrada Valverde

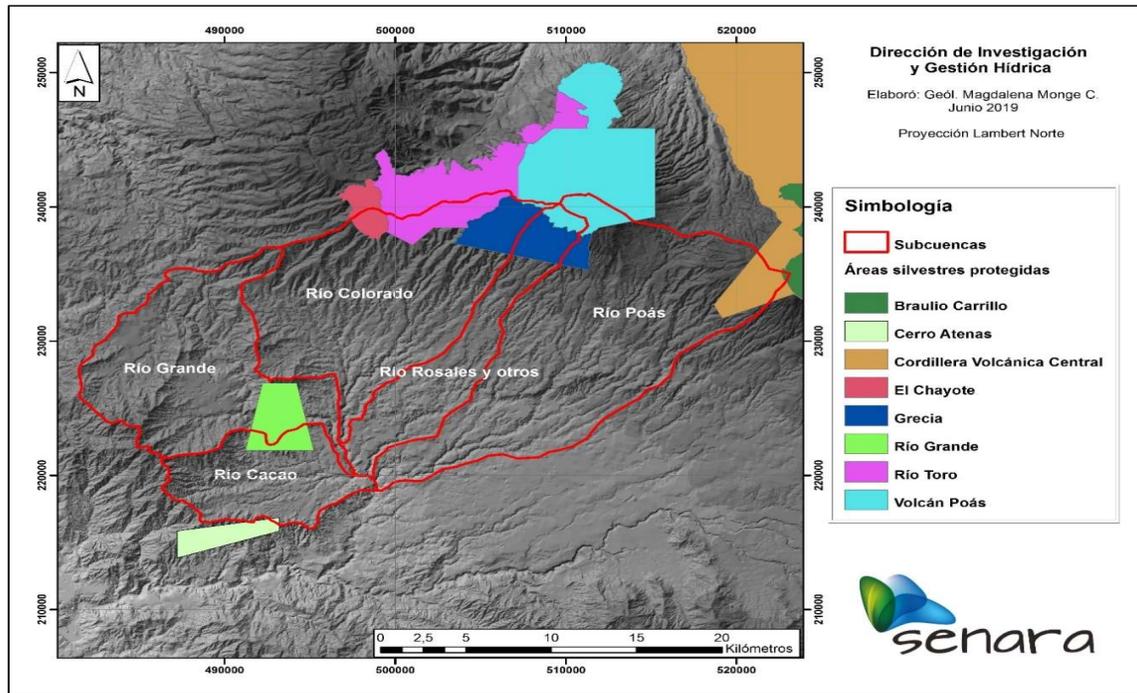


Figura 4: Microcuencas que conforman la subcuenca de Río Grande y Áreas silvestres protegidas.

1.3 Clima, estaciones meteorológicas.

La época seca va de diciembre a abril, y existen dos épocas lluviosas separadas por un veranillo en julio, característico de la vertiente del Pacífico.

En promedio, la mayor precipitación se da en la parte alta de la subcuenca, en el área cercana al Volcán Poás, con precipitaciones mayores a 3500 mm; mientras que la precipitación más baja se da en la cuenca baja, en las cercanías de Alajuela con 1870 mm de lluvia, y en San Ramón con 1683 mm. En la parte media y alta se miden valores de precipitaciones promedio similares, pero en la época de setiembre y octubre se da una disminución considerable de la precipitación en la parte alta de la subcuenca, así como un aumento de lluvia en los meses de enero, febrero y marzo. Esto puede ser ocasionado por un efecto de la vertiente del Caribe, ya que las estaciones del Volcán Poás, Fraijanes, Los Cartagos y La Giralda están muy cercanas a la divisoria de aguas (figura 5).

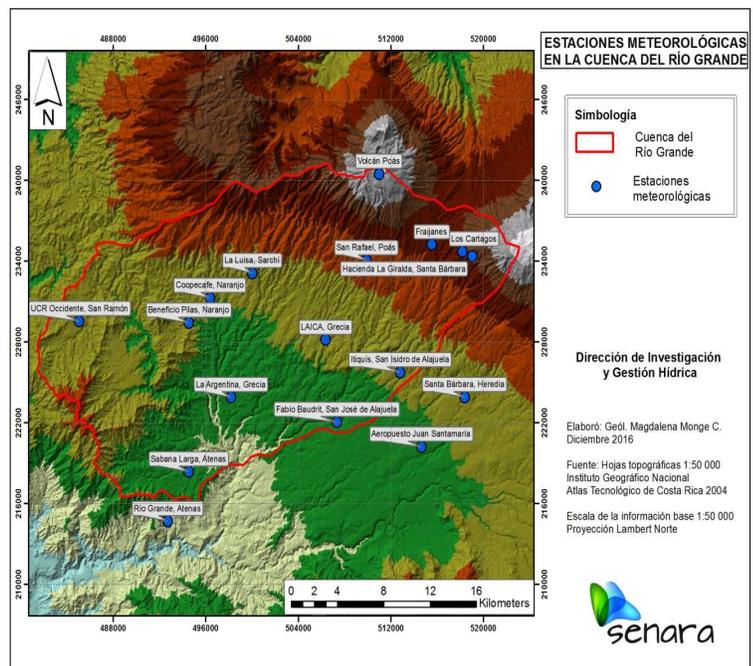


Figura 4: Estaciones meteorológicas dentro y aledañas a la subcuenca del Río Grande.

