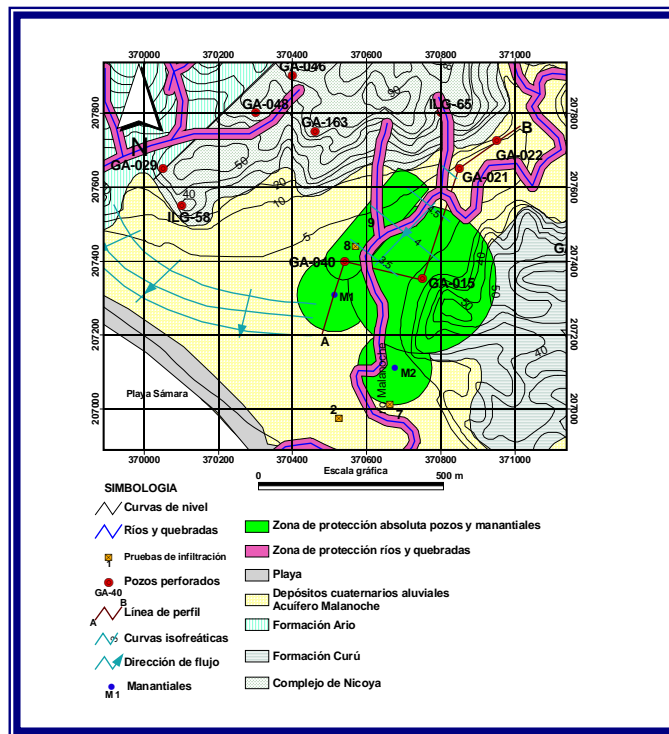


SERVICIO NACIONAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, RIEGO Y AVENAMIENTO  
 ÁREA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



“HIDROGEOLOGÍA DE LAS CUENCAS DE MALA NOCHE Y BUENVISTA”  
 SÁMARA DE NICOYA, GUANACASTE



Noviembre, 2006

# I INTRODUCCION

## 1.1 GENERALIDADES DE LA ZONA

La zona de playa Sámara, ubicada en el Pacífico Norte de Costa Rica, es una zona declarada de turismo primario por parte del Instituto Costarricense de Turismo; situación que ha generado un gran incremento en la demanda del recurso hídrico subterráneo. Debido a lo anterior se vio la necesidad de establecer las zonas de protección de los mantos acuíferos e instaurar las medidas de mitigación que provoca el desarrollo económico de la zona.

Como se ha mencionado la zona presenta características naturales que provocan el desarrollo de hoteles, restaurantes y otros centros recreativos en zonas de recarga acuífera o en zonas con altos potenciales acuíferos. El desarrollo en las partes elevadas de la zona provoca la impermeabilización del terreno reduciendo con ello la capacidad de recarga. Es por esto que es necesario establecer las medidas correctivas y buscar un equilibrio entre el desarrollo turístico y la protección del recurso hídrico antes que la sobreexplotación de los recursos naturales deteriore la calidad del agua.



**Fotografía 1: Desarrollo de proyectos en la cuenca alta del río Mala Noche.**

## **1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La zona de estudio se ubica en la región de Guanacaste en la parte costera del cantón de Nicoya. Administrativamente lo constituyen los distritos de Samara y parte del distrito de Nicoya. Geográficamente se ubica en las coordenadas 362-367E / 204-214N, de las hojas topográficas de Garza y Cerro Azul, 1:50000 del IGN. La zona en la que se basa principalmente este estudio cubre la cuenca del río Mala Noche y la parte baja de la cuenca del río Buenavista. (Figura 1)

## **1.3 OBJETIVOS**

- ✓ Recopilar la información existente de la geología hidrogeología de la zona.
- ✓ Interpretar los datos recopilados en trabajos anteriores.
- ✓ Establecer de manera general las características hidrogeológicas de la zona.
- ✓ Identificar los principales acuíferos de la zona.

## **1.4 METODOLOGIA**

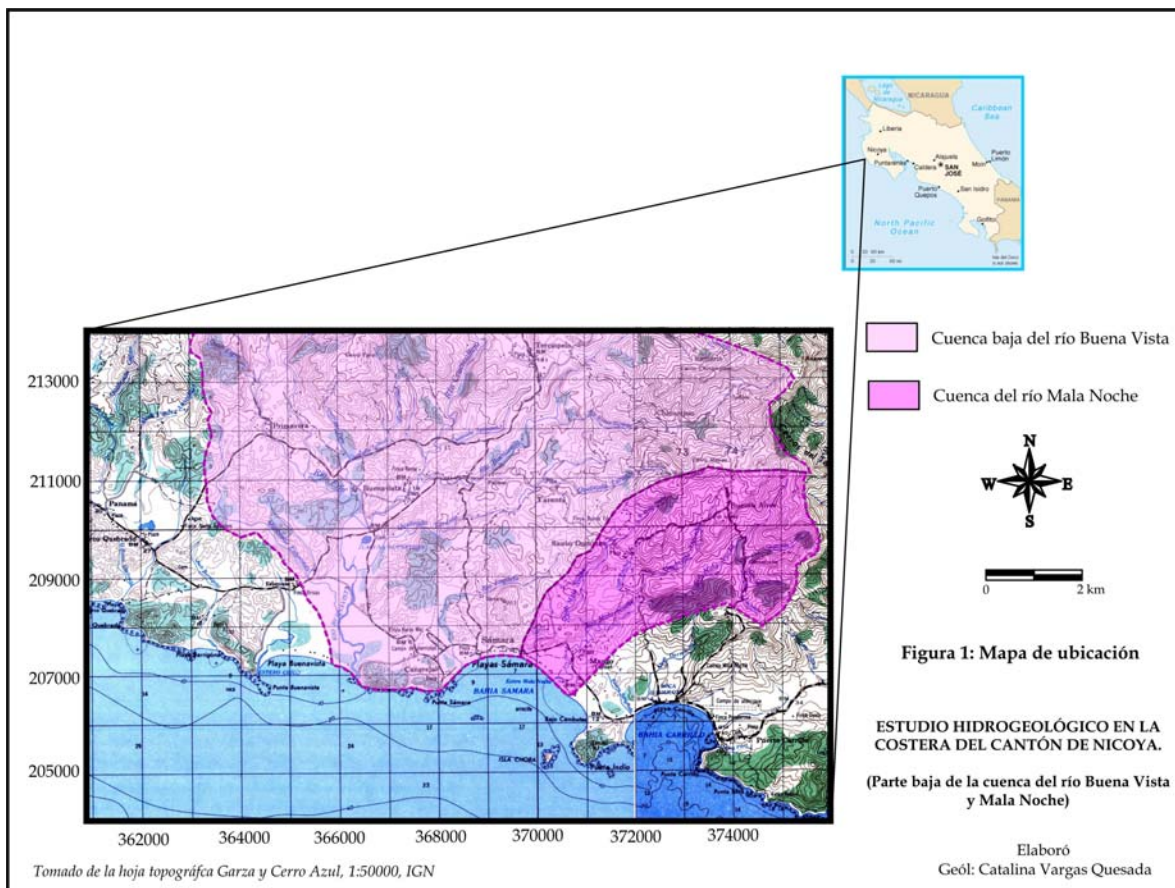
Para la elaboración del presente estudio se realizó la siguiente metodología:

- ✓ Recopilar toda la información existente en la zona, como las campañas geológicas, estudios técnicos elaborados y practicas geológicas
- ✓ Recopilación de los pozos registrados en el SENARA, como también la recopilación de los datos del Departamento de Aguas del MINAE y Acueductos y Alcantarillados
- ✓ Posteriormente se realizó la interpretación hidrogeológica con la identificación de los acuíferos y la relación de la geología con ellos.

## **1.5 TRABAJOS ANTERIORES**

La zona de Guanacaste específicamente Nicoya ha sido estudiada por diversos autores, su origen geológico es complicado y compuesto por diferentes litologías mezcladas entre sí.

Geológicamente Dengo (1962), define el Complejo de Nicoya, luego Kuipers (1979) separa el Complejo en dos unidades Unidad MataPalo y Unidad Esperanza, mientras que Astorga (1987) define los Supergrupos de la zona y trabaja con las formaciones Sabana Grande, Curú y Puerto Carrillo. Una base de información geológica muy importante son



los mapas e informes geológicos que se generaron en la Campaña Geológica de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica, en el año 1980.

Hidrogeológicamente se han realizado varios trabajos por parte del Área de Aguas Subterráneas del Senara (Morera & Matamoros (2003), Practicas Geológicas (2001 y 2006); con el principal objetivo de contar con información técnica-científica para cuantificar la disponibilidad de agua; la cual será de vital importancia para la toma de decisiones de los diferentes grupos interesados en el desarrollo sostenible y el ordenamiento territorial que se tiene que planificar, para no impactar de manera irreversible sobre las zonas de recarga de los acuíferos locales; así como también en las zonas altas de las cuencas de los ríos Buenavista y Malanoche.

Alfaro (2006); realiza un estudio hidrogeológico muy local del acuífero Malanoche; caracterizando los depósitos aluviales y estableciendo cuales tienen que ser las limitaciones

de uso del suelo para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por actividades antrópicas.

### 1.6 CLIMATOLOGIA DE LA ZONA

La región de Guanacaste se caracteriza por ser una región seca en la mayoría de los meses. Con base en la estación Fercó Garza se determinó que la precipitación promedio anual es de 2855,3mm. El mes más lluvioso corresponde a septiembre con 633,2mm de precipitación y el más seco es diciembre con 0 mm de precipitación. (Figura 2)

La temperatura promedio varía de 28,3 a 25,4°C en los meses de abril y octubre respectivamente. (Figura 3)

