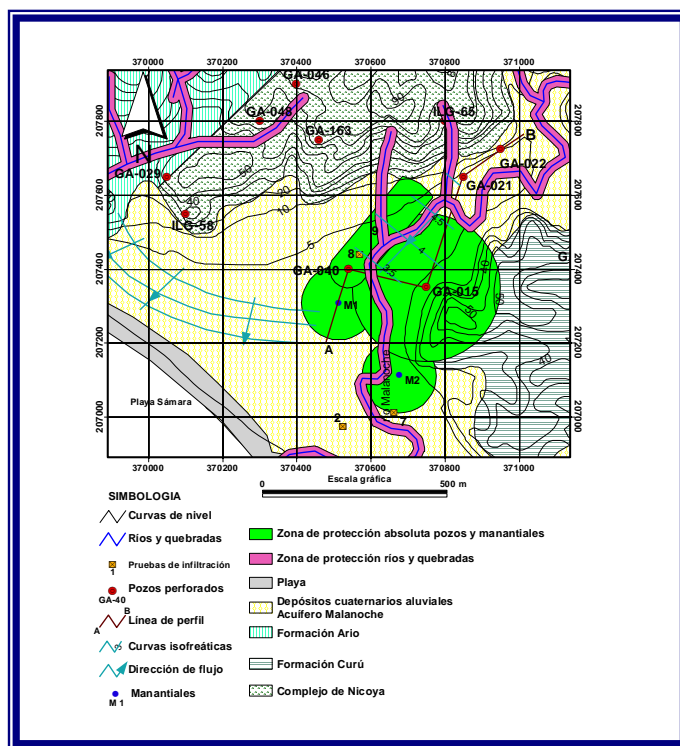


# SERVICIO NACIONAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, RIEGO Y AVENAMIENTO ÁREA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



SENARA

## “HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO MALA NOCHE” SÁMARA DE NICOYA, GUANACASTE



LIC. ALONSO ALFARO MARTÍNEZ  
GEÓLOGO

SEPTIEMBRE, 2006



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Objetivo general

● Realizar un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero aluvial Malanoche para calcular la vulnerabilidad intrínseca, la amenaza y el riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas.

### 1.2. Ubicación del área de estudio

El acuífero Malanoche se sitúa en la parte baja de la microcuenca del río Malanoche, entre las coordenadas Lambert 369500-371200 Este y 206500 - 208000 Norte, en la zona de Playa Sámará, Nicoya de Guanacaste (Figura 1).

### 1.3. Metodología de trabajo

● Se investigó y recopiló la información hidrogeológica que se ha generado en la zona, (mapas en formato de papel y digitales, informes técnicos de instituciones, campañas geológicas de la Universidad de Costa Rica).

● Se recopiló datos de la base de archivo de pozos y manantiales del SENARA.

● Se realizaron pruebas de infiltración para determinar la velocidad de infiltración de los suelos, mediante los métodos de doble anillo concéntrico de Kostiakov y Porchet y permeámetro Ghuelph.

● Se realizaron estudios de suelos para determinar los siguientes parámetros: textura, porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez, densidad real y densidad aparente.

● Se realizó un modelo hidrogeológico conceptual para determinar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero por el método GOD.

● Se realizó un análisis del riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas, debido a la amenaza por aguas residuales (negras y servidas).

● Se realizó el informe final.