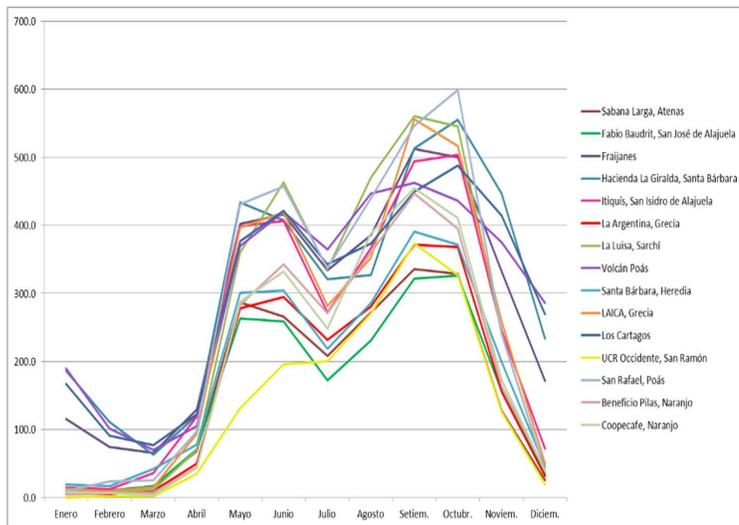


Figura 5: Comportamiento de la precipitación en la subcuenca de Río Grande.

Hidrogeología

En la zona hay al menos tres sistemas de flujo (figuras 6 y 7), el de menor extensión se localiza al noreste de la subcuenca en la zona de mayor elevación, característico de acuíferos colgados hospedados en distintas capas geológicas de corta extensión típicos en ambientes volcánicos, donde prácticamente no hay interacción con las rocas debido al flujo rápido y la corta distancia del recorrido del agua subterránea. Se trata de aguas meteóricas, que se localizan en las mayores elevaciones topográficas, en las faldas del volcán Poás y originan manantiales con una composición bicarbonatada cálcica con valores más altos de sulfatos que en las demás muestras de agua, lo que evidencia la influencia de deposición atmosférica de sulfatos, asociada con la actividad volcánica.

Los otros dos flujos se dan entre los 1200 metros y 600 metros de altura, los cuales son los que predominan, ya que la mayor parte de los pozos se ubican en esta zona. Se observa una diferencia importante en la composición química al este y oeste del río Colorado, esto se debe a la presencia de rocas más antiguas pertenecientes al Grupo Aguacate en la parte oeste, en donde se observó una influencia de hidrotermalismo en la composición química del agua subterránea. En la zona oeste el agua es bicarbonatada cálcica con un aumento en las concentraciones de sulfato, mientras que en la zona este del río el agua aunque es bicarbonatada cálcica, tiene concentraciones más bajas en los iones mayores.

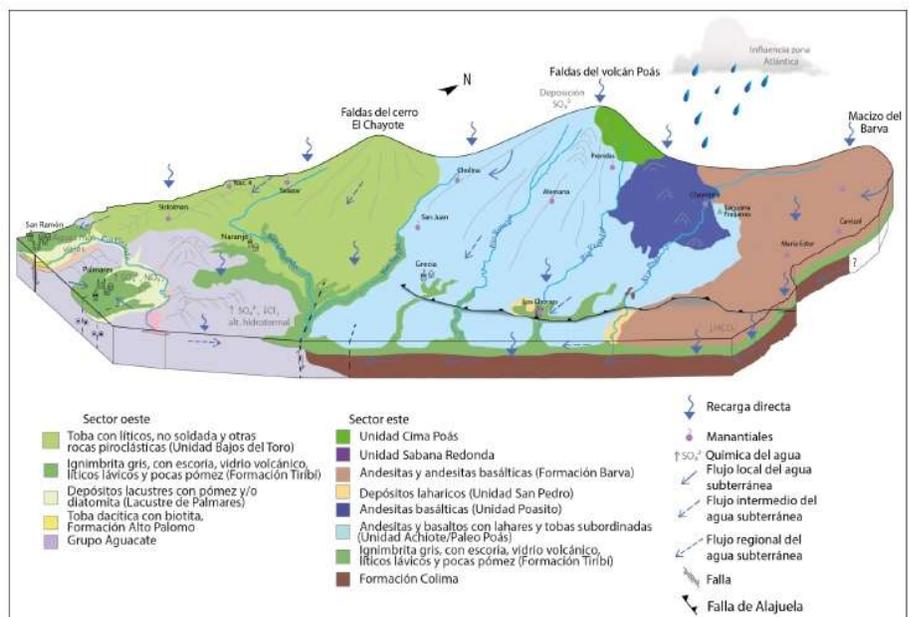


Figura 6: Modelo hidrogeológico conceptual de la subcuenca del río Grande, Alajuela

Al oeste del río Grande el flujo es hacia el sur y al este por lo que se considera un sistema aparte del sistema ubicado al este del río Grande en donde el flujo es preferencialmente hacia el suroeste, o sea también converge hacia el río Grande.