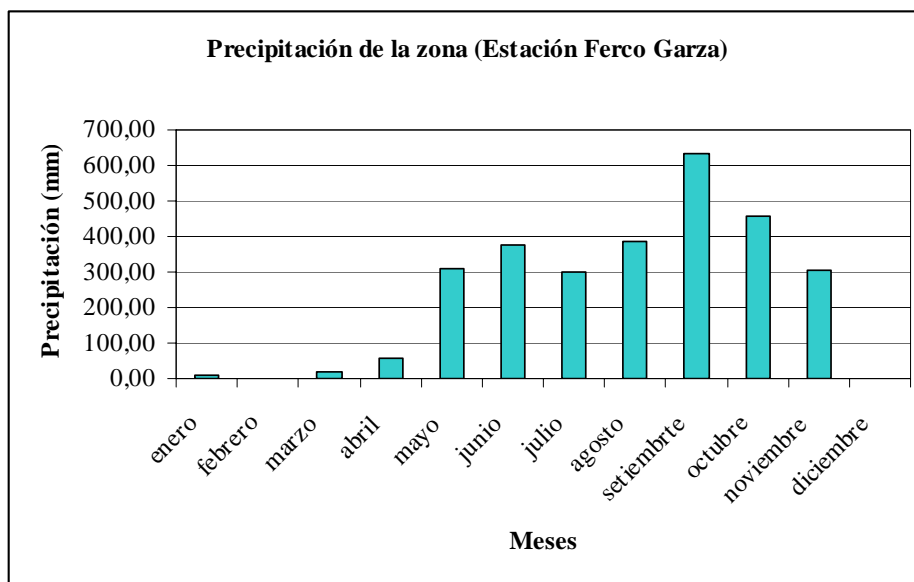
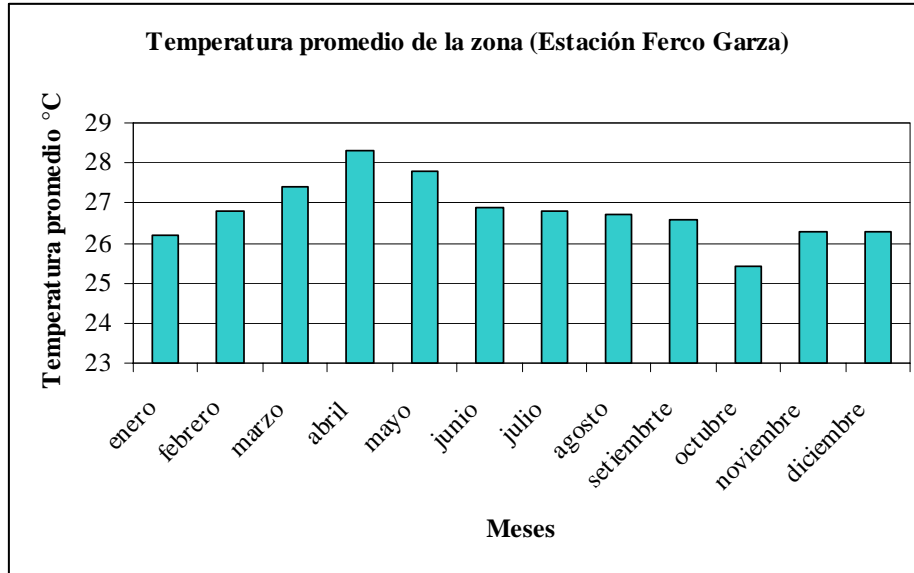


Figura 2: Gráfico de la precipitación promedio



**Figura 3: Gráfico de la temperatura promedio**

### 1.7 USO DEL SUELO

El uso del suelo que presenta el área de estudio, presenta cuatro diferentes usos:

1. Bosque: comprende el bosque primario, aproximadamente 40% del área
2. Charral: se encuentran los potreros, pastizales y sitios sin cultivar, cubiertos por malezas, corresponden aproximadamente al 45% de la zona
3. manglar: se localiza en la costa de Playa Buena Vista y corresponde a un 5% del área.
4. Poblaciones: comprende los caseríos y poblados de la zona, es cerca de un 10% del área. (Barahona & Vargas, 2001)

## II GEOLOGIA

### 2.1 GEOLOGIA GENERAL

La zona de estudio se localiza en el Segmento Norte del arco de Costa Rica, específicamente en la Cuenca Sámara - Cabo Blanco definida por Astorga (1987), la cual ha sido dividido en cuatro supergrupos (Figura 4).

Litológicamente se encuentra compuesto por rocas volcánicas pertenecientes al Complejo de Nicoya y rocas sedimentarias pertenecientes a las Formaciones Sabana Grande y Curú. En el cuadro 1.1 y 1.2 se presentan las características de cada una de las formaciones del área. (Figura 5)

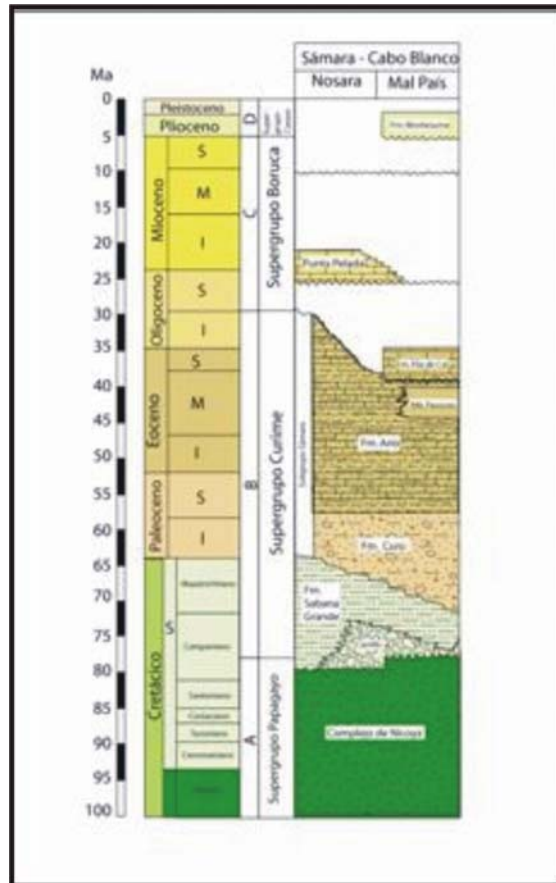


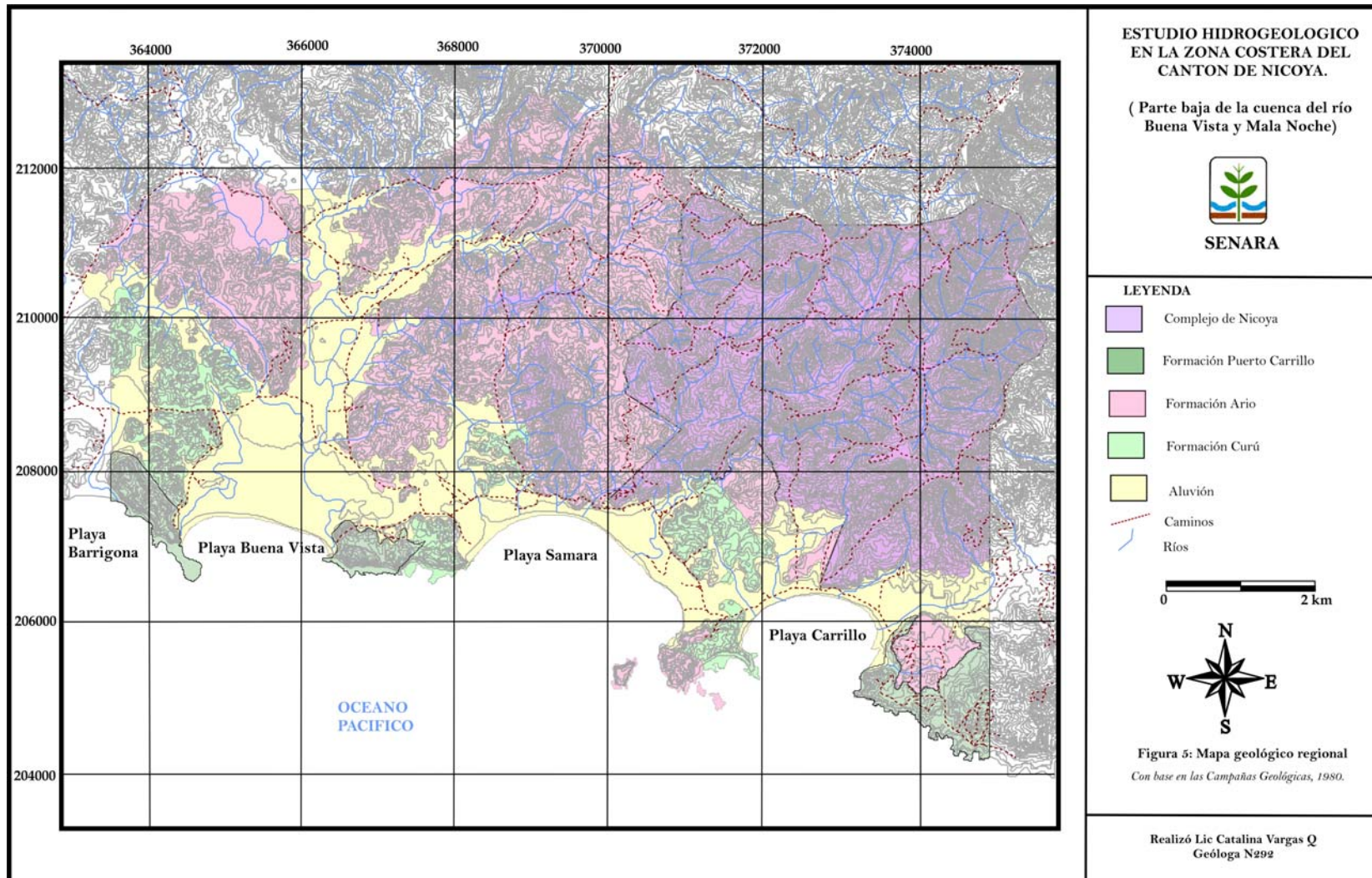
Figura 4: Columna estratigráfica regional. (Tomada de Quintanilla & Vargas, 2006, con base en Sprechman et al 1994)

GRUPO	FORMACION	AUTORES	LITOLOGIA	EDAD	ESPESOR	ORIGEN	RELACION ESTRATIGRAFICA
Supergrupo Papagayo Baumgartner et al. (1984)	COMPLEJO DE NICOYA  Unidad Matapalo Unidad Esperanza Kuipers, 1980	Definida por Dengo (1962) Kúijpers (1979) Astorga (1987) (Baumgartner et al., 1984;	rocas ígneas y sedimentarias en Asociación compleja de basaltos y rocas intrusivas, calizas silíceas pedernales y grauvacas, Unidad Matapalo: conformada por basaltos y otras rocas sedimentarias e ígneas asociadas. Unidad Esperanza: constituida también, por basaltos y otras rocas sedimentarias asociadas	Unidad Matapalo Jurásico Inferior Cretácico. Baumgartner et al, 1984 Unidad Esperanza Cretácico Superior Terciario. Alvarado et al (1992)		originada por la combinación de procesos volcánicos submarinos, de erosión de las rocas resultantes y la sedimentación de sus detritos, deformadas tectónicamente y Parcialmente metamorfozadas	Las rocas de esta unidad son sobreyacidas inconformemente por las formaciones Loma Chumico, Brechas Puerto Carrillo y Sabana Grande.
Supergrupo Curime  Astorga et al (1991)	FORMACION CARRILLO  Miembro Bajo Escondido:  Miembro Barbuda (Astorga, 1987).	Dengo (1962) y Kúijpers (1979) lo incluyen dentro del Complejo de Nicoya. En Sprechman (1984) es separada y definida formalmente como formación de Puerto Carrillo, ubicando la localidad tipo en Playa Puerto Carrillo.	Sprechman (1984) la definió como brechas mal estratificadas, constituidas por materiales basálticos con Ocasionales clastos de gabro y jaspe de color amarillo arenitas dispuestas en forma lenticular y calcilitas intercaladas con las brechas <b>Miembro Bajo Escondido:</b> conformada por brechas basálticas y areniscas basálticas que se caracterizan por la ausencia de clastos sedimentarios de origen nerítico. <b>Miembro Barbuda:</b> corresponde con depósitos de brechas sedimentarias a la base de escarpes insulares. Se componen de brechas y brechas arenosas.	La edad de esta formación varía desde Santoniano Superior al Campaniano Medio,  Miembro Bajo escondido tiene una edad de Santoniano Superior, mientras que el Miembro Barbuda sería de edad Campániano Superior (Astorga, 1987).	Sprechman (1984), indica que la formación tiene espesores reducidos de 0.5m hasta alcanzar excepcionalmente 100 m.	Astorga (1987) considera su origen relacionado con la deposición de flujos tractivos y la caída de rocas a la base de escarpes submarinos.	Sobreyace inconformemente los basaltos del Complejo de Nicoya, pasando lateralmente a los sedimentos de la Formación Sabana Grande (Astorga, 1987).
	FORMACION SABANA GRANDE	La formación fue definida por Dengo (1962). Baumgartner et al (1984) la ascienden a rango de Grupo, mientras que Astorga (1987) considera innecesario el uso de rango por lo que redefine a Formación Sabana Grande	Litológicamente está compuesto por lutitas calcáreas, lutitas silíceas y areniscas finas calcáreas.  Se compone de una serie de unidades depositacionales, constituidas por sedimentos predominantemente finos (arcillas biogénicas y no biogénicas) de variable composición e intercalaciones de areniscas turbidíticas y pelitas tobáceas.	Albiano al Maastrichtiano Medio/Superior (Astorga, 1987).		Astorga (1987) indica que la Formación está dominada por una deposición pelágica que ocasionalmente es interrumpida por el aporte de material terrígeno a través de corrientes de turbidez de baja concentración y de material tefrítico (cenizas)	Sobreyace concordantemente o pasa lateralmente a la Formación Puerto Carrillo, o también sobreyace concordantemente e inconformemente al Complejo de Nicoya. (Astora, 1987)

