

***Servicio Nacional de Aguas Subterráneas,
Riego y Avenamiento (SENARA)***

Area de Aguas Subterráneas

***Evaluación del potencial y demanda hídrica
subterránea en los acuíferos costeros de Samara
Costa Rica***

Geólogo Sigifredo Morera

Marzo 2002

Contenido

<i>1. Introducción</i>	<i>1</i>
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivo general	1
1.3 Objetivos específicos	1
2. Ubicación del área de estudio	2
3. Método de trabajo	3
4. Caracterización y análisis del área de estudio	4
4.1 Hidrografía. Información hidrológica disponible	4
4.1.1 Microcuenca del río Mala Noche	4
4.1.2 Microcuenca del río Buenavista	4
4.2 Aspectos climáticos	5
4.2.1 Información disponible	5
4.2.2 Régimen de precipitación	6
4.2.3 Temperatura	6
4.2.4 Humedad relativa del aire	6
4.2.5 Horas de sol	6
4.2.6 Evapotranspiración potencial	7
4.3 Marco geológico regional	7
4.3.1 Complejo de Nicoya	7
4.3.2 Formación Brechas-Puerto Carrillo	8
4.3.3 Formación Sabana Grande	9

4.3.4	Formación Curú	9
4.3.5	Formación Ario	10
4.3.6	Aluvión	11
4.4	Hidrogeología	11
4.4.1	Medición de niveles estáticos	11
4.4.2	Extracción de agua en Playa Sámara	12
4.4.3	Balance Hídrico	12
4.5	Hidrogeoquímica	13
4.6	Geofísica	15
4.6.1	Prospección geofísica en Sámara	15
4.6.2	Resultados e interpretación de los sondeos eléctricos	16
4.7	Suelos	19
4.8	Capacidad de uso del suelo	19
4.9	Usos y cobertura del suelo	20
4.10	Relieve y pendientes	23
5.	Conclusiones y recomendaciones	23
5.1	Conclusiones	23
5.2	Recomendaciones	25
6.	Referencias bibliográficas consultadas	27
7.	Anexos	30
Anexo 1	Figuras	
Anexo 2	Cuadros	
Anexo 3	Mediciones mensuales en la red de monitoreo de pozos	

Anexo 4	Datos de lluvia horaria
Anexo 5	Fotografías
Anexo 6	Resultados de los análisis físico-químicos
Anexo 7	Resultados de los análisis bacteriológicos
Anexo 8	Resultado del análisis de bromuros

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

El turismo en Costa Rica ha tenido un gran crecimiento en los últimos 10 años, llegándose a constituir en la primer fuente de divisas en el país. La cantidad de turistas ha pasado de 350000 en 1980 a 1000000 en el año 2000 y se proyecta para el 2015 una población de 2000000 de visitantes. Las zonas más visitadas por los turistas son las costeras (playas); lo que implica búsqueda de nuevas fuentes de agua para abastecer proyectos de desarrollo turístico que allí se pretenden realizar. El SENARA interesado en proteger la calidad y la cantidad de agua subterránea, se ha trazado como meta realizar estudios en las zonas costeras del país, con la finalidad de determinar el estado actual de los acuíferos y dar recomendaciones, dentro de las cuales uno de los fines primordiales es darle a las municipalidades, comités, asociaciones u otro tipo de organizaciones; los instrumentos técnicos, para lograr establecer un ordenamiento y regulación de su territorio.

1.2 Objetivo general

Evaluar el potencial y demanda hídrica subterránea para las actividades turísticas y poblacionales y analizar la posibilidad de intrusión salina en el Acuífero Costero Sámara, Guanacaste, Costa Rica.

1.3 Objetivos específicos

- Determinar el potencial del acuífero de Sámara y la demanda hídrica subterránea.
- Cuantificar la vulnerabilidad de los acuíferos y las posibles fuentes de contaminación de agua subterránea.
- Caracterizar la calidad físico-química del y bacteriológica del agua subterránea y verificar la posible influencia de la intrusión salina en el acuífero.
- Evaluar el excedente disponible del agua subterránea en este acuífero.
- Caracterizar y analizar el estado biofísico de las microcuencas

2 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en las hojas topográficas, escala 1:50000 del IGN, Garza, Cerro Brujo y Cerro Azul, entre las coordenadas Lambert 361-376 Este y 204-221 Norte, comprendiendo la zona costera entre Sámara y Buenavista y pueblos aledaños (ver figura 1).

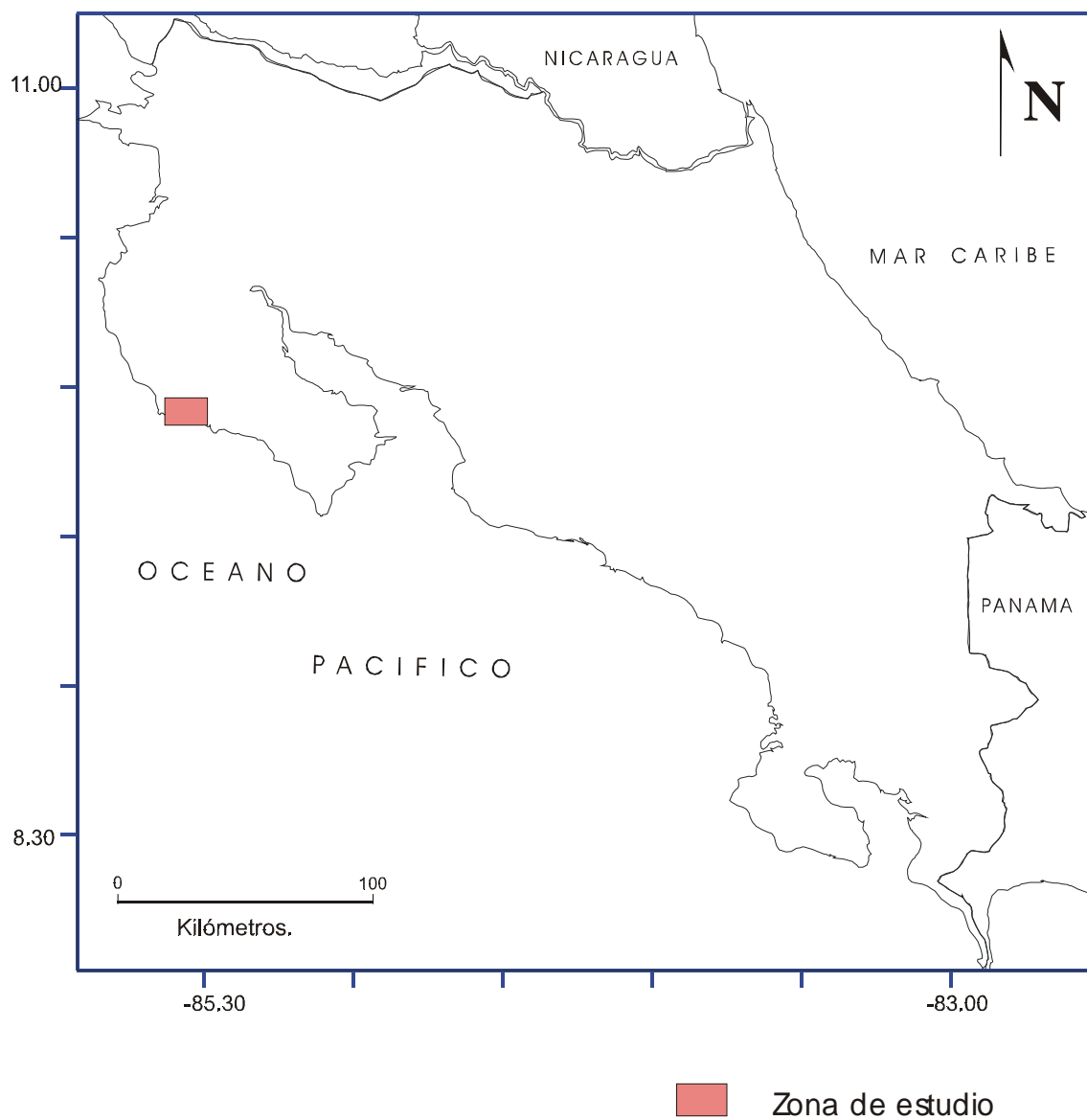


Figura N°1. Ubicación de la zona de estudio

3. MÉTODO DE TRABAJO

- a- Recopilación de datos de la base de archivo de pozos del SENARA, y de informes técnicos existentes.
- b- Se realizó una visita de campo para establecer la red de monitoreo de pozos (medición de niveles y otros parámetros), labor que se prolongó por un periodo de 12 meses.
- c- Se instaló una estación pluviográfica para determinar la cantidad e intensidad de precipitación ocurrida en esta zona.
- d- Se realizaron pruebas de infiltración para determinar la velocidad de infiltración de los contaminantes (aguas servidas, jabonosas u otro tipo de efluentes que sean depositados en el subsuelo), mediante el método de doble anillo concéntrico de Kostiakov, y con el uso del permeámetro de Guelph.
- e- Se hicieron dos muestreos de agua subterránea tanto de pozos excavados como perforados, en época de verano e invierno, con el fin de determinar la composición química de las aguas (iones mayoritarios) y la potabilidad de la misma. A la vez, se realizó un muestreo, para determinar el contenido de bromuros en el agua.
- f- Se realizaron sondeos eléctricos verticales (SEV), con la finalidad de determinar el espesor del aluvión, la profundidad del agua y la del basamento.
- g- Se realizó un diagnóstico de las características biofísicas de las microcuencas de los ríos Mala Noche y Buenavista, con el objeto de analizar las condiciones actuales de esas unidades geográficas con respecto a la recarga hídrica.
- h- Se realizaron entrevistas a los lugareños, y a los dueños de cabinas y hoteles, para determinar una extracción aproximada de agua en la zona. Además, se estableció contacto con las personas que manejan el acueducto con el fin de investigar el volumen de agua que se consume en la comunidad.

4. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Hidrografía. Información hidrológica disponible

La zona de estudio incluye las microcuencas de los ríos Buenavista y Mala Noche. La primera tiene una superficie de 114 km² y la otra 23.3 km². A continuación se describe la hidrografía de ambas unidades geográficas, la cual se puede observar en la figura 1 del anexo 1. En el cuadro 1 del anexo 2 son incluidos los datos hidrométricos disponibles.

4.1.1 Microcuenca del río Mala Noche

La red hidrográfica de la microcuenca del río Mala Noche es muy sencilla, dada lo pequeña de esta unidad geográfica. El río Mala Noche desemboca en la Bahía Sámara en el Océano Pacífico. Al Este nacen las quebradas Lajas, Cantarrana y Zacatera, todas tributarias del Mala Noche. Otras tributarias, que drenan la parte Norte de microcuenca, son las quebradas Mala Noche y Arguedas, esta última nace cerca del caserío de Buenos Aires. En la definición de esta microcuenca también se incluye el río Lagarto, el cual todavía en febrero presenta un pequeño caudal visible pero que no alcanza los 5 litros por segundo.

De esta red hidrográfica no se cuenta con información hidrométrica. De acuerdo con información de lugareños, la mayoría de estas quebradas se secan a partir del verano, dada la pobre recarga que se da durante el invierno aunado a condiciones de suelo, relieve y cobertura que favorecen el escurrimiento superficial en el momento de las lluvias. Además, la superficie de recarga de la cuenca es muy pequeña. Esta red hidrográfica es la que directamente podría recargar por influencia a los acuíferos de Sámara.

4.1.2 Microcuenca del río Buenavista

La red de drenaje presenta un eje con dirección Norte-Sur, desembocando en una pequeña bahía de la playa Buenavista, a tres kilómetros al Oeste de poblado de Sámara.

Esta red hidrográfica es un poco más compleja que la del río Mala Noche, dado que es cerca de cinco veces más extensa. Está formada por el río Buenavista del cual son tributarios la

quebrada Esterones, los ríos Frío, Crucivallejo y la quebrada Taranta. El río Frío tiene dentro de sus afluentes las quebradas Naranjo, Tigre, Tigra y Salitral. Afluentes del río Crucivallejo son los ríos Micos y Platanillo.

En general, las riberas de los cauces de ríos y quebradas, en esta microcuenca, se encuentran protegidos con arboledas que le ofrecen sombra al cauce.

La mayoría de estos ríos principales presentan una serie de pequeñas quebradas tributarias las cuales conforman características de torrencialidad con importantes caudales durante las lluvias de invierno, pero al inicio de la época seca, los caudales son muy bajos y, a partir de febrero, prácticamente desaparece el flujo superficial.

La información hidrométrica disponible es muy escasa, y la que existe fue determinada en meses de estiaje. En el cuadro 1 del anexo 3 se incluyen los datos de aforos puntuales disponibles. A pesar de la poca información existente, de los datos se infiere que los caudales rápidamente decrecen a partir de febrero, llegando a ser nulos, en abril y parte de mayo; incluso se han presentado años de poca recarga por lluvias escasas durante el año resultado en que las fuentes hídricas se secan desde principio de año.

En el cuadro 2 se presentan las estimaciones de caudal realizadas en la gira en enero del año 2002 que dan una idea de la situación hídrica superficial.

4.2 Aspectos climáticos

4.2.1 Información disponible

Para caracterizar el régimen de lluvia de esta zona se utilizaron los datos de las estaciones Nosara y Jabilla, ambas operadas por el SENARA, de las cuales se utilizó el período común de registro de 1993 a 2001. Para realizar el balance hídrico se contó con la información de evapotranspiración potencial (Etp) de la estación Nicoya, y la lluvia horaria de la estación pluviográfica Sámara (Fotografía 1), esta última instalada por el SENARA para efectos del estudio, la cual tiene solo un año de operación y es la única de su tipo en la zona de estudio. Los datos geográficos de estas estaciones se encuentran en el cuadro 3 del anexo 2.

4.2.2 Régimen de precipitación

Las dos microcuencas se ubican en la Región Climática del Pacífico Norte. La distribución de las lluvias en esta zona de Guanacaste presenta una época lluviosa bien definida que va de mayo a octubre, presentando los máximos de precipitación en los meses de junio, setiembre y octubre, como se aprecia en la figura 2 del anexo 1. En julio se registra una disminución en la lluvia como consecuencia del “veranillo”, el cual, por lo general, se presenta en este mes. La época seca comprende los meses de diciembre a marzo. Abril y noviembre se consideran meses de transición en los cuales hay precipitaciones irregulares. En el cuadro 4 del anexo 2 se aprecia tal distribución. El promedio de precipitación total anual es de unos 2387 milímetros.

4.2.3 Temperatura

La temperatura promedio es cercana a los 28°C, los máximos se presentan durante el mes de abril, alcanzando en algunos casos valores próximos a los 37°C, mientras que las temperaturas mínimas son más probables en los meses que van desde noviembre a marzo debido al efecto de los vientos del Norte y Noreste, las que se aproximan a los 20°C. Todo lo anterior, cerca de la costa. Conforme se asciende a los cerros las temperaturas descienden oscilando entre los 19.9°C a los 21.8°C.

4.2.4 Humedad relativa del aire

La humedad relativa del aire oscila entre los 61 y 65% en la época seca y en la lluviosa entre el 81% y el 86%.

4.2.5 Horas de sol

Los promedios de brillo solar son menores en los meses de mayo a noviembre, con valores entre las 7 y 8 horas, dada una mayor cobertura nubosa sobre la región. De diciembre a abril se tienen valores mayores, cercanos a las 9 y 10 horas, debido a condiciones de poca o nula nubosidad durante la época seca.

4.2.6 Evapotranspiración potencial (Etp)

Según el mapa de evapotranspiración potencial Etp para la zona se alcanzan como promedio anual unos 1890 milímetros.

4.3 Marco Geológico Regional

Las unidades geológicas informales de origen sedimentario descritas por Díaz (1980), Mosheim (1980), Sáenz (1980), Tejera (1980) y Gamboa (1985), se correlacionaron de acuerdo con sus características litológicas con las secuencias sedimentarias analizadas por Astorga (1987) para asignarles la formación correspondiente.

En el Mapa Geológico (figura N°3 anexo 1), se muestran los sitios donde afloran las siguientes formaciones:

- Complejo de Nicoya
- Formación Brechas Puerto Carrillo
- Formación Sabana Grande
- Formación Curú
- Formación Ario

4.3.1 Complejo Nicoya

Fue denominado así por los geólogos de la Compañía Petrolera de Costa Rica, al referirse a las rocas más viejas que afloran en la Península de Nicoya, según Dengo (1962).

Dengo (1962) lo define como formada por unidades de origen ígneo y sedimentario, una asociación compleja de basaltos, rocas intrusivas gabroicas, calizas silíceas, pedernales y grauvacas, 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 en el Cretácico Superior. Tiene un espesor acumulativo de 536 m, este mismo autor propone una edad de Cretácico Inferior- Jurásico.

Küijpers (1979) separa el complejo de Nicoya en dos unidades estratigráficas unidad Matapalo y unidad Esperanza. La unidad Matapalo consiste de basaltos sobreyacidos por radiolarita, menciona la presencia de esporádicas intrusiones gabroicas y más frecuentes sills de diabasa y gabros ofíticos, los cuales se originaron durante la extrusión del magma básico.

La unidad Esperanza está compuesta principalmente por basaltos y diabasa ofíticas. También hay intrusiones de plagiogranito.

De acuerdo con Gamboa (1985), en el área mostrada en el mapa, 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.

4.3.2 Formación Brechas – Puerto Carrillo

Dengo (1962) y Küijpers (1979) lo incluyen dentro del Complejo de Nicoya. Sin embargo, en Sprechman (1984) es separada y definida formalmente como formación con el nombre de Puerto Carrillo, ubicando la localidad tipo en Playa Puerto Carrillo.

Sprechman (1984) la definió como brechas mal estratificadas, constituidas por materiales basálticos y/o silíceos, con ocasionales clastos de gabro y jaspe de color amarillo-naranja, arenitas dispuestas en forma lenticular y calcilitas intercaladas con las brechas con contactos graduales.