Es importante indicar que todas las aguas muestreadas presentaron tritio, por lo que en general se trata de aguas relativamente jóvenes recargadas directamente en la zona, por lo que los acuíferos son tipo libre o semiconfinados; con excepción del pozo NA-342 que no tiene tritio, tratándose de aguas más antiguas posiblemente de un flujo regional. La presencia de nitratos en pozos en Palmares indica que se está dando un impacto local en el agua subterránea por actividades humanas.

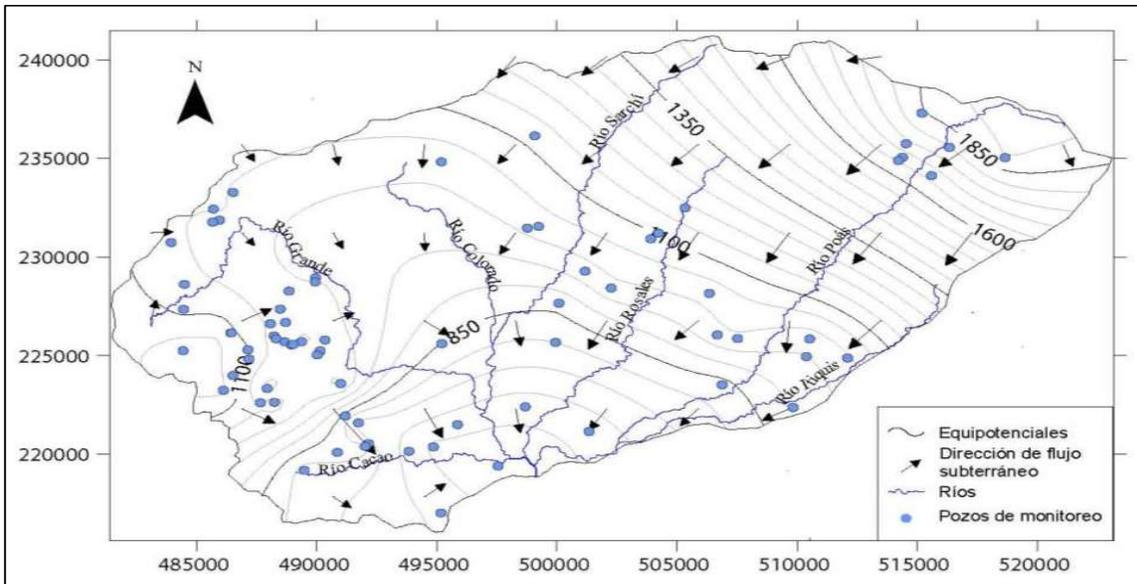


Figura 7: Mapa de equipotenciales en el área de estudio.

Hidrogeoquímica

Las aguas son de tipo bicarbonatadas cálcicas (Figuras 8 y 9). Se notan dos tipos de evolución en el triángulo de los aniones: uno por enriquecimiento en Cl y NO_3 para las aguas de la formación Barva y la otra por enriquecimiento en sulfato y empobrecimiento relativo en bicarbonatos, esto se nota particularmente para los sitios de la formación Paleopoás (Prendas y Cholina) y Poasito (Chayotera) situadas al pie del volcán.