Cuadro 1.1: Geología Regional de la zona

GRUPO	FORMACION	AUTORES	LITOLOGIA	EDAD	ESPESOR	ORIGEN	RELACION ESTRATIGRAFICA
<b>Supergrupo Curime</b>  Astorga et al (1991)	<b>Subgrupo Sámará</b>  Formaciones Arío.	Fue introducido formalmente por Sprechmann (1982) para designar los sedimentos turbidíticos. Baungartner et al (1984) la ascenden a rango de Grupo Sámará. Astorga (1987) restringe su uso al área que cubre la Cuenca Sámará-Cabo Blanco así como integra a las Formaciones Curú y Arío.	Litológicamente corresponde con secuencias cíclicamente intercaladas de alternancias de areniscas y lutitas y areniscas que eventualmente pasan a conglomerados. Su composición es volcanoclástica basáltica, donde es característica la abundancia de magnetita y la ausencia total de cuarzo (Astorga, 1987)	Maastrichtiano Medio/Superior al Paleoceno (Astorga, 1987)	Este sistema deposicional alcanza un espesor promedio de 1500 m, con mínimos de 600m	Astorga (1987) indica que es compuesto por tres tipos de depósitos, con cinco facies:: 1) depósitos de flujos turbulentos lodo-arenosos 2) depósitos de flujos turbulentos arenosos 3) depósitos turbidíticos retrabajos 4) depósitos de flujos turbulentos gravosos 5) depósitos de flujos de escombros	Su contacto inferior es gradual con la Formación Sabana Grande y su contacto superior es con la Formación Arío. (Astorga, 1987)
	<b>Subgrupo Sámará</b>  Formación Calcilitas Arío	(Astorga, 1987) (Calvo, 1987)	Litológicamente consiste de calcilitas de estratificación delgada a media, con intercalaciones irregulares de areniscas turbidíticas, lutitas pelágicas, brechas basálticas y areniscas bioclásticas.	Paleoceno Superior a Eoceno Superior / Oligoceno Inferior (Astorga, 1987).			Estratigráficamente esta formación sobryace concordantemente a la Formación Curú, su contacto superior está marcado por una discordancia con sedimentos neríticos carbonatados y silicoclásticos (Calvo, 1987)

Cuadro 1.2: Geología Regional de la zona

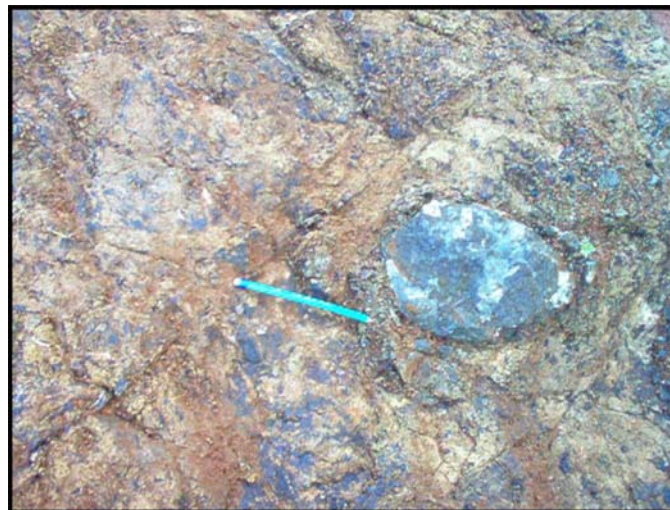


## **2.2 GEOLOGIA LOCAL**

Para establecer las características de la geología local se tomó en cuenta los mapas e informes geológicos que se generaron en la Campaña Geológica de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica, en el año 1980. En este cartografiado se identificaron unidades de basalto correspondientes al Complejo de Nicoya, las unidades de calcilutitas superior e inferior, correspondiente a la Formación Ario, las intercalaciones de areniscas y lutitas, depósitos de Canal correlacionables a la Formación Curú.

### **2.2.1 Unidad de basalto**

Aflora en la margen derecha del río Mala Noche, corresponde a un basalto color verde oliva a pardo rojizo cuando se encuentra meteorizado, formando suelos lateríticos, con meteorización tipo cebolla, con óxido de hierro y manganeso (Sáenz, 1980) (Fotografía 2) De acuerdo con Gamboa (1985), el Complejo de Nicoya aflora como basaltos con estructura masiva con textura afanítica de baja porosidad aparente, presenta pátinas de oxidación de hasta 0.5 cm de espesor, costras de manganeso producto posiblemente de la actividad hidrotermal y tonalidades verdes debidas aparentemente a cloritización.



**Fotografía 2: Basaltos meteorizados de la zona de estudio, donde se observa el material coluvial que se va formando en los basaltos.**

### **2.2.2 Unidad de calcilitita inferior**

Aflora en la parte este y oeste son compuestas por calizas a calcilititas, presentan colores de pardo a café con tonalidades blancuzcas que cuando se alteran, presentan textura arenosa, estas rocas se encuentran dispuestas de en forma laminar con estratos que varían de 5 a 15cm. (Saenz, 1980)

### **2.2.3 Unidad de calcilitita superior**

Es gris clara con tonalidades blancuzcas, café amarillenta cuando se altera, con grano fino de buena selección, la estratificación es definida por estratos tabulares de 30-50cm, se encuentran intercaladas con limonitas de color gris claro, friables con espesores de 10 cm. (Saenz, 1980)

Mosheim (1980), determina una secuencias de calcilititas margas y en menor proporción areniscas, con un espesor máximo es de 250m. Presentan una dirección estratigráfica de NW y un buzamiento de SW que varia de 30-40°.

### **2.2.4 Unidad de areniscas y lutitas**

Las areniscas y lutitas se encuentran dispuestas en intercalaciones donde las areniscas presentan variaciones en la textura y granulometría.

Algunas partes se presentan intercalaciones de areniscas y lutitas calcáreas, areniscas de grano fino a medio de 20 cm hasta 1,40 m.

Estas intercalaciones de areniscas y lutitas se encuentran plegadas y falladas, el espesor total de esta subunidad es de 200 metros.(Saenz, 1980)

Las areniscas masiva se encuentra intercalada dentro de la subunidad de arenisca gruesa y lutita. Localizadas en la parte este de la playa Samara. Algunas de las estructuras sedimentarias que se presentan son bolas de barro, con clastos de hasta 50 cm, con un espesor de 5m. (Saenz, 1980)

Presenta un patrón regional de buzamiento hacia el suroeste, variando de S60°W y S30°W, con ángulos de 35 a 40°. (Mosheim, 1980)



**Fotografía 3: Intercalaciones de areniscas y lutitas de la Formación Curú.**

### **2.2.5 Unidad de depósitos de Canal**

Secuencias de areniscas de grano grueso a medio con pocas intercalaciones arcillosas. Afloran ampliamente a lo largo del camino que conduce desde la carretera Sámara-Nosára, hasta la punta de Buena Vista. El espesor máximo es de 480 m. esta constituido por areniscas de grano grueso y lutitas, teniendo estratos de mas de 2 metros.

Tiene un dirección estratigráfica de NW y un buzamiento hacia el sur, con ángulos de 55-35. (Mosheim, 1980)

### **2.3 ESTRUCTURAS**

La zona se encuentra plegada, fallada y con un fracturamiento intenso, algunas de las fallas identificadas durante en mapeo realizado en los años 80 son:

- **Falla Río Mala Noche**

Rumbo N60°E, extensión de 3km, presenta un contacto litológico entre la unidad de basalto y las calcilutitas inferiores. Es inferida en el campo con base a criterios geomorfológicos como alineamiento de los cerros y cambios bruscos de topografía, se infiere que es una falla normal. (Saenz, 1980)

- **Falla Quebrada Mala Noche**

Rumbo N40°E , presenta una extensión de 1.5 km.

- **Falla el Palmar**

Ubicada en la parte oeste con una orientación N55°W y una extensión de 3 km aproximadamente, sirve como contacto litológico entre las unidades de basalto y calcilitas, es una falla inferida como normal.

- **Falla Lagarto**

Con una orientación de N70°E, se encuentra a lo largo del río Lagarto, es inferida como una falla de desplazamiento de rumbo.

### III HIDROLOGIA

El área de estudio incluye la parte baja de la cuenca del río Buenavista y la cuenca del río Mala Noche. En la figura 6 se presenta el mapa con la delimitación de las cuencas hidrográficas de la zona de estudio.