Astorga (1987) separa esta formación en dos miembros:

- Miembro Bajo Escondido
- Miembro Barbudal

Sprechman (1984), indica que la formación tiene espesores reducidos de 0.5 m, pero puede alcanzar excepcionalmente hasta 100 m. Astorga (1987) considera su origen relacionado con la depositación de flujos tractivos y la caída de rocas a la base de escarpes submarinos. Sprechman (1984), indica que la Formación Brechas Puerto Carrillo sobreyace

discordantemente con el Complejo de Nicoya y se encuentra sobreyacida por la Formación Sabana Grande. Astorga (1987), le asigna una edad Santoniano Superior-Campaniano Medio al Miembro Bajo Escondido y al Miembro Barbudal le asigna una edad de Campaniano Superior.

4.3.3 Formación Sabana Grande

Astorga (1987) indica que la Formación está dominada por una depositación 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). 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.

Según Astorga (1987), esta formación sobreyace concordantemente o pasa lateralmente a la Formación Puerto Carrillo, o también sobreyace concordantemente al Complejo de Nicoya. Describe el contacto superior concordante con la Formación Curú y le asigna una edad entre el Albiano y el Maashtrichtiano Medio y Superior.

4.3.4 Formación Curú

Astorga (1987), define esta formación de tipo esencialmente turbidítico, con un modelo en el cual el sedimento no entra a la cuenca por un único punto, sino a través de varios puntos de entrada (Ricci Lucchi, 1985 en Astorga 1987). A partir de allí, es dispersado de forma longitudinal en una cuenca elongada y relativamente estrecha. En el caso de la zona en cuestión, se demuestra la existencia de dos cuencas relativamente independientes: la “Cuenca de Sámara – Cabo Blanco” y la “Cuenca de Rivas – Tempisque”.

Según Astorga (1987), el sedimento que constituya este sistema deposicional, consiste, en lo principal, de mezclas de arenas y lodos de variable porcentaje, y en menor proporción gravas. Composicionalmente, este detrito es de origen volcánico básico (basáltico), caracterizado principalmente por la abundancia relativa de magnetita y de minerales

ferromagnesianos. Hacia el techo del sistema, la composición normativa basáltica cambia paulatinamente a una composición normativa andesítica.

Este sistema deposicional alcanza un espesor promedio de 1500 m, con mínimos de 600 – 800 m y máximos de 2500 m. Su rango de sedimentación cubre el período Maastrichtiano Medio/Superior – Paleoceno Superior Basal.

Astorga (1987) indica que esta formación está compuesto por tres tipos de depósitos sedimentarios principales:

- ✓ Los depósitos de turbiditas de planos de cuenca
- ✓ Depósitos de complejos lobulares
- ✓ Depósitos canalizados progradantes

Los dos primeros tipos de depósitos, conforman cerca del 99% del volumen total de sedimentos de este sistema.

De acuerdo a Astorga (1987), los sedimentos que conforman este sistema deposicional, son divididos en 5 facies principales: 1) depósitos de flujos turbulentos lodo-arenosos, 2) depósitos de flujos turbulentos arenosos, 3) depósitos turbidíticos retrabajados, 4) depósitos de flujos turbulentos gravosos, y 5) depósitos de flujos de escombros.

4.3.5 Formación Ario

De acuerdo con Astorga (1987), es un sistema de depositación dominado por la sedimentación de turbiditas de grano fino e intercalaciones de sedimentos pelágicos. Su sedimentación está restringida únicamente a la cuenca Sámara – Cabo Blanco, durante el período Paleoceno Superior – Eoceno Superior/Oligoceno Inferior (?).

Según Astorga (1987) son dos los tipos de depósitos que conforman este sistema deposicional: a) los depósitos de turbiditas de grano fino, y b) los depósitos canalizados.

Astorga (1987), indica que el sedimento que compone a los primeros consiste de una mezcla de porcentaje variable de lodos micríticos y terrígenos, que se intercalan con arenas

detríticas silicoclasticas. Los sedimentos de los depósitos de canal son de dos tipos, gravas basálticas y areniscas bioclasticas con macroforaminíferos.

El paquete de sedimentos de este sistema tiene un espesor mínimo de 500 metros, sobreyace conformemente a la Formación Curú e infrayace a través de una marcada discordancia a los depósitos carbonatados neríticos del Eoceno Superior y Oligoceno Superior, respectivamente.

4.3.6 Aluvión

Constituye la mayor parte del área de estudio; está compuesto, de acuerdo con Díaz (1980), por material aluvional y coluvial constituido, principalmente, por fragmentos volcánicos y sedimentarios acarreados de las partes más altas por corrientes fluviales. Tejera (1980) lo califica como formado por productos de erosión de los basaltos, lutitas y areniscas. Díaz (1980) también incluye en esta formación a los materiales depositados por la acción del mar como los depósitos de playa y a los materiales productos de la lixiviación de las capas carbonáticas superiores como las capas de travertino de 25-50 cm de espesor.

Localmente se observa un tipo de suelo limo arenoso de color café claro como producto de la meteorización del material del aluvión.

4.4 Hidrogeología

Los acuíferos de esta zona de estudio, como es característico en las áreas costeras de Costa Rica, están albergados en materiales de origen aluvional como se describirá más adelante en la sección de geofísica; a su vez, las rocas que constituyen el basamento, son rocas sedimentarias.

4.4.1 Medición de niveles estáticos

Los niveles estáticos fueron medidos por un periodo de 12 meses. Las tablas de estas mediciones, que además involucran los parámetros de temperatura, conductividad eléctrica y

salinidad, se pueden observar en el anexo 3 de Tablas. En la figura 4 del anexo 1 se observa la ubicación de la red de pozos.

Las fluctuaciones del nivel freático durante el año oscilan entre 1 metro y 1.7 metros. Se realizaron isofreáticas con los escasos datos de pozos que se tenían para el período de verano, éstas pueden observarse en la figura 5 del anexo 1.

Es importante observar como en los gráficos de precipitación versus nivel estático, se establece una relación muy directa entre lluvia y variación del nivel freático en los pozos, ya sea por disminución en el nivel o, en su defecto, por el aumento. En las figuras 6 y 7 anexo 1, que se presentan a continuación, se pueden observar dos pozos que se estuvieron midiendo en la zona, donde se muestra claramente la relación mencionada anteriormente.

4.4.2 Extracción de agua en Playa Sámara

Para determinar la extracción en Playa Sámara se realizó un inventario de las habitaciones con que cuentan los hoteles y las cabinas existentes, de donde se obtuvo la información que aparece en el cuadro 5 del anexo 2.

Con base en la información obtenida con la señora Emilce Steller del acueducto de Sámara, se logró determinar el volumen de agua que ellos suministran (203 abonados) y que fue realizado en el mes de más alto consumo que corresponde a **enero** y es de **14239 m³**. Para los abonados que no tienen medidor que son 48, se asumió un consumo de **40 m³/mes** para cada usuario, lo que da un total de **1920 m³**, que sumado a los **9912 m³/mes**, que consumen los hoteles y cabinas da un **gran total** consumido por mes de **26071 m³**, lo que equivale a 10.05 litros por segundo (lps) (ver cuadro 5 del anexo 2); a este dato debe de sumarse lo que se obtuvo de la base de datos de pozos de SENARA, donde se determinó que los hoteles según la concesión que tienen de explotación de sus pozos, extraen aproximadamente 16 lps, por lo que se determinó que el volumen total extraído en la **Playa Sámara llega a 26 lps**.

4.4.3 Balance hídrico

Para calcular el balance hídrico se utilizó el modelo de humedad de suelo y cálculo de recarga desarrollado por el Hidrogeólogo Hugo Rodríguez Estrada, en 1990.

Para los cálculos se utilizaron los datos de lluvia de la estación pluviográfica Sámara, instalada por SENARA, el 22 de marzo del año 2001. Estos datos aparecen en el anexo 4.

Para cuantificar la fracción de la lluvia que se infiltra y la que escurre, se utilizaron los valores registrados cada diez minutos, a partir de las bandas pluviográficas. Además, se calculó el coeficiente de infiltración el cual se obtuvo del promedio de pruebas de infiltración determinadas por el método de doble anillo concéntrico de Kostiakov y las realizadas con el permeámetro de Guelph. Los resultados de las pruebas con el permeámetro aparecen en el cuadro 6 del anexo 2, mientras la prueba de infiltración con el método de doble anillo, se puede observar en la figura 8 del anexo 1.

El modelo de balance hídrico requirió datos de evapotranspiración potencial diarios de la zona. Tales datos de evapotranspiración correspondieron a la estación de Nicoya N° 072101 y se adjuntan en el cuadro 7 del anexo 2.