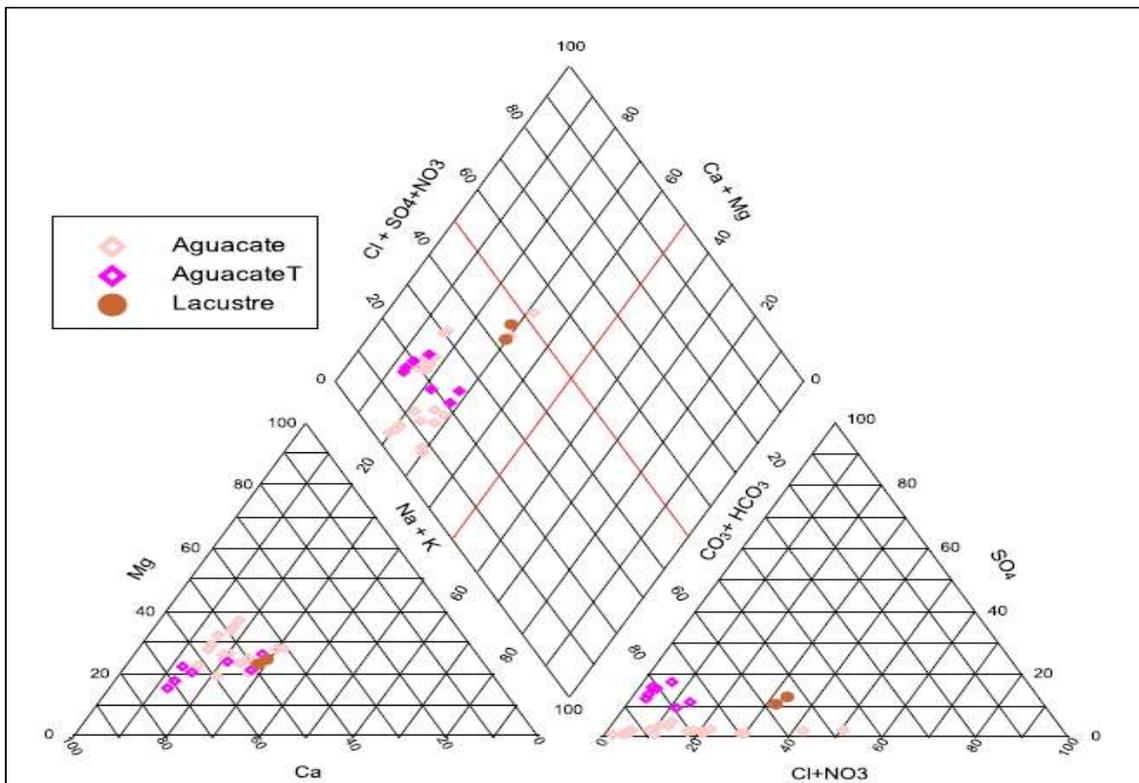


Figura 8: Diagrama de Piper para las aguas de las formaciones del oeste de la subcuenca del Río Grande

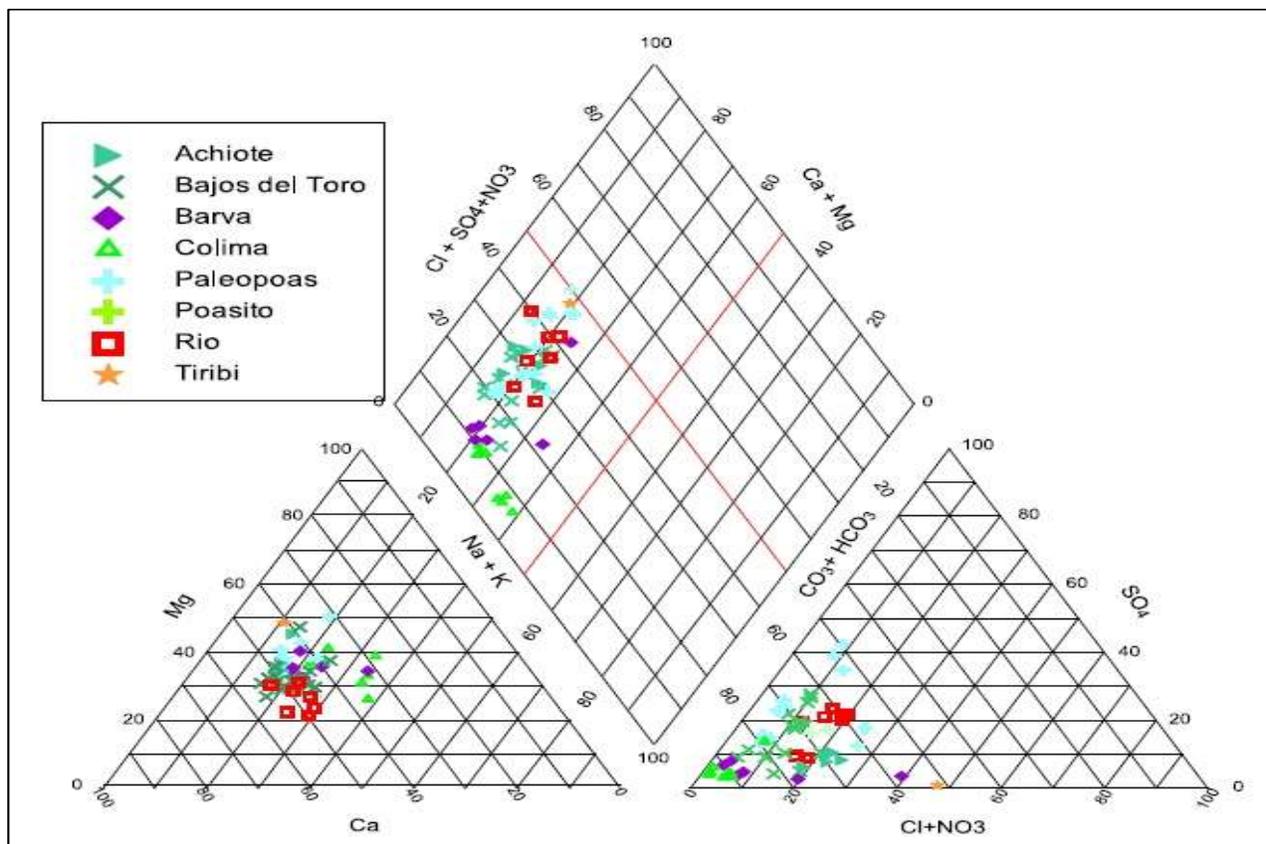


Figura 9: Diagrama de Piper para las aguas de las formaciones del este de la subcuenca del Río Grande

Las aguas de los manantiales Prendas y Cholina, los cuales están en las formaciones Paleopoás y la Chayotera, así como las de la Formación Bajos del Toros están enriquecidas en sulfatos. Estas fuentes están influenciadas por los vientos del Atlántico que pasan sobre el volcán Poás, tal y como lo confirmaron los resultados de los isótopos estables. La cercanía al volcán permite un enriquecimiento en sulfatos originado por la deposición atmosférica.

Las aguas influenciadas por la formación Aguacate se pueden dividir en dos grupos. El grupo de aguas con alteración hidrotermal (NA-652, NA-341, NA-721) las cuales están más enriquecidas en sulfatos. Es importante mencionar que las aguas del pozo NA-652 se distinguen por contener arsénico, alrededor de 6 $\mu\text{g/L}$. El otro grupo de aguas de la formación Aguacate (NA-639, NA-672, RG-548) no están enriquecidas en sulfatos.