Los principales afluentes del río Buenavista son la quebrada Esterones, río Frío y la quebrada Taranta; destaca también la existencia de la laguna Buenavista; mientras que los principales afluentes en la microcuenca del río Malanoche son la quebrada Malanoche y la quebrada Arguedas. (Figura 6)

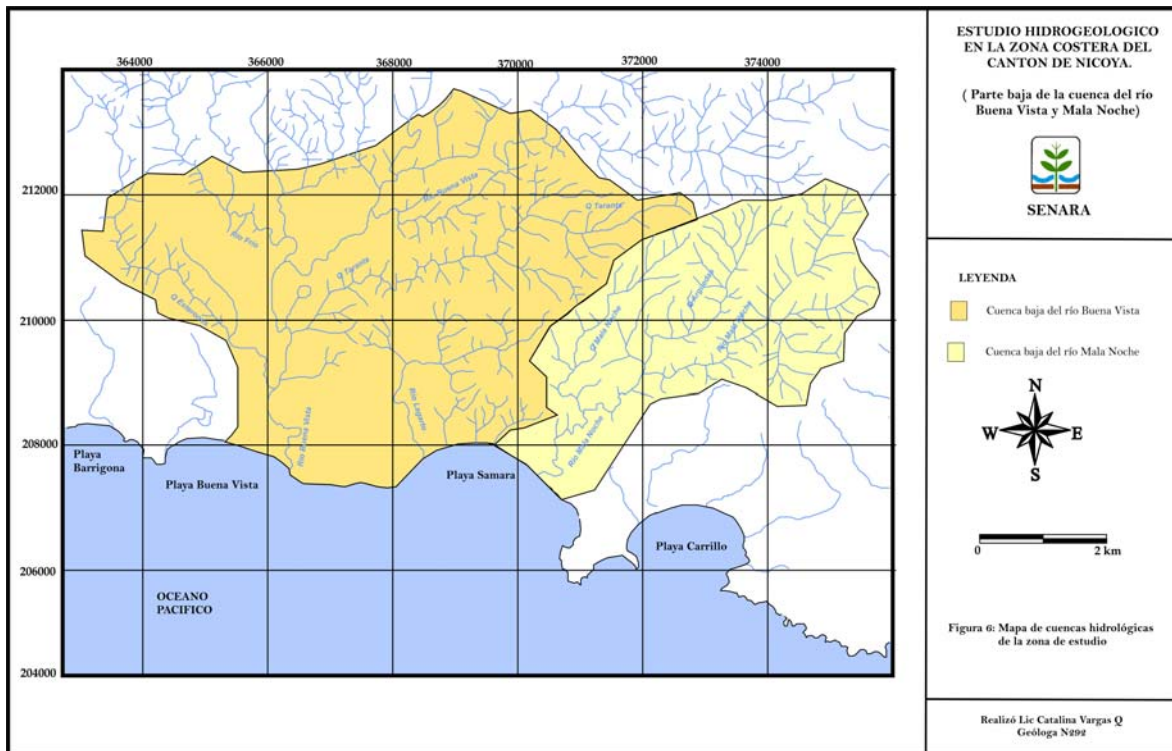
En el cuadro 2 se presentan las áreas respectivas de cada microcuenca.

<b>Cuenca</b>	<b>Área (Ha)</b>
Parte baja del río Buenavista	3402,97
Río Mala Noche	1531,23

**Cuadro 2: Áreas de las partes bajas las microcuencas de los ríos Buenavista y Mala Noche**

En las partes altas de ambas microcuencas están presentes tanto las rocas sedimentarias de las formaciones Arío, como los basaltos del Complejo de Nicoya; las cuales conforman los acuíferos que alimentan el flujo base de los ríos y las quebradas en los primeros meses de la época seca; la extensión areal de estos acuíferos es mayor a la delimitación de la cuencas realizadas en este trabajo.

Las rocas de la Formación Brechas Puerto Carrillo se localizan en las partes bajas de las microcuencas y no se tiene información acerca del potencial acuífero.



Las zonas de los depósitos cuaternarios aluviales son las zonas de menor pendiente en las microcuencas, y es en la que se localizan la mayor cantidad de pozos perforados y excavados, los ríos en estas zonas geológicas tienen un comportamiento influyente ya que en los primeros meses del verano se secan y no tienen agua.

La parte baja de la microcuenca del río Buenavista se ha determinado como una zona de humedales, por lo que no estrictamente un área con depósitos aluviales ya que permanece inundada la mayor parte del año y por ende tiene una baja potencial acuífero.

En la parte baja de la microcuenca del río Malanoche, sobre los depósitos aluviales, se encuentran los pozos de la ASADA que abastece de agua potable a la zona de Sámara; por lo que este acuífero costero es de suma importancia y tiene que protegerse ya que la profundidad del nivel del agua subterránea es menor a los 10 metros.

## IV HIDROGEOLOGIA

### 4.1 HIDROGEOLOGIA REGIONAL

La hidrogeología general de la zona se encuentra compuesto por materiales de origen volcánico y sedimentario. A las unidades geológicas establecidas en la zona de estudio se les asignaron las siguientes características hidrogeológicas:

- ✓ **Complejo de Nicoya.** Estos corresponden al basamento de la secuencia estratigráfica y se encuentran en las zonas más elevadas de la zona, específicamente hacia el noreste. Por lo general en las partes superiores se encuentran intensamente meteorizados, originando suelos de color café claro, presentándose en forma de coluvios con clastos de basalto sano, con meteorización esferoidal. (Fotografía 2). En cuanto a las características hidrogeológicas de estos basaltos presentan bajas capacidades de infiltración debido al carácter arcilloso producto de la meteorización, mientras que hacia las partes más profundas se encuentran más sanos y densos. La permeabilidad de estos basaltos en las zonas profundas es secundaria originado por la intensa facturación de la zona. El hecho que se presenten fracturas y fallas en los basaltos varia el comportamiento de los mismos debido a que la permeabilidad secundaria puede variar en función del fracturamiento de la zona.
  
- ✓ **La Formación Ario** es formada por calcilitas donde la permeabilidad se ve afectada por la disolución calcárea y las fracturas abiertas rellenas por las arcillas de meteorización. No representan acuíferos potencialmente explotables.
- ✓ **La Formación Curú** que es formada por depósitos turbidíticos, con intercalaciones de lutitas y areniscas, donde sus espesores varían de decímetros a centimétricos, incluso hasta métricos. Estas rocas presentan laminación paralela y se encuentran intensamente fracturadas. (Fotografía 3)
- ✓ **Depósitos Aluvionales**, corresponden a la zona que presenta un mayor potencial acuífero. Son acuíferos someros de origen aluvional, por las características morfológicas que presentan (pendientes planas y en ubicados en las partes bajas), constituyen los acuíferos más importantes del área, con permeabilidades moderadamente bajas (Cuadro 4). (Fotografía 4 )



**Fotografía 4: Acuífero aluvial de la zona de Samara. (Vista en planta)**

## **4.2 HIDROGEOLOGÍA LOCAL**

### **4.2.1 Acuíferos Prácticamente Ausentes (rocas de muy bajo potencial acuífero).**

Dentro de esta unidad se han agrupado las rocas volcánicas del Complejo de Nicoya; ya que por la génesis de las rocas tienen una porosidad y permeabilidad muy baja. El suelo que se desarrolla en estas rocas tiene texturas de arenas finas y limos y se realizaron dos pruebas de permeabilidad utilizando el método de Porchet, con un valor promedio de 0,009 cm/min, la porosidad promedio tiene un valor de 47,7% y la densidad real un valor promedio de 2,19 g/cm<sup>3</sup>. Actualmente estas rocas son aprovechadas hacia sus partes más profundas donde los basaltos se encuentran sanos con una permeabilidad secundaria, producto del fallamiento y fracturamiento. Estos pozos pueden rendir caudales entre 0,5 y 1,5 litros por segundo. (Figura 7)

### **4.2.2 Acuíferos (acuitardos) fracturados en rocas sedimentarias**

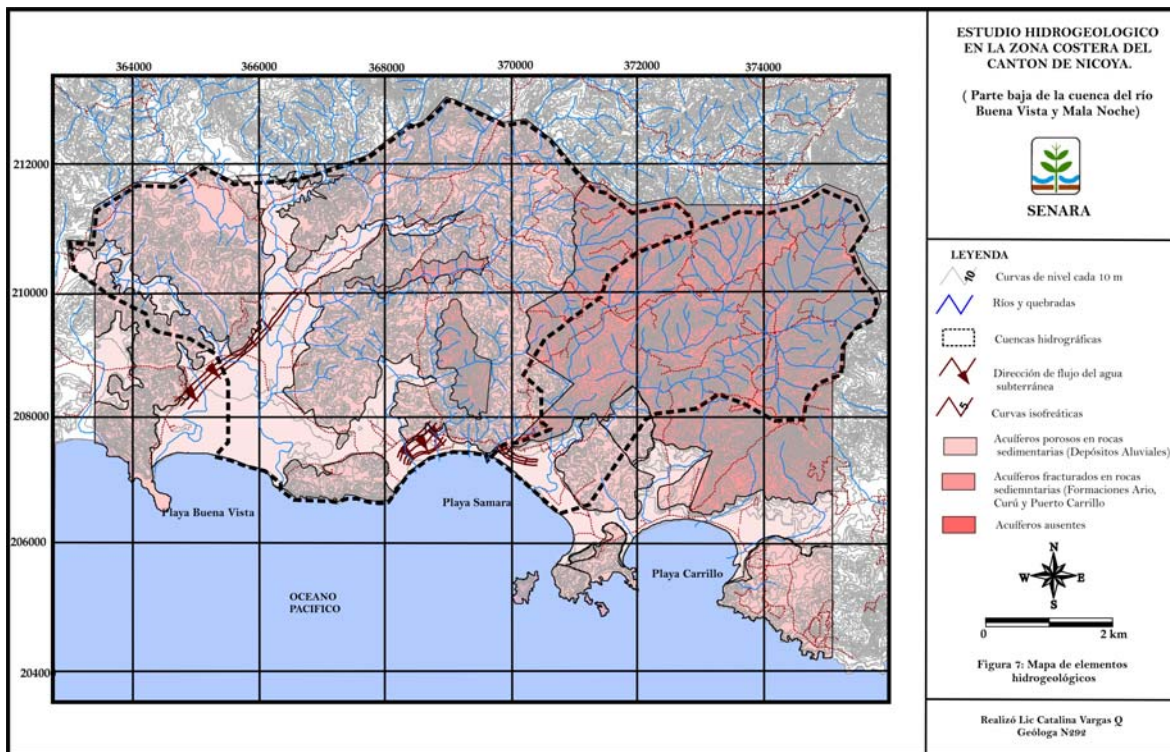
Las unidades sedimentarias terciarias (Formaciones Curú, Ario y Puerto Carrillo) en la zona de estudio se han clasificado como acuíferos fracturados en rocas sedimentarias con un potencial acuífero de medio a bajo; cabe destacar que la demanda del recurso hídrico en la zona ha provocado que sobre estas rocas se hayan perforado una gran cantidad de pozos;

con caudales que oscilan entre 1 a 4 litros por segundo. De acuerdo a los perfiles geológicos e hidrogeológicos estas rocas tienen un espesor promedio de 25 metros; sin embargo no existen pruebas de bombeo en algún pozo que tenga la suficiente información para calcular parámetros hidráulicos. El suelo que se desarrolla en estas rocas tiene texturas de arenas finas y limos; también se realizaron cinco pruebas de permeabilidad utilizando el método de Porchet, con un valor promedio de 0,009 cm/min, la porosidad promedio tiene un valor de 46,4% y la densidad real un valor promedio de 2,15 g/cm<sup>3</sup>.

#### **4.2.3 Acuíferos porosos en rocas sedimentarias (Depósitos Aluviales)**

Se delimitan en la parte baja de las microcuencas de los ríos Malanoche y Buenavista; en la cuenca del río Mala Noche están albergados en las rocas sedimentarias de los depósitos cuaternarios aluviales; por lo que se clasifican como acuíferos freáticos porosos en rocas sedimentarias; con un potencial acuífero de medio a alto, localmente se observa un tipo de suelo franco arcilloso color café claro-oscuro, con una porosidad del 45% como producto de la meteorización del material fino del aluvión, sobre estas rocas se realizaron cuatro pruebas de permeabilidad con el método Porchet, obteniendo un valor promedio de 0,026 cm/min.