Es importante destacar que el año de lluvia utilizado fue el obtenido con la estación pluviográfica Sámara, donde se registró una lluvia total anual de 2864.5 mm, que es superior al que reportan las estaciones más cercanas a la zona como son la de Nosara con 2669.5 mm y Jabilla con 2103.7 mm, ambas con un promedio de 9 años. No obstante, para el año 2001 la estación Jabilla reportó una lluvia superior al promedio 2566.6 mm, mientras la de Nosara presenta un valor cercano al promedio. El valor utilizado es inferior al obtenido en algunos de los años de estas estaciones de las cuales se tienen registro, y más bien corresponde a un valor que está aproximadamente un 30% encima del promedio.

Con base en el modelo se obtuvo una recarga de 682.9 mm (cuadro 8, anexo 2), lo que multiplicado por el área de 9.312.994,42 m², da como resultado un caudal de 201.6 lps para el acuífero de Playa Sámara.

4.5 Hidrogeoquímica

Fueron realizados muestreos en época de verano y en época de invierno. Se muestreó en abril y en noviembre. Los análisis, físico-químicos (anexo 4) y los bacteriológicos (anexo 7) fueron realizados en los laboratorios del AyA ubicados en Tres Ríos, Cartago. Por

dificultades de acceso durante el invierno no todos los pozos pudieron ser muestreados en los dos períodos (invierno y verano).

Se realizaron muestreos para analizar el contenido de bromuros en pozos tanto excavados como perforados; éstos análisis se realizaron en laboratorios el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). La relación existente en el agua de mar de Br/Cl es de 1.7×10^{-3} , siendo muy diferentes en las aguas continentales. Los valores de la relación de bromuro-cloro para los pozos muestreados en el acuífero de Sámara, no evidencian salinización pues están un orden de magnitud por debajo del valor que naturalmente tiene el agua de mar.

Se graficaron Diagramas de Piper, para determinar la caracterización del agua según el contenido de los iones mayoritarios. En las figuras 9 y 10 anexo 1, se observan estos gráficos, donde se determina que las aguas son bicarbonatadas cálcicas, algo típico de zonas de recarga.

Solamente el pozo N° 24, tiene una composición diferente al de las otras muestras pues tiene un mayor contenido de cloruros, lo cual se confirma con el dato de conductividad eléctrica que es de $900 \mu\text{Siemens}$, y además con el análisis de Bromuro, (anexo 8) es el que indica el valor más alto de todos los muestreos.

Con base en los análisis bacteriológicos se logró determinar que el pozo en el Hotel El Ancla, el de las cabinas Las Tinajitas, y el pozo excavado del señor Emiliano Rojas, tienen contaminación fecal, por lo cual no son aptos para consumo humano si no se les aplica el tratamiento adecuado.

Los pozos en el Hotel El Ancla y en las cabinas Las Tinajitas, se encuentran muy cerca de los tanques sépticos, lo que puede ser la fuente contaminante, mientras en el pozo excavado del señor Emiliano, se puede deber a falta de protección, considerando que algunos animales (lagartijas, iguanas etc.) tienen la posibilidad de caer y producir la contaminación.

4.6 Geofísica

4.6.1 Prospección geofísica en Sámara

La prospección geolétrica se consideró en esta investigación como un método apto debido a la falta de afloramientos, condición típica de los materiales aluviales, falta de información litológica de los pozos, así como el alto costo de las perforaciones investigativas. Este método permite conocer la resistividad, espesor, y profundidad del nivel estático, lo cual ayuda a inferir las características acuíferas de las diferentes unidades litológicas.

El objetivo de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) es investigar los cambios de la resistividad a profundidad, los cuales son asociados a los cambios en las propiedades de las unidades rocosas. Para tal efecto, se requiere de un arreglo eléctrico, con el fin de medir las diferencias de potencial (mV), cuando se ha inyectado corriente (mA) a diferentes distancias.

El método consiste en inyectar corriente en dos electrodos incados en la superficie del suelo denominados como A y B, a la vez son necesarios dos electrodos más (M y N) para medir la diferencia de potencial generada.

La interpretación de las mediciones se basa en el supuesto de que la superficie consta de una secuencia de distintas capas, con espesor variable, homogénea e isotópica. En la realidad las condiciones geológicas nunca presentan estas características, ya que se caracterizan por variaciones laterales, que se pueden deber a las condiciones físico – químicas, mecánicas, estructurales, o sedimentarias. Por este motivo, el método mide la resistividad aparente, la cual viene calculada a partir de la medida de la intensidad de corriente que está en el terreno y de la medida de la caída de potencial en los electrodos internos del arreglo geométrico escogido.

Para obtener el valor de la resistividad real se puede interpretar por diferentes métodos, en esta oportunidad se utilizó el programa computacional QWSEL de fabricación francesa. En la actualidad existen diferentes configuraciones geométricas de los electrodos, en esta investigación se escogió el Cuadripolo Schlumberger, debido a: alto poder de resolución,

fácil interpretación, metodología de campo sencilla y tiempo reducido para realizar cada sondeo.

Se realizó una Sección Geoeléctrica a partir de la inversión de los datos de cuatro SEV, los cuales fueron graficados para obtener curvas de isovalores de resistividad. Además se realizaron dos Pseudosecciones Geoeléctricas utilizando el dispositivo polo – polo. El fundamento de esta técnica es el correspondiente a la Tomografía Eléctrica; el cual consiste en sobreponer diversos perfiles realizados con cada uno con diferente separación de los electrodos de medición, en este caso AM, ya que los otros dos (BN) se encuentran a una distancia considerada infinito. Con este dispositivo el valor de resistencia y al multiplicarlo por la constante geométrica respectiva se obtiene el valor de resistividad aparente.

En estos casos, como son Pseudosecciones Geoeléctricas lo que se ha hecho es graficar las isocurvas de resistividad aparente, sin la inversión respectiva, lo cual nos da una idea bastante buena de la distribución lateral de las capas a profundidad, pero no así de los valores reales de espesor o de profundidad.

4.6.2 Resultados e interpretación de los sondeos eléctricos

En el área de Sámara; se realizaron seis Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), sin embargo en esta interpretación se presentan dos de ellos; ya que los otros cuatro por presentar variaciones significativas en los valores de resistividad a partir de cierta profundidad eran difíciles de correlacionar, por lo que se realizó una sección geoeléctrica que muestra de una mejor manera la situación estructural del sector.

Los SEV, fueron realizados uno en la Playa Buena Vista (SEVBV), orientado paralelo a la costa y con una abertura de $AB/2$ de 100 m caracterizándose como una curva tipo A, es decir mostrando varias capas de resistividad ascendente (Figura 11 anexo 1). Lo cual precisamente hace imposible obtener una interpretación cuantitativa de la resistividad y espesor de las diversas capas existentes; pues los cambios en la forma de la curva presentan todos un mismo patrón que hacen descartar la existencia de errores de adquisición de datos, pero muestra la existencia de capas intercaladas conductoras y muy delgadas; que no permiten una modelización matemática.

El segundo SEV; se realizó en el sector de Esterones en la Finca Brisas, la abertura de AB/2 fue de 110 m, y la curva se caracteriza por ser de tipo combinado AK (figura 12, anexo 1).

La curva se ha interpretado con cuatro capas geoléctricas que se pueden correlacionar perfectamente con la información litológica general del pozo GA – 31. Es así como se observa una capa conductora de 1.5 m de espesor correlacionable con la capa de suelo arcilloso; subyaciéndola se encuentra una capa relativamente resistente de 13 m de espesor asociada con el material aluvional; el valor de resistividad de tan solo 25 Ohm-m se explica por corresponder precisamente con la zona saturada. La tercer capa geoléctrica presenta un espesor de 30 m y una resistividad de 10 Ohm-m que se asocia con la arcilla gris reportada en el pozo. La curva termina con un ascenso en el valor de los datos que se ha modelado como basamento relativo con una resistividad mayor a 50 Ohm-m que se puede relacionar con material aluvional.

Con los otros cuatros sondeos eléctricos verticales, que se realizaron en el camino privado que da acceso a la playa de Sámara (fotografía 2), cercano al pozo del Acueducto de la localidad, se realizó la sección eléctrica ya que los SEV se encuentran a una separación de 20 metros entre cada uno de ellos y además las curvas de ellos revelan una anomalía a partir de cierta separación de electrodos; lo cual indica que existe un cambio litológico lateral que es debida a la posible existencia de un sistema de fallamiento que se evidencia en otras seudosecciones realizadas en las cercanías.

En esta sección (figura 13 anexo 1), se observa perfectamente una capa delgada de material arcilloso superficial con un espesor máximo de 2 metros; el cual sobreyace a materiales arenosos con una resistividad variable entre los 15 y 30 Ohm-m, siendo los valores menores aquellos que corresponden con la zona saturada; y tal como se observa este sector presenta una forma muy particular debido a la existencia de un sistema de fallamiento que brinda porosidad secundaria y por ello tenemos un grado mayor de saturación de agua, lo cual queda evidenciado por los valores relativamente conductores de las arenas.

Una anomalía geoléctrica muy evidente en la sección se encuentra a una profundidad de mínima de 5 y máxima de 15 metros; caracterizándose por ser un cuerpo ovalado resistente

con un diámetro mayor de 35 m y valores que oscilan entre los 40 y 85 Ohm-m, que se puede correlacionar con paleocanal, constituido posiblemente por granulometría gruesa, tipo aluvión.