Las aguas de la formación Aguacate tienen influencia de alteración hidrotermal ya que muestran enriquecimiento en SO_4 y valores bajos en Cl.

Las aguas de la formación Aguacate sin alteración hidrotermal (NA-639, NA-672, RG-548) tienen valores bajos en sulfatos. Las aguas del pozo NA-639 tienen una evolución a lo largo de la línea teórica de mezcla con agua del mar. Estas aguas tienen una concentración en nitrato alto (encima de 30 mg/L) que podría también explicar en parte el enriquecimiento en cloruro.

Las aguas que circulan en el Lacustre de Palmares tienen una concentración alta en SO_4 y en Cl. El sulfato podría provenir de los minerales presentes en las rocas o también de la misma fuente de contaminación que aporta nitrato y potasio a las aguas.

Los manantiales al pie del volcán Poás (Cholina, Chayotera y Prendas) están enriquecidos en sulfatos por deposición atmosférica influenciada por el volcán. La presencia de sulfatos en el aire está confirmada por el análisis de las aguas de lluvia de la estación de Finca Inés.

Además una muestra de la formación Bajos del Toro, NA-523, también tiene un contenido en sulfato un poco más alto (16-20 mg/L).

Las aguas de las formaciones Barva y Colima tienen baja mineralización. El principal fenómeno que permite un cambio químico de las aguas del Barva parece ser la contaminación. Las aguas del Paleopoás tienen una composición química influenciada por los depósitos volcánicos y presentan concentraciones en sulfatos relativamente altas. Una parte de las aguas del Aguacate muestran claramente una variación química debido a la influencia de la alteración hidrotermal. Las variaciones del Colima se dan principalmente en las concentraciones de calcio, magnesio y bicarbonato y podría relacionarse al tiempo de residencia de las aguas en el sistema.

Las aguas de las formaciones Achioté, Bajos del Toro y Poasito no cambian o cambian muy poco y son pobres en minerales. Esto indica una interacción débil con la roca por tiempos de residencia cortos del agua en el acuífero.

Teniendo en cuenta las prácticas y la ocupación de los suelos se puede decir que el origen dominante de los nitratos en las aguas de los puntos muestreados es de tipo orgánico, animal o de aguas negras (Cuadro 2 y Figura 10).

Cuadro 2: Uso de la tierra en la subcuenca del río Grande para el año 2012

uso	Área km ²	Porcentaje
Bosque	150,45	23,46
Café	232,70	36,29
Caña	42,64	6,65
Charral	19,95	3,11
Forestal	2,30	0,36
Frutal	2,44	0,38
Otros Cultivos	52,30	8,15
Pastos	96,41	15,03
Terreno no Cultivable	0,69	0,11
Urbano	41,43	6,46
Total	641,32	100