En el río Malanoche los depósitos aluviales tienen un espesor promedio de 10 a 15 metros. Rodríguez, (2003, en Alfaro, 2006); reporta una transmisibilidad de 33 m<sup>2</sup>/día con base en el pozo GA-22, lo que nos da un rango de permeabilidad 3,3 a 2,2 m/día, así mismo la



porosidad se ha estimado en un 35%. La dirección del flujo del agua subterránea es hacia el suroeste; en descarga hacia el mar, con un gradiente hidráulico de 0,005.

La profundidad del agua subterránea oscila entre los 0,5 y 3 metros con respecto al nivel del suelo, con manifestaciones de descarga por medio de manantiales y flujo base al río Malanoche en la época seca. Morera & Matamoros, (2003) determinaron que la recarga al acuífero aluvial Malanoche es muy directa y se produce principalmente sobre el aluvión, esto se refleja rápidamente en la variación de los niveles estáticos del agua subterránea de los pozos (perforados y excavados) después de un período de lluvia o en su defecto de sequía.

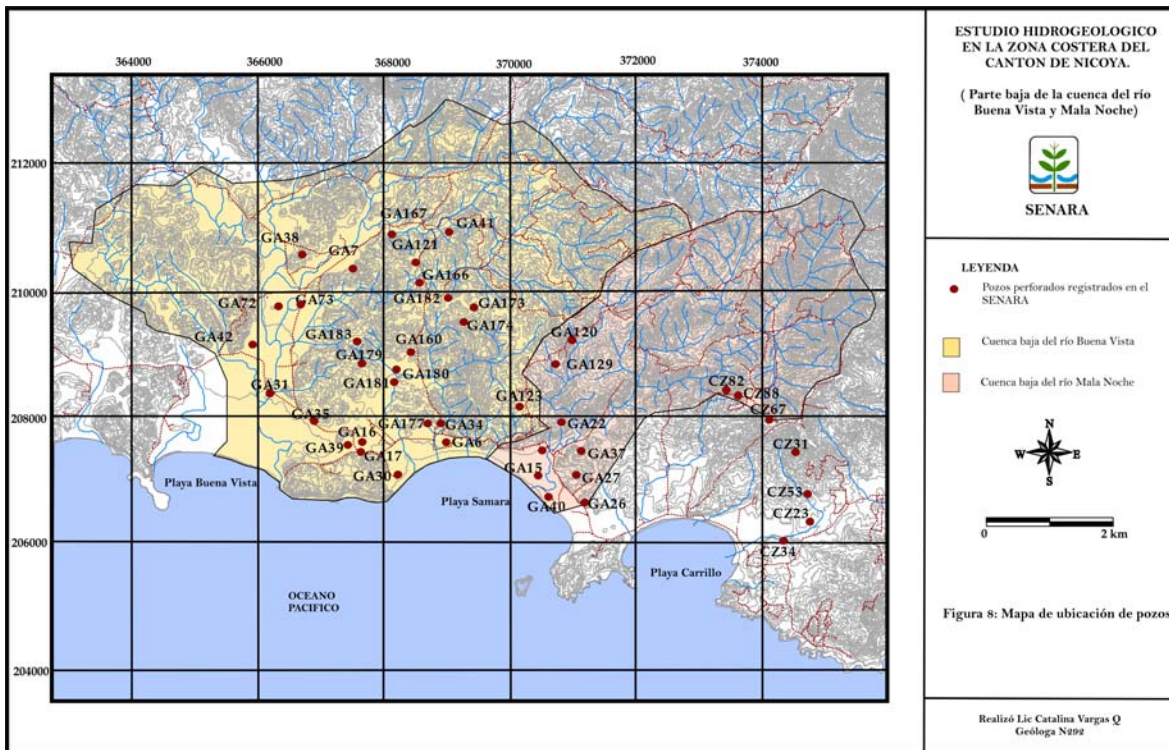
Alfaro, (2006) realiza una caracterización de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de este acuífero utilizando la metodología *G.O.D* (por sus siglas en inglés); según el análisis realizado, la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero aluvial Malanoche se clasifica como alta a extrema.

A pesar de que en el Mapa Geológico (Figura 5) la parte baja de la microcuenca del río Buenavista se ha delimitado como aluviones; en el reconocimiento de campo se observó que existen una serie de humedales que no permiten el desarrollo de acuíferos aprovechables; ejemplo de ello es el humedal Cantarrana y las planicies cerca de la costa del río Buenavista en donde casi no existen pozos reportados.

#### 4.3 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS LITOLOGIAS DE LA ZONA

Con base en la información obtenida en el registro de pozos que se encuentra en el SENARA, (figura 8) se establece que la zona se caracteriza por presentar varios niveles de agua. La ubicación de los niveles estáticos es muy variada y varía en función de la ubicación y la litología de la zona. Como se observa en el cuadro de pozos del anexo 1, se establece que los caudales varían de 0,75 a 9 l/s, donde su principal uso es el doméstico.

Para establecer las características físicas del área se realizaron pruebas de infiltración, ensayos de porosidad y textura de los suelos de cada una de las unidades litológicas de la zona.



### 4.3.1 Pruebas de infiltración

Para determinar la capacidad de infiltración de la zona se tomaron las pruebas realizadas en los siguientes trabajos: (figura 9)

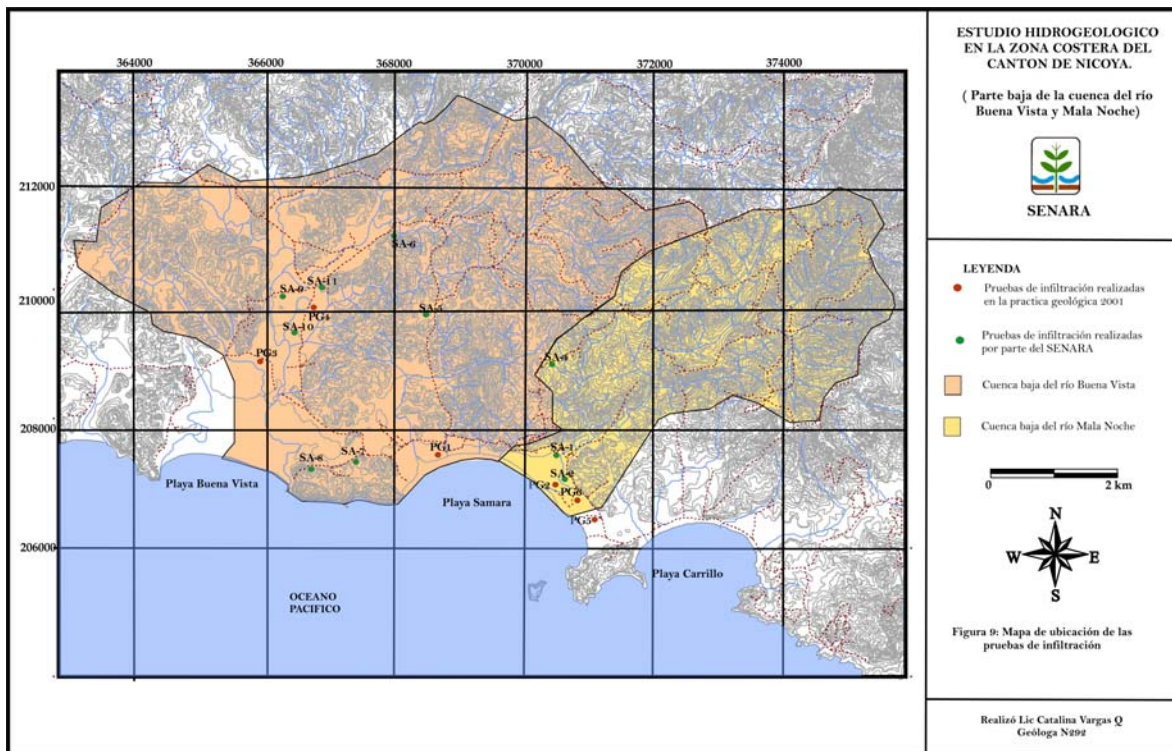
- ✓ Práctica geológica del 2001(Cuadro 3)
- ✓ Trabajos realizados por parte del área de aguas subterráneas del SENARA. (Cuadro 4)

Prueba N°	Coordenadas		Método	Clasificación	
	x	Y		cm/s	
1	368750	207450	PG	0,00043	Poco permeable
2	370525	206975	PG	0,00032	Poco permeable
3	365850	208900	PG	0,00025	Poco permeable
4	366600	209750	PG	0,00020	Poco permeable
5	371180	206450	PG	0,00041	Poco permeable
6	370525	206975	DA	0,00217	Moderadamente permeable

**Cuadro 3: Pruebas de infiltración realizadas en la práctica geológica 2001 (Barahona & Vargas, 2001)**

Código	Coordenadas		k	k	Profundidad (cm)
	X	Y	(cm/min)	(mm/día)	
SA-1	370775	207450	0,0160	230,62	85
SA-2	370877	207042	0,0030	43,20	100
SA-3	370663	207011	0,0800	1152,00	50
SA-4	370555	208835	0,0010	14,40	80
SA-5	368605	209600	0,0070	100,80	65
SA-6	367901	210879	0,0005	7,20	70
SA-7	367398	207385	0,0030	43,20	62
SA-8	366740	207280	0,0140	201,60	70
SA-9	366220	209900	0,0050	72,00	60
SA-10	366550	209300	0,0160	230,40	60
SA-11	366900	210020	0,0200	288,00	105

**Cuadro 4: Pruebas de infiltración realizadas por parte del SENARA (Alfaro & Arguedas, 2006)**



### 4.3.2 Porosidad y textura

Con base en los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio se establece que por lo general el porcentaje de poros en los suelos de la zona varía entre 40 y 50%, esto debido a que los suelos son arcillosos producto de la meteorización de las litologías del área. (Cuadro 5)

En cuanto a la textura de los suelos predominan las arcillosas con variaciones entre franco arcillosos, arenosos y franco arenosos (Cuadro 6)

Codigo	PSH (g)	PSS (g)	Densidad aparente	Densidad real	% Poros	Volumen de sólidos	Volumen de aire	Volumen líquido	PROF. (cm)
SA-1	160,7	117,0	1,17	2,24	47,70	52,30	4,00	43,70	20-45
SA-2	162,3	115,9	1,16	2,16	46,40	53,60	0,00	46,40	20-40
SA-3	167,7	124,3	1,24	2,20	43,40	56,60	0,00	43,40	15-50
SA-4	153,9	111,7	1,12	2,14	47,70	52,30	5,50	42,20	20-47
SA-5	149,4	103,8	1,04	2,10	50,60	49,40	5,00	45,60	25-45
SA-6	162,1	115,1	1,15	2,17	47,00	53,00	0,00	47,00	15-35
SA-7	161,5	121,4	1,21	2,08	41,60	58,40	1,50	40,10	14-28
SA-8	164,1	127,4	1,27	2,22	42,50	57,50	5,80	36,70	15-35
SA-9	163,4	124,5	1,25	2,21	43,70	56,30	4,80	38,90	20-35
SA-10	169,4	129,6	1,30	2,19	40,70	59,30	0,90	39,80	20-35
SA-11	157,3	118,2	1,18	2,10	43,70	56,30	4,60	39,10	20-40