Otra anomalía bastante importante la encontramos en el SEV 1 a una profundidad entre 15 y 30 m; en este caso se evidencia un cuerpo conductor (5 - 10 Ohm-m), que puede significar el depósito fino dejado por el mismo río que generó el paleocanal aluvional. Pues como es sabido; en un estado de madurez avanzada de un río, el cual corresponde con la desembocadura del mismo en el mar, es muy frecuente la existencia de meandros, y por la dinámica misma del río tenemos en un lado del meandro la depositación de material fino y del otro sector la granulometría mayor; situación que precisamente estamos observando en este caso.

La primer Pseudosección (figura 14 anexo 1) se realizó en las proximidades del pozo que abastece de agua al Acueducto de la localidad. En ella podemos observar a partir de los 25 metros de iniciada, la existencia de cuerpos conductores de morfología un poco irregular; lo cual hace pensar en cuerpos lenticulares vistos desde una perspectiva transversal, que tienden a ser más prominentes al final de esta imagen.

La zona saturada en esta figura está representada por valores de resistividad que varían entre los 250 y 450 Ohm-m, su morfología es muy singular y hace pensar en al menos tres interpretaciones. La primera de ellas, corresponde con la existencia de paleocanales, pues la morfología es típica de estas estructuras sedimentarias. La segunda interpretación tiene que ver con un control estructural, el cual estaría delimitando las características acuíferas del material aluvional existente. La última de ellas es precisamente una conjunción de las dos anteriores; en la cual la instalación de los paleocanales está controlada por la existencia de gravenes y horts. Siendo posiblemente esta interpretación la que mejor explique la génesis del acuífero aluvial de Sámara; pues algo similar existe en la sección descrita anteriormente (figura 11) y la próxima pseudosección.

La última Pseudosección (figura 15) se realizó al costado norte de la Laguna Buena Vista y es la que presenta un mayor control estructural; pues las capas interpretadas presentan una

morfología muy irregular. Lo cual no es de extrañar, pues a partir de la geomorfología, fotos aéreas y patrón de drenaje, se evidencia la existencia de fallas con rumbo NNW que atraviesan la laguna.

La zona permeable está controlada por la porosidad secundaria generada por el sistema de fallamiento. Las zonas conductoras y resistentes; evidencian cierta apariencia lenticular, aunque claro está, menos evidente que en los casos anteriores.

4.7 Suelos

En la zona predominan los suelos del tipo “inceptisol”, los cuales permanecen secos más de 90 días consecutivos y los que se encuentran en la zona baja, cerca de la costa, están propensos a inundación por topografía plana. Son poco desarrollados y con una permeabilidad muy baja.

Suelos de texturas medias como los “mollisoles” únicamente se encuentran en las partes bajas cercanas a los ríos dado que se forman a partir de depósitos fluviales. Estos suelos presentan problemas de drenaje.

En general, los suelos de ambas microcuencas van de poco profundos a profundos. En la fotografía 4 se puede apreciar un corte con la profundidad media del suelo la cual es de aproximadamente 0.5 metros.

En el anexo 2 se incluye el cuadro 9, con las características más importantes de los tipos de suelos, asociaciones y subgrupos identificados en la zona. Además, ver mapa en la figura 16 anexo 1. Se incluye la distribución aproximada en las microcuencas expresadas en porcentaje.

4.8 Capacidad de uso del suelo

Con base en el mapa de capacidad de uso del suelo 1:200000 (Hoja Nicoya), aplicado a las dos microcuencas, en los cuadros 10 y 11 anexo 2, se incluyen las clases de uso identificadas así como los porcentajes aproximados de área que abarcan en ellas. En la figura 17 anexo 1, se aprecia el mapa de capacidad de uso para ambas microcuencas.

De ambos cuadros se desprende que en un alto porcentaje, ambas microcuencas presentan condiciones para la producción forestal y el manejo de bosque; sin embargo, estos desarrollos en ambas unidades geográficas tienen algunos inconvenientes como la pendiente y la poca profundidad efectiva de los terrenos. En las zonas bajas, hay terrenos con pendientes menores al 3%, con aptitud para el manejo de bosque, pero que presentan algunas limitantes como drenaje y riesgo de inundación.

En zonas medias de las microcuencas también hay áreas con estas aptitudes pero con menores limitantes, en las cuales se podrían dar desarrollos para la producción forestal. No obstante, Cualquiera de estos usos idealmente requieren de la aplicación de prácticas especiales de conservación (barreras vivas o muertas, zanjas de ladera, entre otras).

Al respecto, el uso de especies forestales como la melina (*Gmelina arborea*), y la teca (*Tectona grandis*), pueden ser utilizadas siempre y cuando se consideren aspectos de relieve. Se ha visto que estas especies en plantaciones puras aceleran los procesos erosivos. Por lo tanto, se recomienda su uso en terrenos bastante planos o con relieves de moderadamente ondulados a ondulados. Estos conceptos también se aplican al uso de especies como el pochote (*Bombacopsis quinata*). Cabe decir, que en los dos microcuencas se ha venido ampliando la utilización de estas tres especies maderables.

En ambas microcuencas, de manera dispersa, tanto en las partes bajas, medias y altas, se encuentran áreas cuyos terrenos son únicamente aptos para la protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética, preservación de flora y fauna y belleza escénica, pues presentan limitantes de profundidad efectiva y pendientes superiores al 30%, muy susceptibles a los procesos erosivos.

Existen zonas que presentan capacidad para desarrollos agropecuarios (cultivos anuales, cultivos semipermanentes, permanentes y ganadería). Entre ellas están la zona baja del río Buenavista y el río Frío, las riberas del río Micos cerca de poblado de Maquenco y Taranta. Estas zonas no representan más del 10% en cada una de las microcuencas.

4.9 Usos y cobertura del suelo

En general, la mayoría de las cuencas de la Península de Nicoya, presentan una significativa intervención a lo largo del tiempo. Las microcuencas del Buenavista y Mala Noche no son

la excepción. En ellas se han desarrollado actividades como la ganadería extensiva la cual en zonas de pendientes mayores al 50 y 60% han favorecido, junto con el efecto de las lluvias, un deterioro del suelo con formación de algunas cárcavas. En la fotografía 5 se aprecia un ejemplo de los efectos de la erosión en potreros con actividad ganadera extensiva.

La actividad agrícola es muy pobre, dadas características topográficas, de suelos, climáticas y fundamentalmente, la insuficiencia en la disponibilidad de fuentes hídricas. La tala indiscriminada que se dio en las décadas pasadas modificó el régimen hídrico que mantenían estas áreas geográficas.

Si bien es cierto todavía en las microcuencas en cuestión todavía hay zonas donde permanece una adecuada cobertura acorde con su capacidad de uso, y además, se están llevando a cabo prácticas de reforestación, existen amplias áreas donde los usos y coberturas no favorecen una adecuada recarga hídrica ya que sus condiciones de baja permeabilidad, pendiente, escasa profundidad, no favorecen los procesos de infiltración y precolación profunda que recargue suficientemente los depósitos subterráneos.

En las microcuencas se observan los siguientes usos principales, obtenidos de mapas de uso actual y de una visita a la zona:

Bosques, tacotales: Representa cerca del 43% del área total

Pastos y charral: comprende potreros, pastizales, áreas sin cultivar, áreas con malezas. La superficie total abarca cerca del 50%.

Manglar: Se ubica en la costa, en las cercanías de Playa Buenavista. Comprende alrededor de un 3%.

Poblados: Comprende caseríos y poblados, siendo alrededor de un 4% del área.

Como se observa de los porcentajes anteriores, en general se presenta un predominio de áreas con potreros, pastizales y malezas, de forma entremezclada (ver fotografía 7). Estas áreas se distribuyen de manera dispersa por toda la zona. Los potreros y pastizales abandonados se ubican principalmente en zonas de relieve más accidentado donde las fuertes pendientes no favorecieron, en tiempos pasados, la actividad ganadera, la que ha

venido en disminución dadas las características poco adecuadas para su desarrollo y donde no se incluyeron prácticas de manejo de pastos y de protección de suelos (ver fotografía 5).

Cerca de la zona costera, donde los terrenos son más planos se encuentra gran cantidad de los potreros, sin embargo, son objeto de frecuentes inundaciones con problemas de encharcamiento por las condiciones de relieve (planicie ondulada). Las actividades agrícolas son muy pobres. Las características topográficas, de suelos, climáticas aunadas a una baja disponibilidad de agua en los meses de verano no han favorecido los desarrollos agrícolas. La falta de caminos adecuados también ha limitado la agricultura.