Fuente: propia

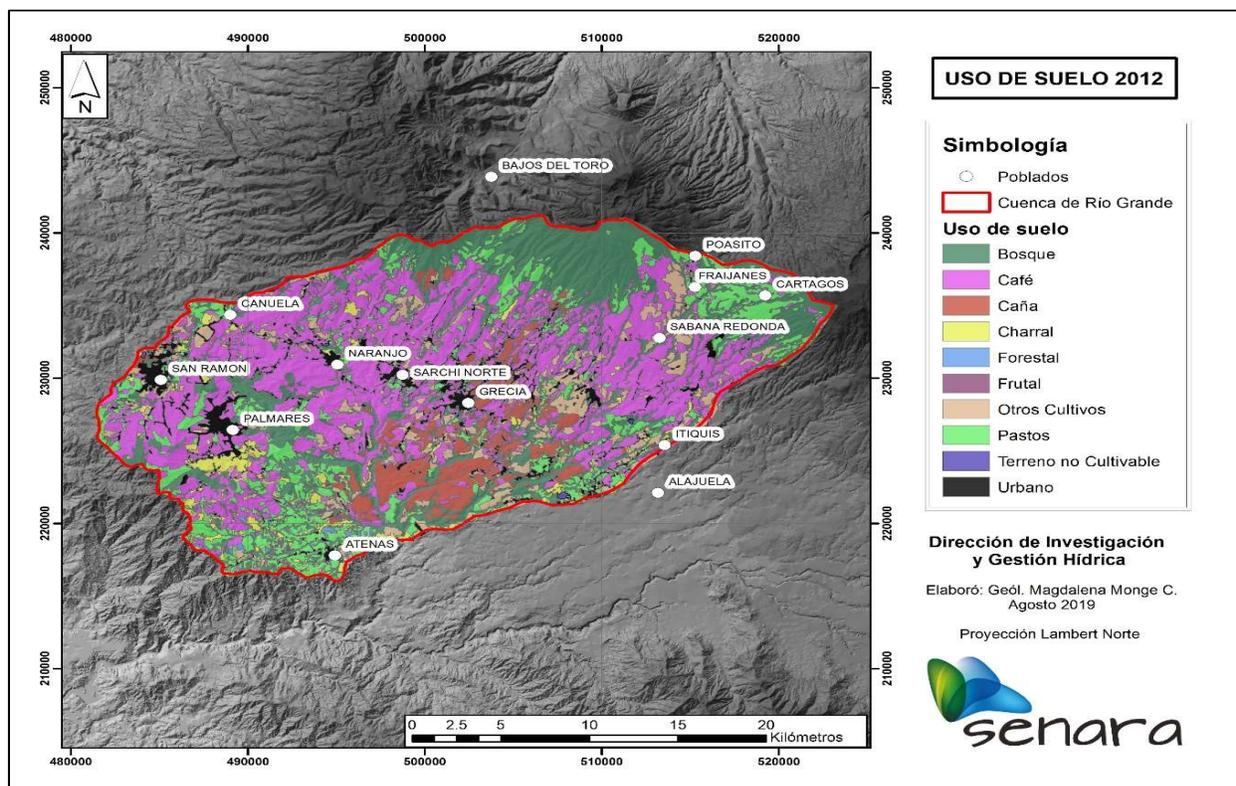


Figura10: Mapa de uso de la tierra subcuenca río Grande para el 2012

Propiedades físicas de los suelos

Los suelos de la subcuenca del río Grande se asocian con diversos materiales volcánicos, principalmente cenizas, por lo que desde el punto de vista agronómico se pueden clasificar como andisoles. Según Alvarado et al. (2001) los andisoles tienen las siguientes características:

- Alta porosidad total y de macroporos que ayudan a la formación de microagregados estables y a favorecer una alta velocidad de infiltración.
- Baja densidad aparente.
- Susceptible a la compactación por el pisoteo animal.
- Elevado contenido de materia orgánica, lo cual puede reducir su densidad aparente y favorecer la retención de humedad.

Un suelo arcilloso con un mayor porcentaje de microporos (menores de 10 micras) tiene una capacidad de almacenaje mucho mayor que un suelo arenoso, por lo que el agua disponible será también mayor (Henriquez & Cabalcet, 1999).

Desde el punto de vista geotécnico, los suelos de la subcuenca del Río Grande se clasifican como Limos elásticos con plasticidades desde intermedias hasta extremadamente altas. La profundidad promedio de muestreo fue de 2,5 m. La porosidad total de estos suelos es alta, varía entre 37,1-82,2%, con un promedio de 57,1%, y las densidades aparentes son bajas, en el rango de 0,45-1,24 g/cm³, estos datos son característicos de suelos de textura fina según lo reportado por varios autores (Henriquez & Cabalcet, 1999; Ivañez & Marinquez, 2011).

Balance Hídrico de suelos

Se calculó la recarga potencial para cada una de las unidades litológicas que afloran en el área de estudio (Cuadro 3 y figura 11).

Cuadro 3: Datos de recarga potencial obtenidas en el área de estudio

Unidad Asociada	Área (m ²)	Recarga potencial (mm/año)	Volumen (m ³ /año)	Volumen (L/s)
Fm. Tiribí	89167540,21	15679,84	53783548,51	1705,46
Grupo Aguacate	109336576,46	11860,47	68487668,21	2171,73
Paleopoás	209339953,49	40196,16	263188750,8	8345,66
Tobas y tobitas Grupo Aguacate	15426696,57	7004,55	8543765,27	270,92
Bajos del Toro-Viejo	95309203,96	11059,33	108164037	3429,86
Poasito	29926001,54	9457,26	56544346,98	1793,01
Volcán Barva	85965610,67	65014,52	124086035,5	3934,74
TOTAL	634471582.81		682798152.3	21651.388