**Cuadro 5: Porcentaje de poros y densidad de las muestras de suelo**

Codigo	Profun. (cm)	PORCENTAJE			Textura	Capacidad de campo	Punto de marchitez	% Agua util
		Arena	Arcilla	Limo				
SA-1	20-45	54	32	14	Franco arcilloso/arenoso	28,15	21,74	6,41
SA-2	20-40	34	46	20	Arcilloso	44,65	23,41	21,24
SA-3	15-50	32	36	32	Franco arcilloso	39,66	23,78	15,88
SA-4	20-47	30	44	26	Arcilloso	43,28	22,17	21,11
SA-5	25-45	56	38	6	Arcilloso/arenoso	35,82	23,15	12,67
SA-6	15-35	32	46	22	Arcilloso	42,89	23,11	19,78
SA-7	14-28	60	32	8	Franco arcilloso/arenoso	37,21	24,16	13,05
SA-8	15-35	54	34	12	Franco arcilloso/arenoso	36,23	22,87	13,36
SA-9	20-35	30	46	24	Arcilloso	45,89	23,78	22,11
SA-10	20-35	28	46	26	Arcilloso	46,24	24,39	21,85
SA-11	20-40	32	48	20	Arcilloso	44,91	23,45	21,46
PROMEDIO:						<b>40,45</b>	<b>23,27</b>	<b>17,17</b>

**Cuadro 6: Textura de los suelos de la zona de estudio**

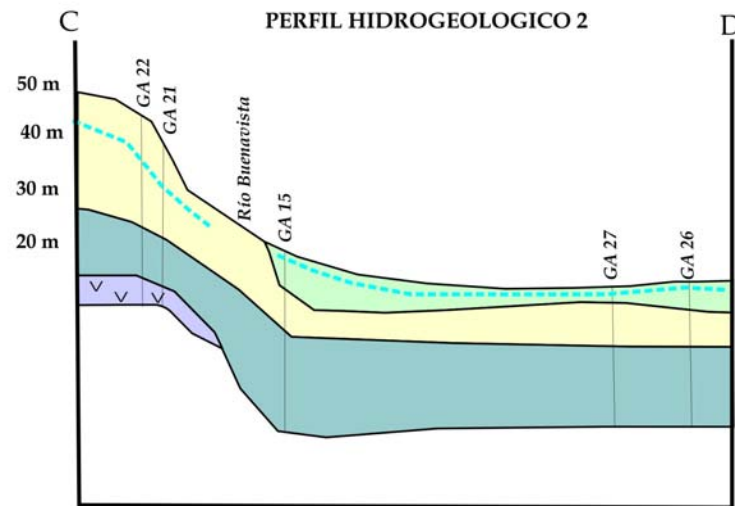
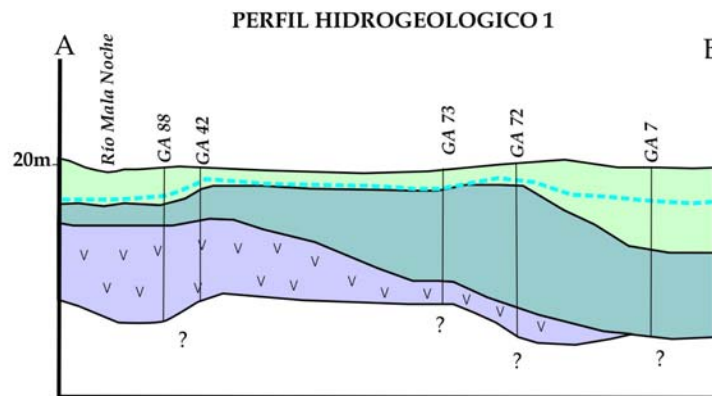
#### **4.4 CARACTERISTICAS DE LOS ACUIFEROS DE LA ZONA**

Con base en los perfiles hidrogeológicos 1, 2 y 3 de las figuras 10 y 11, respectivamente, realizados en las cuencas de los ríos Mala Noche y Buena Vista, se definen las siguientes unidades hidrogeológicas:

- Suelo arcilloso: Por lo general se encuentra en toda la zona, en la parte superior de la secuencia estratigráfica. Esta compuesto por un suelo arcilloso con variaciones en el porcentaje de arena. Presenta espesores de 1 a 6 metros.
- Formaciones sedimentarias compuestas por calizas, areniscas y lutitas. Se encuentran subyaciendo al material arcilloso, por lo general son formaciones sedimentarias de baja permeabilidad. Pertenecen a la Formación Ario y Formación Curú.
- Aluviones: se ubican en las partes planas a 20 msnm
- Basaltos, estos se encuentran en la base de la secuencia estratigráfica, por lo general afloran en las partes elevadas de la zona a 270 msnm (Perfil Hidrogeológico 3). Se encuentran extremadamente meteorizados originando un coluvio con espesores de hasta 8 metros. Debajo de estos coluvios se ubican los basaltos sin meteorizar presentando permeabilidades secundarias producto del fracturamiento de la zona.

Con base en los perfiles hidrogeológicos realizados y el cuadro de pozos del anexo 1, se determina que existen dos niveles de agua:

1. El primero ubicado en los aluviones produciendo acuíferos de origen aluvional compuestos por materiales acarreados por el río, este se encuentra en las partes más bajas de la zona, corresponde a los acuíferos con mayor potencial en la zona.
2. Un segundo nivel de agua ubicado en los basaltos fracturados profundidades mayores, con caudales de extracción menores.(anexo 1)



**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO  
EN LA ZONA COSTERA DEL  
CANTON DE NICOYA.**

( Parte baja de la cuenca del río  
Buenavista y Mala Noche)



**SENARA**

**LEYENDA**

- Suelo areno-arcilloso
- Calizas y areniscas
- v  
v Basaltos del Complejo de Nicoya
- Aluvión

Escala vertical 1:10000

**Figura 10: Perfil  
Hidrogeológico1 y 2**

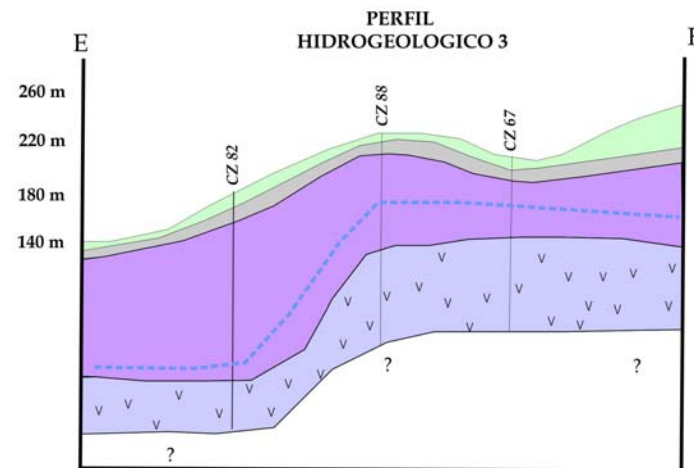
Realizó Lic Catalina Vargas Q  
Geóloga N292

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO  
EN LA ZONA COSTERA DEL  
CANTON DE NICOYA.**

( Parte baja de la cuenca del río  
Buenavista y Mala Noche)



**SENARA**



LEYENDA

- Suelo areno-arcilloso
- Basaltos meteorizados
- Basaltos fracturados
- Basaltos poco fracturados
- Nivel estático

Escala vertical 1:10000

**Figura 11: Perfil  
Hidrogeológico 3**

Realizó Lic Catalina Vargas Q  
Geóloga N292

#### 4.5 BALANDE DE HUMEDAD DE SUELOS

El balance de humedad de suelos consiste en determinar que cantidad de la precipitación es recarga neta potencial, agua infiltrada, agua evaporada o agua de escorrentía. En el presente estudio estos parámetros se determinaron con la metodología desarrollada por Schosinsky & Losilla (2000), y para ello es necesario calcular la capacidad de infiltración, la textura del suelo, la vegetación y la pendiente de la zona.

Se realizaron cuatro balances hídricos, tomando en cuenta la litología de la zona:

1. Basaltos del Complejo de Nicoya
2. Formación Ario
3. Formación Curú
4. Aluviones

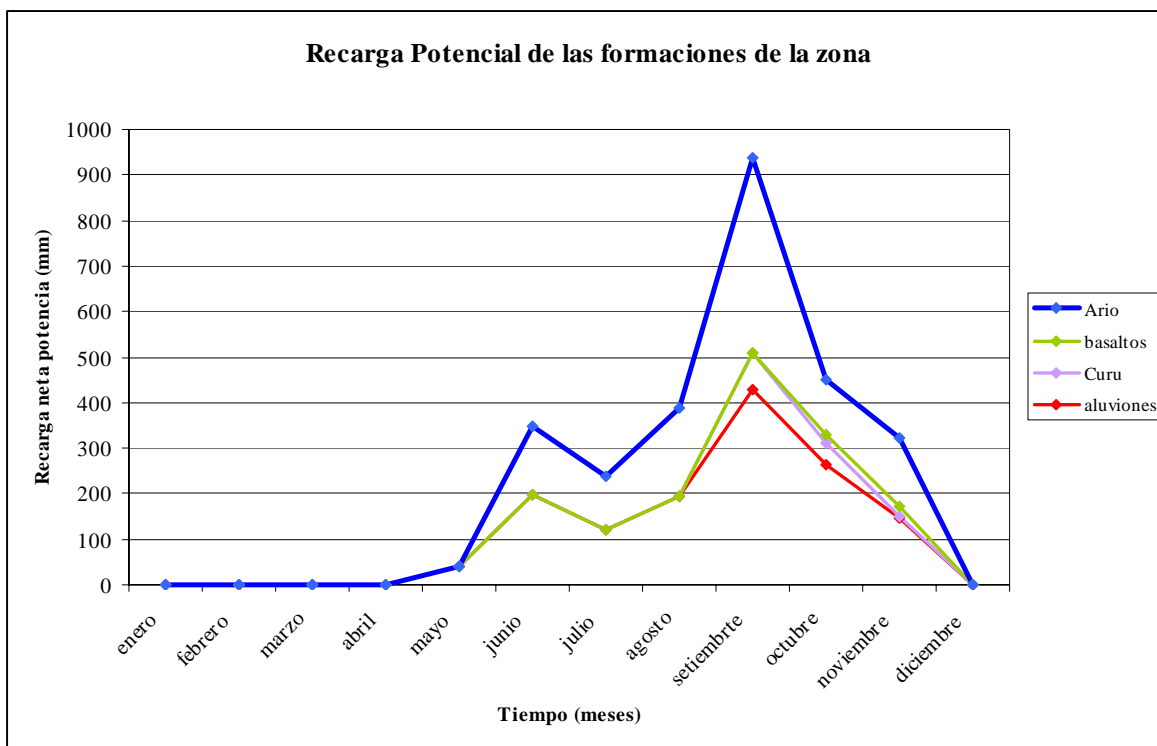
Con base en los resultados obtenidos se determinó que la precipitación en la zona es poca, que prácticamente en los primeros meses del año es nula (Figura 2). Como también existe muy poca recarga potencial en la zona. En el cuadro 7 se presentan los valores de precipitación, escorrentía y recarga neta potencial de cada una de las formaciones del área.