Por otra parte, es interesante mencionar que desde hace más de una década, grupos de personas, inversionistas extranjeros entre otros, se han encargado de reforestar extensas áreas, algunas de su propiedad, con árboles de variedades maderables como la teca, la melina y el pochote. Estas áreas se ubican en la parte media y baja de las microcuencas. Por ejemplo, una buena porción de las laderas y divisorias de la parte Este baja de la microcuenca del Buenavista (ver fotografía 9), han sido reforestadas con teca, lo que ha venido a constituir una aceptable protección para los terrenos que en décadas pasadas estaban siendo degradados por el sobrepastoreo y habían quedado en barbecho. Igualmente, el sector Oeste de la parte media de la microcuenca del río Mala Noche ha sido reforestado con teca (ver fotografía 10). Esta actividad ha venido a constituirse en una excelente actividad comercial y ha significado una fuente de empleo para algunos pobladores.

La Fundación Escuela de Reforestación de Costa Rica, establecida y patrocinada por la empresa Precious Woods en 1990 en la zona de Garza, ha promovido actividades de reforestación en la zona, capacitación de técnicos forestales e investigación, lo que ha favorecido la implementación de proyectos de reforestación en varias áreas de las microcuencas del Buenavista y Malanoche.

Las dos microcuencas son poco pobladas. Se puede decir que la máxima concentración de población se tiene en Sámara y sus alrededores. También, en los últimos cinco años se viene dando un desarrollo turístico en los alrededores de las playas. De ahí que tanto en las partes bajas como en los cerros costeros y de la parte media se han venido construyendo varios hoteles, cabinas y casas de playa, así como la disposición de nuevos servicios para la atención del turismo nacional y extranjero.

Se prevé que este uso de los terrenos irá en un acelerado crecimiento considerando que con el funcionamiento del puente sobre el río Tempisque en el 2003 y con el notable mejoramiento de las carreteras entre Nicoya y Sámara, así como entre Sámara y Carrillo, la afluencia de turistas hacia las hermosas playas de esta zona aumentará.

4.10 Relieve y pendientes

El relieve de las dos microcuencas se caracteriza, en un alto porcentaje, por presentar pendientes de categoría accidentada (entre 15 a 30%) a muy accidentada (entre 30 a 45%). En general, se da una mezcla muy diversa de pendientes con una distribución espacial muy irregular, que la hace poco atractiva para el desarrollo agrícola. Cerca de la costa los terrenos son más planos; sin embargo, se entremezclan con terrenos ondulados y en bastantes casos, hay presencia de cerros de fuertes pendientes.

Hacia la parte media y baja de las microcuencas del Buenavista y Mala Noche, hay un predominio de relieve con pendientes entre los 15 y 30%, con un marcado ondulado de los terrenos. En las partes altas de las microcuencas el relieve presenta pendientes más accidentadas (entre 30 a 45%), siempre con una marcada ondulación de los terrenos. Las pendientes más pronunciadas se localizan en las laderas del sector Este de las dos microcuencas, precisamente en la divisorias con la cuenca del río Ora. En el cuadro 12 del anexo 2 se incluye la distribución espacial aproximada de los porcentajes de pendientes, según el mapa elaborado por la Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria, del cual se ha confeccionado la figura 18 del anexo 1.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Las microcuencas de los ríos Mala Noche y Buenavista no presentan las mejores condiciones de cobertura, sin llegar a ser las peores, para favorecer una adecuada recarga de los acuíferos de los poblados de Sámara, Cangrejal y Mango (El Torito). La cobertura de potreros con pastizales degradados y de malezas que predomina en las partes baja, media y alta de las microcuencas, aunado a suelos de

poca permeabilidad (excepto zonas aluviales) hace que un alto porcentaje de las lluvias se convierta en escurrimiento superficial. A pesar de que hay todavía un buen porcentaje de bosques y tacotales dispersos por toda la geografía de las microcuencas, por las condiciones anteriormente indicadas, la infiltración de las aguas precipitadas no es favorecida para una adecuada recarga hídrica.

2. La actividad agrícola en la zona es escasa, en razón de que las condiciones topográficas, de suelos y de clima, la falta de buenos caminos, limitan su desarrollo y rentabilidad. Ello de alguna manera, ha frenado la expansión de actividades que favorecen el sobreuso de los terrenos, algunos de los cuales fueron talados para extracción de madera y ahora se encuentran como potreros abandonados o con cobertura de charral.
3. La presencia en la zona, desde hace más de quince años, de grupos de personas que se han preocupado por promover y realizar proyectos de reforestación con pochote, melina y teca, en las partes media y baja de las microcuencas ha favorecido una mejora en las condiciones de cobertura que pueden propiciar una mayor producción y protección del recurso hídrico de las microcuencas, pero aún no es suficiente. Empresas como Precious Woods, con actividades de reforestación comercial, el desarrollo de actividades de capacitación e investigación en materia forestal (Fundación Escuela de Reforestación de Costa Rica) vienen a favorecer el mejoramiento ambiental y socioeconómico de algunas zonas en las microcuencas, tanto en la actualidad como a futuro.
4. Con la mejora de la red vial Nicoya-Sámara y Samara-Carrillo, la actividad turística y la construcción de viviendas se está acelerando y debido a que no se están considerando medidas para dotar de infraestructura de alcantarillado, se está gestando una posibilidad mayor de contaminación de las fuentes hídricas tanto subterráneas como superficiales. Además, hay que tomar en cuenta que el funcionamiento próximo del puente sobre el río Tempisque, favorecerá aún más la afluencia de turismo a las playas de la zona así como se daría un incremento en las necesidades de servicios de atención al turista (hoteles, cabinas, servicios varios) y nuevos pobladores, generándose una mayor demanda de recursos

- hídricos. Asimismo, se daría una mayor carga de agentes contaminantes sobre los acuíferos (aguas servidas, aguas negras, generación de desechos varios).
5. El acuífero de Playa Sámara se caracteriza por estar constituido por materiales de origen aluvional y por ser de poco espesor (máximo encontrado 15 metros).
 6. Con base en el Balance Hídrico se pudo determinar que el volumen de agua que se recarga alcanza los 201.6 litros por segundo, que restado a los 26 litros por segundo que se determinó se están extrayendo del acuífero nos queda una reserva de 173.4 lps.
 7. La recarga de este acuífero es muy directa y se produce principalmente sobre el aluvión, y esto se refleja rápidamente en la variación de los niveles de los pozos después de un período de lluvia o en su defecto de sequía.
 8. El análisis hidrogeoquímico del agua nos indica que este acuífero se caracteriza por ser de constitución Bicarbonatada- Cálcida, típica de áreas de recarga. En lo que respecta a la relación Br/cl se pudo determinar que no existen indicios de intrusión salina, pues los valores se encuentran un orden de magnitud, por debajo del contenido que normalmente tiene el agua de mar.
 9. Desde el punto de vista bacteriológico se determinó que tres pozos se encuentran con contaminación fecal, la que podría deberse a acción antropogénica, a la cercanía a tanques sépticos o a la falta de protección de los pozos.
 10. El nivel estático promedio en la época de verano es de 3 metros, mientras en invierno es de 2 metros.
 11. Con base en las isofreáticas se logró establecer que la dirección del flujo del agua es Noroeste-Sureste.

5.2 Recomendaciones

1. Capacitar a los administradores de los acueductos rurales de Sámara, Cangrejal y el Torito en cuanto a la aplicación de normas de control y monitoreo de la calidad de agua en las fuentes de agua utilizadas. Además, establecer con ellos, la necesidad de establecer una red de monitoreo sistemático de los niveles estáticos

en la zona para poder analizar el comportamiento de la fluctuación de los mismos, siendo esta información básica para caracterizar el o los acuíferos de la zona.

2. Coordinar con los grupos propiciadores de reforestación acciones de ampliación de esta actividad que podrían seguir mejorando las condiciones de cobertura adecuadas para una adecuada recarga hídrica subterránea.
3. Hacer de conocimiento a los grupos organizados de las cuencas así como de la municipalidad correspondiente y otras instituciones del Estado (AyA, ICT, MINAE), de los resultados de este estudio con el objetivo de divulgarlos y propiciar nuevas actividades tendientes a proteger, preservar y mejorar la calidad y cantidad del recurso hídrico de la zona, dado el potencial de crecimiento y desarrollo turístico de la zona.
4. Realizar mediciones periódicas de conductividad eléctrica y análisis físico-químico en aquellos pozos que aparecen con valores altos de cloruros y bromuros con el fin de determinar un eventual incremento en los contenidos de estos iones que podrían estar indicando una eventual intrusión salina.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

1. ALVARADO, A.; PÉREZ, S. 1978. Mapa de asociación de subgrupos de suelos de Costa Rica Hoja Nicoya. Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. San José, Costa Rica. Escala 1:200000. Color
2. ARIAS, M. 2000. Aplicación de la Geofísica en la Prospección de Aguas Subterráneas. Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica. Escuela Centroamérica de Geología. Informe interno. 85 p.
3. _____. 2000. Las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología. Primer Simposio Regional: Manejo Integrado de Aguas Subterráneas, un reto para el futuro. Organismo Internacional de Energía Atómica - Universidad Nacional (en prensa).
4. _____. 2000. Métodos Geofísicos. -en: Denyer, P. & Kussmaul, S.(comp.): Geología de Costa Rica. Ed. Tecnológica de Costa Rica, Cartago. 520 p.
5. ASTORGA, A. 1987. El Cretácico Superior y el Paleógeno de la vertiente pacífica de Nicaragua meridional y Costa Rica septentrional: origen, evolución y dinámica de las cuencas profundas relacionadas al margen convergente de Centroamérica. -San José, Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica, Tesis de Licenciatura. 250 p.
6. BARAHONA, M; VARGAS, C. 2001. Práctica geológica: realizada en Sámara y Buenavista, provincia de Guanacaste. Proyecto acuíferos costeros SENARA-UCR. San José, Costa Rica. Mapas. 29 p.
7. DENGÓ, G. 1962. Estudio Geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. - Informe Semestral, Instituto Geográfico de Costa Rica. 1962: 1-112
8. DIAZ, 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.