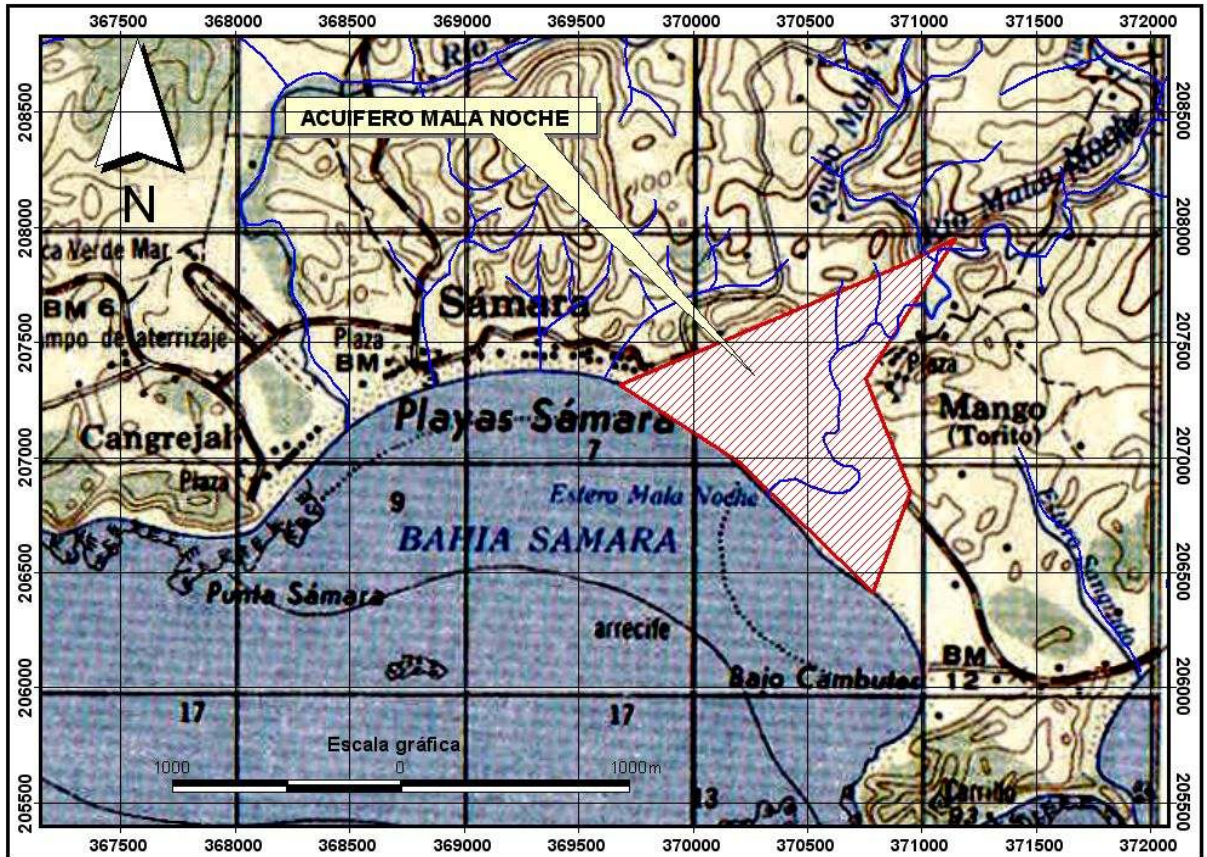


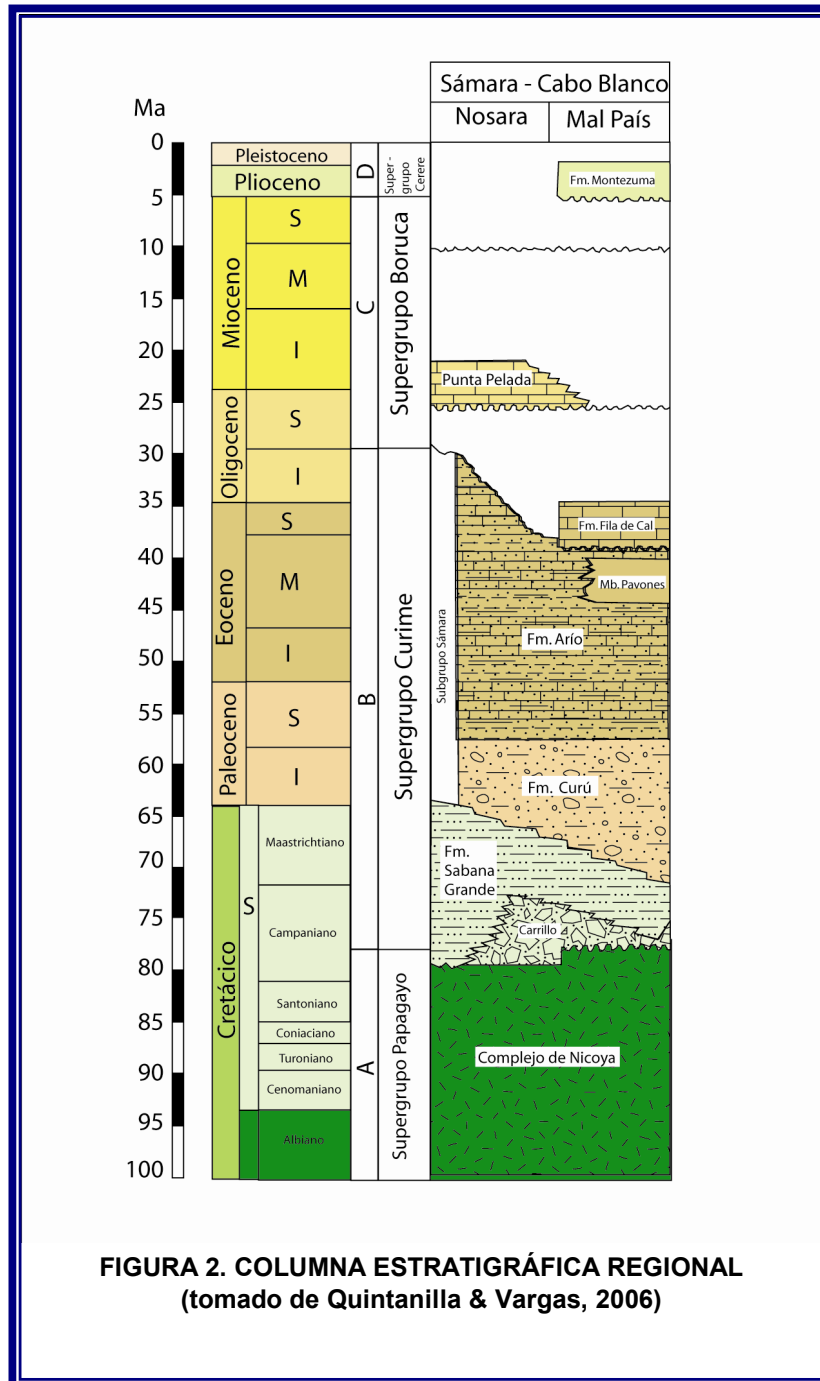
FIGURA 1  
MAPA DE UBICACIÓN



## 2. GEOLOGÍA

### 2.1. Geología Regional

La geología de la zona de estudio ha sido dividida en las siguientes formaciones (Figura 2 Columna Estratigráfica Regional y Figura 3 Mapa Hidrogeológico):





### **2.1.1 Complejo de Nicoya**

Definido por Dengo (1962), al referirse a las unidades ígneas y sedimentarias intensamente tectonizadas que afloran en la Península de Nicoya. Alvarado & Denyer (1998) dicen mitológicamente está compuesto por una serie de basaltos, brechas y diques, con intrusiones de peridotitas, gabros y plagiogranitos. Está dividido en dos unidades tectonoestratigráficas definidas por Kuypers (1979, 1980):

Unidad Matapalo: conformada por basaltos y otras rocas sedimentarias e ígneas asociadas (Astorga, 1987). Su edad es de Jurásico Inferior - Cretácico Inferior (Baumgartner et al., 1984; DeWever et al. 1985).

Unidad Esperanza: constituida también, por basaltos y otras rocas sedimentarias asociadas (Astorga, 1987). Según la recopilación de dataciones realizada por Alvarado et al (1992) las edades varían entre 72,5 y 30 Ma., un rango que corresponde con Cretácico Superior – Terciario.

Presenta una distribución geográfica a lo largo de la costa pacífica, en las penínsulas de Nicoya, Santa Elena, Osa y Burica y en los promontorios de Herradura y Quepos (Alvarado & Denyer, 1998). Las rocas de esta unidad son sobreyacidas inconformemente por las formaciones Loma Chumico, Brechas Puerto Carrillo y Sabana Grande.