			Formación Ario			Basaltos			Aluviones			Formación Curú		
	P	Evp	Pi	ESC	Rp	Pi	ESC	Rp	Pi	ES C	Rp	Pi	ESC	Rp
Ene	10,1	145,4	5,10	0,0	0,0	2,06	3,04	0,0	5,10	0,0	0,0	2,38	2,72	0,0
Feb	2,3	148,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Marzo	17,3	178,6	12,30	0,0	0,0	4,96	7,34	0,0	12,30	0,0	0,0	5,73	6,57	0,0
Abril	56,6	171,6	49,81	0,0	0,0	20,08	29,73	0,0	49,81	0,0	0,0	23,20	26,61	0,0
Mayo	308,6	151,4	271,57	0,0	0,0	109,4	162,0	0,0	271,5	0,0	39,99	126,50	145,06	0,0
Jun	376,30	134,7	331,1	0,0	152,7	133,5	197,6	0,0	331,1	0,0	196,3	154,2	176,8	0,0
Julio	299,70	143,9	263,7	0,0	119,8	106,3	157,4	0,0	263,7	0,0	119,8	122,8	140,8	0,0
Agos	386,40	145,4	340,0	0,0	194,5	137,0	202,9	0,0	340,0	0,0	194,5	156,4	181,6	0,0
Sept	633,20	127,8	557,2	0,0	429,3	224,6	332,5	19,	557,2	0,0	429,3	259,5	297,6	80,6
Oct	457,90	139,02	402,9	0,0	121,7	162,4	240,5	22	402,9	0,0	263,0	187,7	215,2	47,7
Nov	306,90	122,,4	270,0	0,0	147,6	108,8	161,2	0,0	270,0	0,0	147,6	125,8	144,2	3,38
Dic	0,0	132,94	0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>2855,3 0</b>	<b>1742,5</b>	<b>2503,9</b>	<b>0,0</b>	<b>1165, 76</b>	<b>1009, 42</b>	<b>1494, 51</b>	<b>41, 88</b>	<b>2503, 93</b>	<b>0,0</b>	<b>1390, 74</b>	<b>1166,40</b>	<b>1337,5 3</b>	<b>131, 75</b>

*Pi (mm) precipitación, ESC (mm) escorrentía, Rp(mm) recarga potencial*

**Cuadro 7: Valores de precipitación, escorrentía y recarga neta potencial.**

En la figura 12 se presenta los datos de la recarga potencial de la zona, donde se observa que el mes que presenta mayor recarga lo constituye entre septiembre y octubre, mientras que en los primeros meses del año no se presenta recarga.

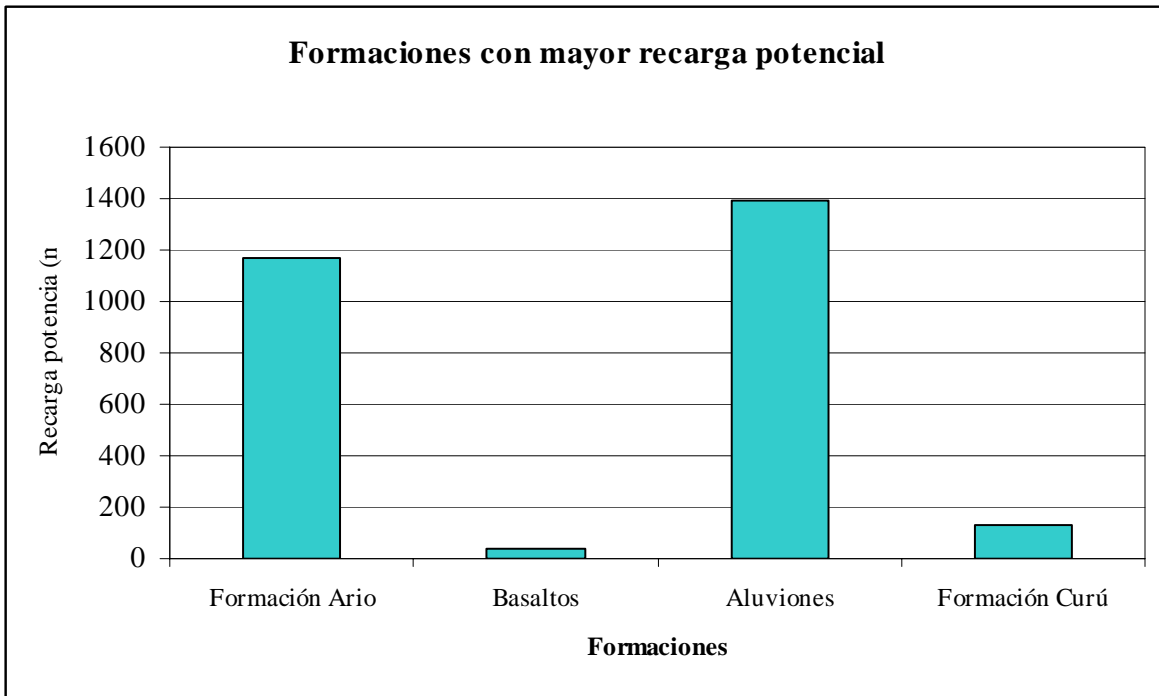


**Figura 12: Gráfico de recarga potencial de las formaciones litológicas de la zona**

La formación Ario se infiltra 2503,9 mm, no presenta escorrentía y en esta formación se empieza a dar la recarga en junio, para un total de recarga neta potencial de 1165,76 mm, en los basaltos del Complejo de Nicoya, se presenta una mayor cantidad de escorrentía que recarga neta potencial, (1494,51 y 41,88 mm respectivamente), y la recarga solo se da en los meses de septiembre y octubre

Los aluviones presentan una recarga potencial de 1390,74 mm a partir del mes de mayo, mientras que la formación Curú tiene una recarga potencial de 131,75 mm.

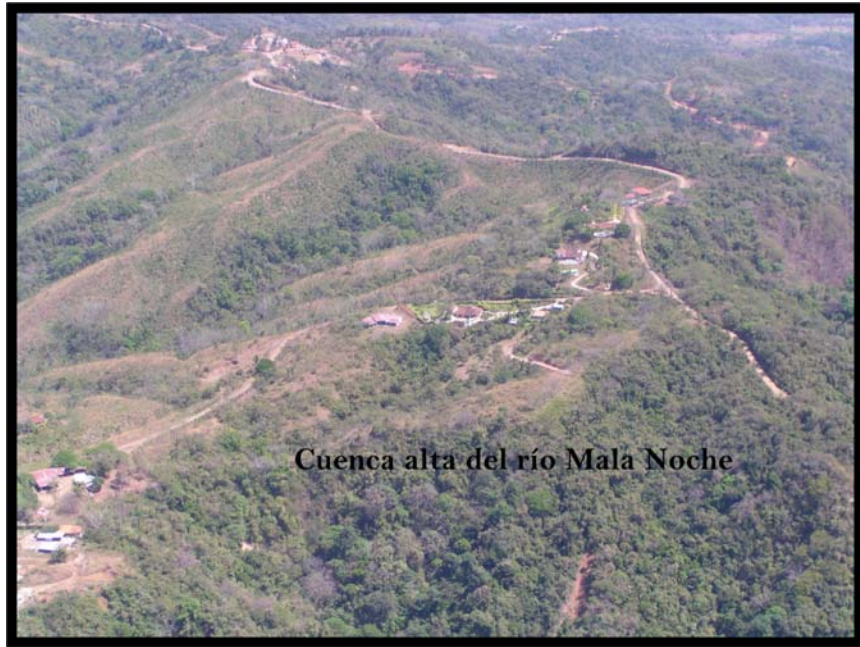
Realizando una comparación de las diferentes litologías con la recarga potencial de la zona se establece que la que presenta una mayor recarga corresponde a los aluviones, mientras que los basaltos y la Formación Curú presentan una recarga muy baja.(Figura 13)



**Figura 13: Gráfico con las formaciones litológicas que presentan una mayor recarga potencial**

Lo anterior se debe a que las zonas que presentan una mayor pendiente como los basaltos presentan una mayor cantidad de escorrentía, por lo que la recarga neta potencial se ve afectada por este factor. (Fotografía 5)

Mientras que en los aluviones y las partes planas se determina que la recarga neta potencial es mayor a la escorrentía, indicando con ello que en los acuíferos aluviales la recarga es directa por infiltración.



**Fotografía 5: Cuenca alta del río Mala Noche**

## V ORGANIZACIONES COMUNALES (ASADAS)

En las microcuencas de estudio existen cuatro Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales (ASADAS), así como Comités Administradores de Acueductos; los cuales se encargan de brindar el servicio de agua para consumo humano a la población de Sámara, El Torito, Cangregal y Santo Domingo.

Estas ASADAS utilizan pozos perforados y la de Santo Domingo una toma superficial; en la Cuadro 8 se encuentran los principales datos de las organizaciones; así como la fuente que utilizan.

<b>ORGANIZACIÓN / ASADA</b>	<b>FUENTE UTILIZADA</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
ASADA SÁMARA	Pozo GA-040	370540	207400
ASADA CANGREJAL	Pozo perforado	366550	209300
ASADA EL TORITO	Pozo GA-015	370750	207350
ASADA SANTO DOMINGO	Toma de agua superficial	371950	209975

**Cuadro 8: Organizaciones comunales de la zona de Sámara, cantón de Nicoya, Guanacaste.** (Fuente Departamento de Aguas del MINAE y AyA)

- ✓ **ASADA DE SAMARA.** Abastece a la población de Sámara por medio de un pozo, abastece a 260 viviendas para un total de 1300 habitantes, un problema que presenta esta asociación es que en verano la población se duplica
- ✓ **ASADA DE CANGREGAL** Abastece por medio de un pozo de 3 l/s, abastece 102 casas para un total de 600 personas
- ✓ **ASADA DE SANTO DOMINGO** Fue construida en 1995, se encuentra compuesta por una naciente y un pozo. Abastece aproximadamente a 36 viviendas con un caudal de 0,20 l/s
- ✓ **ASADA DE TORITO** Presenta un pozo construido en 1982, en el 2006 se construyó otro pozo a 20 metros de distancia aproximadamente, abastece 46 casas y 10 cabinas.