9. 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.
10. GEOTEST. 1990. Informe de perforación y explotación del pozo Ga-21. SENARA
11. GINNEKEN, P.V.; CALDERÓN, R. 1978. Mapa de categorías de pendientes de Costa Rica Hoja Nicoya. Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. San José, Costa Rica. Escala 1:200000. Color
12. HIDALGO CH., M. 2002. El Pochote y la biología reproductiva de este árbol quiropterófilo en el huerto semillero clonal en la Estación Experimental Forestal Horizontes. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 3 p. *Artículo bajado de Internet.* www.ac.guanacaste.ac.cr/rothschildia/v5n1/textos/13.html , mhidalg@samara.una.ac.cr
13. INSTITUTO Geográfico Nacional. Hojas cartográficas Cerro Brujo (1982), Cerro Azul (1989) y Garza (1983). San José, Costa Rica. Escala 1:50000. Color
14. KÜJIPERS, E.P., 1979. La geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica. – Informe Semestral, Instituto Geográfico Nacional, 1979(2): 15-75
15. MOSHEIM, J.. 1980. Geología de la zona de Buenavista de Sámara, Provincia de Guanacaste, Costa Rica. –San José, Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica, Campaña Geológica. 19 p.
16. PÉREZ, S.; GINNEKEN, P.V. 1978. Mapa de capacidad de uso de los suelos de Costa Rica Hoja Nicoya. Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. San José, Costa Rica. Escala 1:200000. Color
17. SÁENZ, L. 1980. Geología del área de Mango y sus alrededores, Sámara Península de Nicoya. Provincia de Guanacaste, Costa Rica. –San José, Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica, Campaña Geológica. 19 p.

18. SCHIMINCKE, K. H. 1998. Plantaciones de teca en Costa Rica: la experiencia de la empresa Precious Woods. Costa Rica. 11 p. *Artículo bajado de Internet.*
www.fao.org/DOCREP/x4565S/x4565s06.htm
19. SPRECHMAN, P. 1984. Estratigrafía de Costa Rica (América Central) I: Unidades estratigráficas sedimentarias. En: Sprechman (ed.), Manual de Estratigrafía de Costa Rica. –San José, Editorial Universidad de Costa Rica. 320 p.
20. TEJERA, R. 1980. Geología de Playa Barrigona y alrededores. Cantón de Nicoya, Provincia de Guanacaste, Costa Rica. –San José, Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica, Campaña Geológica. 19 p.

ANEXOS

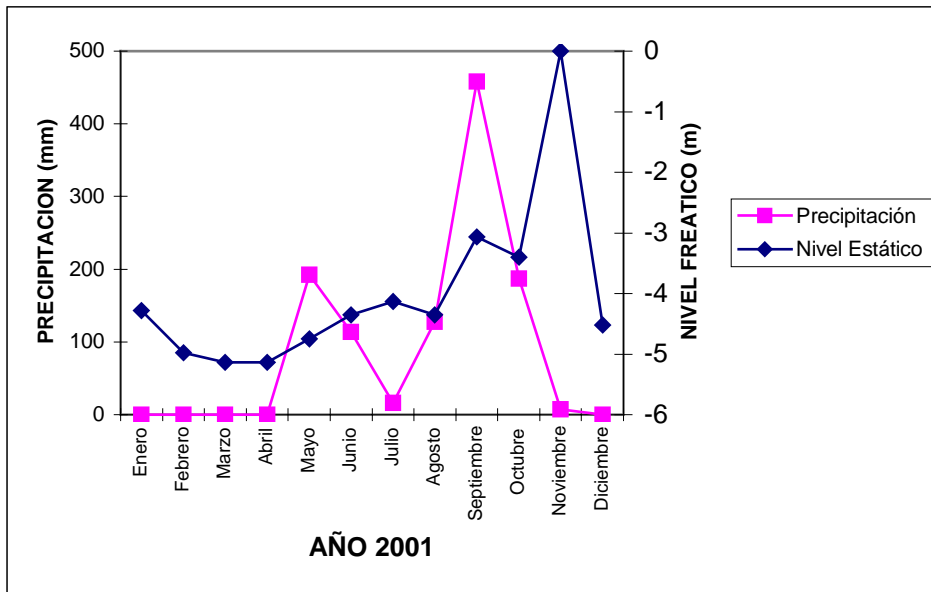


Figura N°6. Precipitación versus nivel estático del pozo N°4

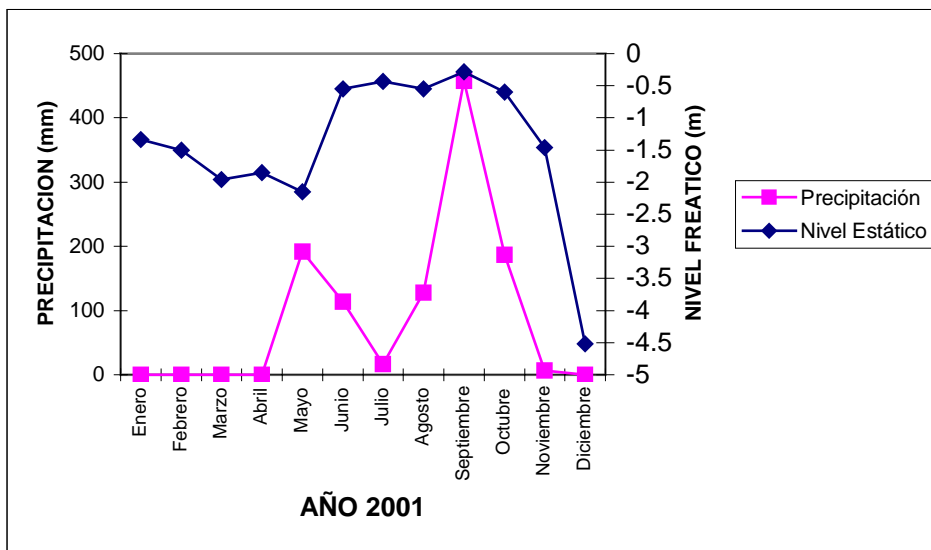


Figura N°7. Precipitación versus nivel estático del pozo N°20.

Cuadro 1

Datos hidrométricos disponibles de algunos ríos de la zona

Fecha del aforo	Caudal	Coordenadas X- Y	Lugar
<i>Río Crucivallejo</i>			
18 febrero 1986	87.0	367400 – 210650	Buenavista de Nicoya
03 abril 1986	13.0	“ “	“ “ “
06 mayo 1986	1.3	“ “	“ “ “
18 febrero 1986	101.0	366050 – 209850	1.8 km hacia la playa, junta con R. Frío
03 abril 1986	18.0	“ “	“ “ “ “ “ “ “ “
06 mayo 1986	7.0	“ “	“ “ “ “ “ “ “ “
<i>Río Buenavista</i>			
18 febrero 1986	0.0	367650 – 211100	Buenavista de Nicoya
03 abril 1986	0.0	“ “	“ “ “
06 mayo 1986	0.0	“ “	“ “ “

Fuente: Base datos aforos del Area de Aguas Subterráneas, SENARA. 2002.

Cuadro 2

Estimaciones de caudal para algunos ríos de la zona

Fuente	Caudal	Lugar
Río Buenavista:	Q = 12 l/seg	Sector paso vado. Curso tranquilo, topografía plana, se nota una recarga pobre Riberas bien protegidas
	Seco	Puente saliendo de Sámara. con algunas charcas, indicio de un flujo base pero muy pobre.
Quebrada Taranta:	Q = 1 l/seg	Saliendo de Sámara. .Afluente del Bellavista. flujo base. Agua estancada por pendiente.
Río Lagarto:	Seco	Puente saliendo de Sámara, aprox. 1 km, se nota que en invierno conduce bastante agua.
Río Platanillo:	Q = 2-3 l/s.	Afluente del R. Crucivallejo, después de Terciopelo
Río Micos:	Q = 2-3 l/s.	Afluente del R. Crucivallejo
Quebrada Terciopelo:	Seca	de la bomba hacia Nosara Afluente del _____. Cobertura buena de las riberas y protegidas.
Río Crucivallejo:	Q = 5-10 l/s	Afluente del R. Buenavista. Este río en invierno, todos los años se desborda inundando la cancha de fútbol de San Fernando. En diciembre los ríos se secan.
Quebradas Salitral y Tigre:	Secas.	
Quebradas Esterones:		Agua encharcada, flujo base de aprox. 1 litro/seg.