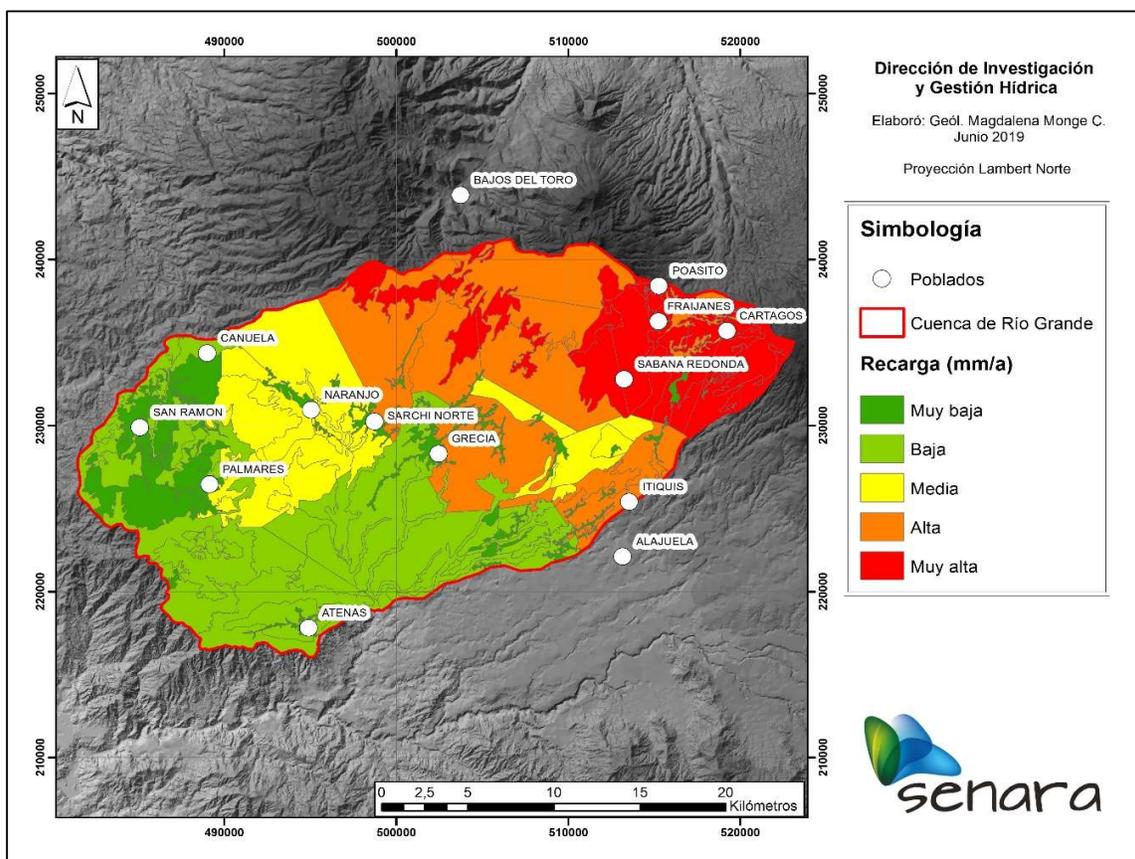


Figura 11: Clasificación de la recarga potencial.

Cuadro ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2: Rangos para clasificación de la recarga

Recarga	Rangos en mm/a
Muy baja	0 - 235,96
Baja	235,96 - 719,72
Media	719,72 - 1207,94
Alta	1207,94 - 1687,15
Muy Alta	1687,15 - 2146,89

Cuadro 4: Caudales según el uso del agua

Uso de agua	Caudales (L/s)
Riego	2694,46
Abastecimiento público	589,39
Doméstico (+ otros)	564,94
Industrial	183,42
Turístico	39,42
Agrícola, agropecuario y agroindustrial	30,72
Urbanístico	23,82
Granjas y abrevaderos	20,24
Autolavados	17,78
Abastecimiento hospitalario	13,42
Embotellamiento	4
Comercial	1,65
Alimenticio	0,375
TOTAL	4183,63

La extracción total corresponde a 4183,63 L/s.

En cuanto a la descarga de los manantiales, se encontraron 1510 manantiales registrados en la Base de Datos de SENARA. Para los casos en que no se conocía el caudal, se asumió un caudal de 0,1 L/s.

En total, se obtiene una descarga de 3518,15 L/s.

A partir de los datos anteriores, se realiza el cálculo de caudal disponible en la subcuenca de Río Grande. El siguiente cuadro muestra los datos utilizados:

Cuadro 5: Datos para estimación de caudal disponible

Recarga potencial (L/s)	21651
Descarga de manantiales (L/s)	3518,16
Extracción de pozos (L/s)	4183,99
Caudal disponible (L/s)	13949
40% del caudal disponible (L/s)	5580

Ponce (2007), indica que el rendimiento sostenible puede expresarse como un porcentaje de la recarga, en el que los valores medios pueden ser de alrededor del 40%. Por lo que para toda la subcuenca de Río Grande se estima un caudal utilizable de 5580 L/s.

Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos

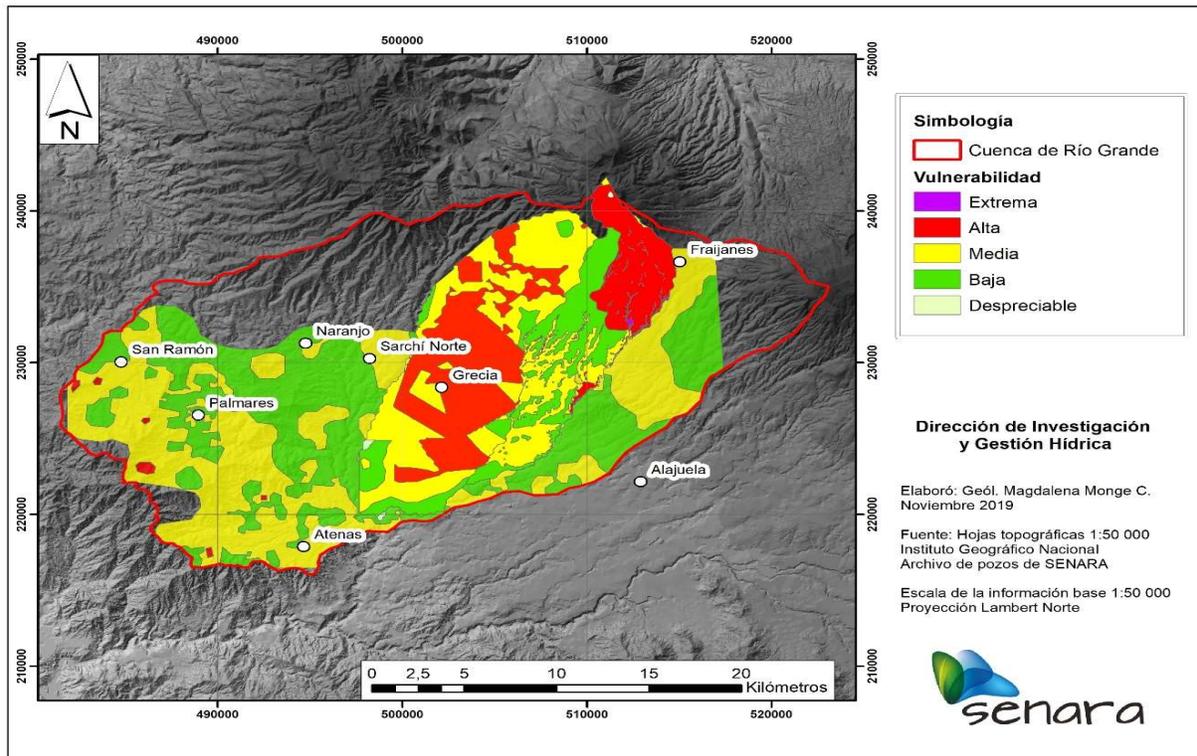


Figura 12: Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos.

Recomendaciones y lineamientos de manejo

Se establecen las siguientes recomendaciones y lineamientos de manejo para garantizar la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, como elemento básico para articular las comunidades y la economía de las áreas involucrados en este estudio.

En el tema de vulnerabilidad se emiten las siguientes recomendaciones:

- En el caso de desarrollo de proyectos urbanísticos y para todas las categorías de vulnerabilidad, se debe aplicar el Decreto 42075-S-MINAE “Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas”, publicado en el Alcance Digital N°87 a la Gaceta N°80, del 14 de abril del 2020.
- Para vulnerabilidad despreciable y baja: Es factible el desarrollo de actividades industriales y comerciales que utilicen sustancias de baja, media y alta toxicidad. Utilizar buenas prácticas agrícolas e implementar las medidas necesarias para minimizar el impacto negativo al ambiente, recomendadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ministerio de Salud, para el manejo adecuado de las sustancias químicas, biológicas o afines para uso agrícola.
- Vulnerabilidad media: Se recomienda el desarrollo de actividades de baja y media toxicidad.

Desarrollar la infraestructura y las medidas de control necesarias para evitar el riesgo de contaminación de suelos y aguas (manejo de excretas, aguas servidas y efluentes, manejo y almacenamiento de productos, trampas de grasas y aceites, entre otros). Para las actividades de alta toxicidad, se recomienda implementar un plan de monitoreo y seguimiento ambiental de las aguas subterráneas, para prevenir futuras contaminaciones.

Implementar buenas prácticas agrícolas y las medidas necesarias para minimizar el impacto negativo al ambiente, recomendadas por el Ministerio de Agricultura y Pájina Ganadería, el Ministerio de Salud, para el manejo adecuado de las sustancias químicas, biológicas o afines para uso agrícola.

- Vulnerabilidad alta: Se recomienda el desarrollo de actividades de baja y media toxicidad. No se recomienda el desarrollo de actividades de alta toxicidad.

Desarrollar la infraestructura y las medidas de control necesarias para evitar el riesgo de contaminación de suelos y aguas (manejo de excretas, aguas servidas y efluentes, manejo y almacenamiento de productos, trampas de grasas y aceites, entre otros).

Las actividades agropecuarias que de manera puntual utilicen, almacenen o descarguen sustancias contaminantes deben utilizar sistema de tratamiento, avalado por el Ministerio de Salud.

Implementar buenas prácticas agrícolas y las medidas necesarias para minimizar el impacto negativo al ambiente, recomendadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ministerio de Salud, para el manejo adecuado de las sustancias químicas, biológicas o afines para uso agrícola.

- Para zonas donde no se determinó una vulnerabilidad, dentro del proceso de permisos que establece la legislación vigente, deben proceder con los estudios técnicos que cada institución solicite en sus debidos procedimientos para evaluar la actividad.

Con respecto a la Recarga se indican las siguientes recomendaciones:

Mientras no se cuente con un plan regulador cantonal con la Variable Hidrogeológica incorporada y aprobada, las actividades deberán garantizar el mantener un 80% de la recarga estimada. Para esto, los desarrolladores podrán manejar la cobertura del terreno, utilizar materiales de construcción permeables, o aplicar técnicas para el mejoramiento de la recarga artificial de los acuíferos. En ese sentido, el SENARA cuenta con el documento técnico “Manual de Técnicas para el Mejoramiento de la Recarga Artificial de Acuíferos”, que puede ser consultado y aplicado por los distintos interesados. Una vez que los gobiernos locales cuenten con planes reguladores con variable hidrogeológica incorporada y aprobada, se recomendarán coberturas específicas.

Se considera adecuado que en las zonas categorizadas como de recarga muy baja, durante los procesos de elaboración de la variable hidrogeológica para planes reguladores, a nivel de los gobiernos locales se investigue con mayor detalle las velocidades de infiltración y otros parámetros del suelo, con miras a establecer con mayor precisión la continuidad espacial de la categoría de recarga muy baja que se determinó.



Para mayor información, contactar a la Dirección
de Investigación y Gestión Hídrica en SENARA
Teléfono: 2257-9733 ext. 354
Correo electrónico: rmatamoros@senara.go.cr