**Fotografía 6: Pozo de la asada de Torito**

## VI METODO DE EXTRACCION

Como se mencionó anteriormente en la zona existen dos acuíferos:

1. Acuífero libre y superficial de origen aluvional, correspondiente a los acuíferos Mala Noche y Buenavista.
2. Acuífero profundo originado en los basaltos fracturados

Con base en los caudales de extracción se determina que el acuífero aluvional presenta una mayor extracción, con caudales que varían de 0,1 a 10 l/s. Son pozos poco profundos, donde el nivel estático se localiza entre los 2 y 11 mbnm.

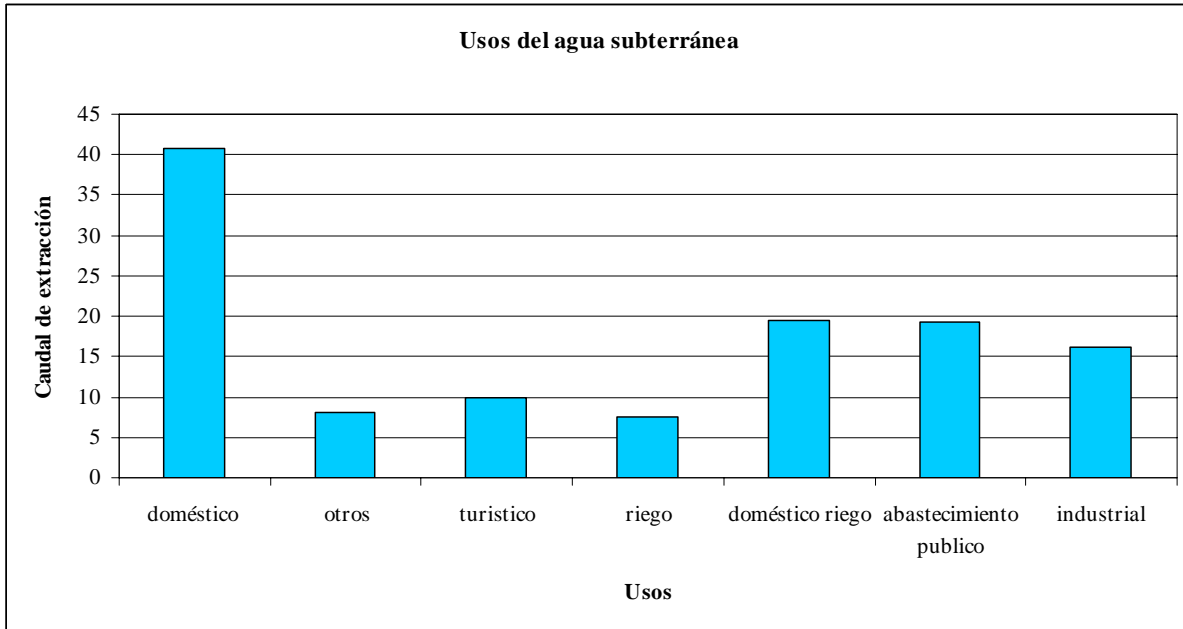
Mientras que el agua extraída del acuífero profundo es explotado en menor medida con caudales de extracción bajos entre 0,5 a 1,5 l/s, donde el nivel estático se localiza entre los 27 y 63 mbnm, en los basaltos fracturados.

Con base en el balance hídrico se establece que se da una mayor recarga en el acuífero aluvional de 1390,74 mm/año, es decir 2,17 m<sup>3</sup>/s, lo equivalente a 2170 l/s. Hay que tomar en cuenta que para estimar este caudal se consideró el área total de las dos cuencas y la recarga neta potencial de los aluviones.

Realizando una cuantificación de los caudales de explotación se llegó a la determinación que se extrae 121,09 l/s. (Cuadro 9)

Al realizar una comparación con los caudales de la recarga potencial y el caudal de explotación total se determina un sobrante de agua, pero es necesario mencionar algunos aspectos que podrían variar estos caudales:

- ✓ Se consideró el área total de las dos cuencas, no solo el área de recarga de los aluviones.
- ✓ Falta el dato de caudales de explotación de los pozos ilegales y no registrados en la zona.



**Figura 14: Gráfico de los usos de las aguas subterráneas**

Uso	Caudal l/s	Porcentaje
doméstico	40,69	33,60%
otros	8	6,60%
turístico	9,85	8,13%
riego	7,5	6,19%
doméstico riego	19,5	16,10%
abastecimiento público	19,3	15,90%
industrial	16,25	13,70%
	121,09	100,00%

**Cuadro 9: Usos del agua subterránea en la zona de Nicoya,**

## VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- ✓ La zona de playa Sámara, ubicada en el Pacífico Norte de Costa Rica, es una zona que presenta una alta demanda del recurso hídrico, por lo que se ha llegado a la necesidad de regular su uso y proteger las zonas de importancia acuífera.
- ✓ En las partes altas de ambas microcuencas (Buenavista y Mala Noche) están presentes tanto las rocas sedimentarias de las Formacion Arío, como los basaltos del Complejo de Nicoya; las cuales conforman los acuíferos que alimentan el flujo base de los ríos y las quebradas en los primeros meses de la época seca.
- ✓ En la zona existen dos niveles de agua:
  1. El primero ubicado en los aluviones produciendo acuíferos de origen aluvional, somero, con altos potenciales de extracción y bajos caudales.
  2. Un segundo nivel de agua ubicado en los basaltos fracturados a profundidades mayores, con caudales de extracción superiores.
- ✓ De las formaciones geológicas del área las que presentan un mayor potencial acuífero lo constituyen los depósitos aluvionales y en menor grado los basaltos sanos y fracturados, estos son aprovechados hacia sus partes más profundas donde los basaltos se encuentran sanos con una permeabilidad secundaria, producto del fallamiento y fracturamiento.
- ✓ Las Formaciones Brechas Puerto Carrillo y Curú no se tiene información acerca del potencial acuífero.
- ✓ La profundidad del agua subterránea oscila entre los 0,1 y 10 metros con respecto al nivel del suelo, con manifestaciones de descarga por medio de manantiales y flujo base al río Malanoche en la época seca.
- ✓ La recarga de los acuíferos aluvionales de Samara y Mala Noche es directa por agua de lluvia y se produce principalmente sobre el aluvión.
- ✓ De los balances hídricos realizados en las formaciones de la zona se determinó que donde se presenta una mayor recarga lo constituye entre septiembre y octubre, mientras que en los primeros meses del año no se presenta recarga.
- ✓ En la Formación Ario la recarga neta empieza en junio para un total de 1165,76 mm anuales. En los basaltos del Complejo de Nicoya, se presenta una recarga neta

potencial de 41,88 mm, y la recarga solo se da en los meses de septiembre y octubre, mientras que los aluviones tienen una recarga potencial de 1390,74 mm a partir del mes de mayo.

- ✓ En las microcuencas de estudio existen cuatro Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales: Sámara, El Torito, Cangregal y Santo Domingo, por lo general usan agua subterránea de pozos para abastecer a la población.
- ✓ El abastecimiento de agua en la zona es principalmente por medio de agua subterránea, de un acuífero libre y superficial de origen aluvional correspondiente a los acuíferos Mala Noche y Buenavista y en menor proporción un acuífero profundo originado en los basaltos fracturados.
- ✓ Realizando una cuantificación de los caudales de explotación se llegó a la determinación que se extraen 121,09 l/s, esto sin tomar en cuenta la extracción de los pozos ilegales de la zona.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Desde el punto de vista técnico es necesario realizar estudios más profundos para caracterizar el acuífero producido en los basaltos fracturados. Ya que la zona se abastece principalmente del agua producida de los acuíferos aluvionales y es imprescindible contar con futuras fuentes de abastecimiento.
- ✓ Establecer los caudales de explotación de los pozos ilegales y los no registrados en la zona para saber con certeza cual es el caudal de explotación de los acuíferos de la zona.
- ✓ Mantener un control en cuanto al uso del suelo se refiere, realizar mapas actualizados del uso del suelo y definir las zonas de protección de los acuíferos, como las zonas de recarga potencial.
- ✓ Determinar las zonas de protección de los acuíferos de Samara, Mala Noche y Buena Vista.
- ✓ Institucionalmente es necesario centralizar y actualizar la información, debido a que instituciones relacionadas con el recurso hídrico tienen información pero no está actualizada o no se sabe lo que tienen. Ejemplo de esto es el Departamento de Aguas del MINAE no tiene ningún tipo de concesión en la zona.
- ✓ Organizar las instituciones públicas, y privadas para tomar las medidas necesarias para el manejo adecuado de los recursos.

## VIII REFERENCIAS

Alfaro, A., 2006: Diagnóstico hidrogeológico en la zona de Nosara, cantón de Nicoya, Costa Rica. Senara. San José. Informe Técnico Interno. 30 p.

Alfaro, A., 2006: Hidrogeología del acuífero Malanoche, Sámara de Nicoya. Senara. San José. Informe Técnico Interno. 20 p.

Astorga A., 1987: El Cretácico Superior y el Paleógeno de la vertiente Pacífico de Nicaragua meridional y Costa Rica septentrional: Origen, evolución y dinámica de cuencas profundas relacionadas al margen convergente de Centroamérica. – 250 pp. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica (tesis inédita).

Barahona, M., & Vargas, C., 2001: Práctica geológica: realizada en Sámara y Buenavista, provincia de Guanacaste. Proyecto acuíferos costeros Senara-UCR. San José, Costa Rica. Informe Técnico Interno. 29 p.

Calvo, C., 1987: Las calizas neríticas de la vertiente pacífica del norte de Costa Rica y sur de Nicaragua: Épocas y sistemas de sedimentación asociadas con la apertura y evolución de la América Central Meridional.- 164 pp. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica (tesis inédita).

Custodio, E & Llamas, M., 1983: Hidrología subterránea. II Ed. Omega. España. 1157 p.

Dengo, G. 1962. Estudio Geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. –

Días, A, J., 1980. Estudio geológico del Cerro Sámara y alrededores. Península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. –San José, Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica, Campaña Geológica. 42 p.

Informe Semestral, Instituto Geográfico de Costa Rica. 1962: 1-112

Gamboa, E. 1985. Geología del área de Carrillo y alrededores Península de Nicoya, Provincia de Guanacaste, Costa Rica. –San José, Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica, Campaña Geológica. 43 p.

Instituto Geográfico Nacional: Hojas cartográficas Cerro Azul (1982) y Garza (1983). San José, Costa Rica. Escala 1:50000. Color.

Morera, S., & Matamoros, G., 2003: Evaluación del potencial y demanda hídrica subterránea en el acuífero costero Huacas Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica. – Senara. San José. Informe Técnico Interno. 36 p.

Quintanilla, E., & Vargas, C., 2006: Informe de Práctica Geológica. SENARA – Escuela Centroamericana de Geología, UCR. San José.

SENARA, 1985: Mapa hidrogeológico de la Península de Nicoya. Escala 1:200000.

SENARA, 2006: Base de datos de pozos y manantiales.

Schosinsky, G., & Losilla, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base a la lluvia mensual. – Revista Geológica de América Central. San José. Universidad de Costa Rica, 23: 43-55.

Sprechman P., 1982: Estratigrafía de Costa Rica; I: Unidades estratigráficas sedimentarias.- Actas 5to Cong. Latinoam. Geol. 1: 55-71 pp.