El resto de las quebradas están secas.

Fuente: Visita de campo a la zona, Enero 2002.

Cuadro 3

Datos geográficos de las estaciones meteorológicas

Estación	Número	Latitud	Longitud	Elevación	Período de Registro
Sámara	00072045	09°53'	85°37'	4	Mar 2001 – Feb 2002
Nosara	00072120	09°53'	85°37'	15	May 1976 – Dic 2001
Jabilla	00072128	09°53'	85°37'	13	Ene 1993 – Dic 2001
Nicoya	00072101	10°09'	85°27'	120	Jul 1935 – Dic 1984

Fuente: Base datos de clima del Area de Aguas Subterráneas, SENARA. 2002.

Cuadro 4

Datos de lluvia total mensual promedio

Mes	Sámara (1)	Jabilla(*) (2)	Nosara (*) (3)	Promedio de (2) y (3)	Porcentaje (%)
Enero	2.0	5.0	5.4	5.2	0.2
Febrero	0.0	2.3	4.6	3.5	0.1
Marzo	0.0	13.7	12.1	12.9	0.5
Abril	16.0	35.7	62.4	49.1	2.1
Mayo	351.5	182.9	287.9	235.4	9.9
Junio	406.0	298.4	353.1	325.8	13.6
Julio	164.0	175.5	253.9	214.7	9.0
Agosto	403.0	279.8	411.8	345.8	14.5
Setiembre	712.5	446.0	670.6	558.3	23.4
Octubre	390.0	429.5	378.2	403.9	16.9
Noviembre	373.0	214.1	181.0	197.6	8.3
Diciembre	48.5	20.8	48.5	34.7	1.5
Total anual	2866.5	2103.7	2669.5	2386.6	100.0

Fuente: Base datos de clima del Area de Aguas Subterráneas, SENARA. 2002.

(*): *Se utilizó el promedio del período Enero 1993 a Diciembre del 2001 como período común.*

Cuadro 6. Resultados de las pruebas de infiltración

Prueba Nº	Ubicación	Método utilizado	Profundidad del hueco(m)	R1 (cm/s)	R2 (cm/s)	Conductividad hidráulica saturada de campo(cm/s)	Clasificación de permeabilidad
1	207,450N/368,750W	P.G.*	0.65	0.0117	0.0183	0.00043	Poco Permeable
2	206,975N/370,525W	P.G.*	0.23	0.0025	0.0055	0.00032	Poco Permeable
3	208,900N/365,850W	P.G.*	0.44	0.0025	0.0050	0.00025	Poco Permeable
4	209,750N/366,600E	P.G.*	0.41	0.0040	0.0067	0.00020	Poco Permeable
5	206,450N/371,180W	P.G.*	0.43	0.0017	0.0050	0.00041	Poco Permeable
6	206,975N/370,525W	MDA.*				0.00217	Moderad. Permeable

P.G.*: Permeámetro de Guelph

MDA.*: Método Doble Anillo

Cuadro 7. Datos de evapotranspiración potencial (Datos estación Nicoya)

MES	Etp (mm/día)	Etp (mm/mes)
ENERO	4.976	154.26
FEBRERO	5.676	158.94
MARZO	6.293	195.08
ABRIL	6.381	191.42
MAYO	5.765	178.71
JUNIO	4.805	144.15
JULIO	5.109	158.37
AGOSTO	5.045	156.39
SETIEMBRE	4.636	139.08
OCTUBRE	4.414	136.84
NOVIEMBRE	4.460	133.80
DICIEMBRE	4.608	142.86

Fuente: Base de datos climáticos del SENARA. 2002

Cuadro 9

Características de los suelos en las microcuencas en los ríos Mala Noche y Buenavista

Clave	Suelo principal	Suelo asociado	Porcentaje	Ubicación
<i>Cuenca del río Mala Noche:</i>				
I-32	Ustic Dystropept	-----	25	Partes altas y medias
I-33	Ustic Dystropept	Ultic Haplustalf	70	Partes bajas
M-3	Fluvaquentic Hapludoll	Typic Trophaquept Fluvaquentic haplaquoll	5	Partes bajas
<i>Cuenca del río Buenavista:</i>				
I-21	Fluventic Ustropept	Fluventic Haplustoll	5	
I-32	Ustic Dystropept	-----	50	
I-33	Ustic Dystropept	Ultic Haplustalf	45	

Fuente: Mapa de asociación de subgrupos de suelos de Costa Rica Hoja Nicoya. Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. San José, Costa Rica. Escala 1:200000.

Descripción

Mollisoles:

M-3: Son suelos de texturas medias, oscuros, desarrollados de depósitos fluviales con algunos a bastantes problemas de drenaje.

Inceptisoles:

I-21: Suelos profundos, poco desarrollados, secos por más de 90 días consecutivos al año, con riesgo de inundación, asociados con suelos similares menos profundos y más oscuros, en valles aluviales.

I-32: Suelos poco desarrollados, bajos en bases, secos por más de 90 días consecutivos, en colinas y montañas.

I-33: Suelos profundos, bajos en bases, seco por más de 90 días al año, asociado con suelos arcillosos, poco profundos, pedregosos, en terrenos montañosos y terrazas antiguas.

Cuadro 10

Capacidad de uso del suelo microcuenca del río Mala Noche

Clase	Porcentaje	Ubicación	Características
2 P	20	Zona baja costera	Requiere métodos sencillos de manejo y conservación. Apta para cualquier tipo de uso pero con una selección cuidadosa de cultivos y actividades a desarrollar.
3 P	45	Parte alta y media de la cuenca	Suelos de poca profundidad con pendientes hasta del 30%. Requiere de una selección cuidadosa de usos y de prácticas especiales de conservación
4 P	20	Parte baja y alta de la cuenca	Presenta limitaciones más severas que las clases anteriores pero se considera apta para todo tipo de usos pero utilizando métodos de manejo intensivos y conservación de suelos. Suelos poco profundos muy susceptibles a la erosión y fertilidad muy baja en pendientes de hasta un 30%.
6 P	15	Parte alta de la microcuenca	Estos suelos requieren cuidadosas prácticas de manejo y aptos para cultivos permanentes, ganadería o utilización del bosque. Presentan pendientes hasta del 60% , una alta susceptibilidad a la erosión y escasa profundidad efectiva.

Fuente: Mapa de capacidad de uso de los suelos de Costa Rica Hoja Nicoya. Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. San José, Costa Rica. Escala 1:200000.

Nota: P: indica que el principal limitante es la pendiente y la presencia de 5 meses secos.

Cuadro 11

Capacidad de uso del suelo microcuenca del río Buenavista

Clase	Porcentaje	Ubicación	Características
2 P	10	Predomina en zona baja costera	Requiere métodos sencillos de manejo y conservación. Apta para cualquier tipo de uso pero con una selección cuidadosa de cultivos y actividades a desarrollar.
3 P	45	Parte media y baja de la cuenca	Suelos de poca profundidad con pendientes hasta del 30%. Requiere de una selección cuidadosa de usos y de prácticas especiales de conservación
4 P	40	Parte media alta Norte y Este de la cuenca y zona costera	Presenta limitaciones más severas que las clases anteriores pero se considera apta para todo tipo de usos pero utilizando métodos de manejo intensivos y conservación de suelos. Suelos poco profundos muy susceptibles a la erosión y fertilidad muy baja en pendientes de hasta un 30%.
6 P	5	Parte alta de la microcuenca	Estos suelos requieren cuidadosas prácticas de manejo y aptos para cultivos permanentes, ganadería o utilización del bosque. Presentan pendientes hasta del 60% , una alta susceptibilidad a la erosión y escasa profundidad efectiva.

Fuente: Mapa de capacidad de uso de los suelos de Costa Rica Hoja Nicoya. Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. San José, Costa Rica. Escala 1:200000.

Nota: P: indica que el principal limitante es la pendiente y la presencia de 5 meses secos.

Cuadro 12

Categoría de pendientes en las microcuencas de los ríos Mala Noche y Buenavista

Clave	Tipo de pendiente	Porcentaje en la microcuenca	Rango de pendiente	Localización en la microcuenca
-------	-------------------	------------------------------	--------------------	--------------------------------

Cuenca del río Mala Noche:

A	Plano ondulado	10	0 a 15 %	Zona costera
B	Accidentado	65	15 a 30 %	Partes baja y media
C	Muy accidentado	20	30 a 45 %	Partes alta y media
D	Quebrado	5	45 a 60%	Partes altas

Cuenca del río Buenavista:

A	Plano ondulado	10	0 a 15 %	Z.costera, parte baja
B	Accidentado	40	15 a 30 %	Partes baja y media
C	Muy accidentado	45	30 a 45 %	Partes altas y medias
D	Quebrado	5	45 a 60 %	Partes altas y medias (sector Este)

Fuente: Mapa de categoría de pendientes de Costa Rica Hoja Nicoya. Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. San José, Costa Rica. Escala 1:200000.