### **2.1.2 Formación Brecha Puerto Carrillo**

Fue definida por Sprechmann (1984), el cual definió la localidad tipo en entre la desembocadura de la Quebrada Pilas y Punta Carrillo. Litológicamente consiste de brechas, predominantemente basálticas, de espesor variable y lateralmente discontinuos. (Astorga, 1987).

### **2.1.3 Formación Sabana Grande**

La formación fue definida por Dengo (1962), para caracterizar unidades de roca compuestas fundamentalmente por lutitas silíceas. Baumgartner et al (1984) la ascienden a rango de Grupo Sabana Grande y Astorga (1987) considera innecesario el uso de rango por lo que redefine el término de Formación Sabana Grande, definiendo como el estratotipo el área de los alrededores del poblado de Sabana Grande al NW de Nicoya.

Litológicamente está compuesto por lutitas calcáreas, lutitas silíceas y areniscas finas calcáreas, de edad Albiano al Maastrichtiano Medio/Superior (Astorga, 1987). Sobreyace inconformemente los basaltos del Complejo de Nicoya y presenta un contacto lateral con la Formación Brechas Puerto Carrillo (Astorga, 1987).



#### **2.1.4 Formación Curú**

Esta formación fue definida por Astorga (1987). 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).

La edad de esta formación se extiende desde el Maastrichtiano Medio/Superior al Paleoceno Superior basal (Astorga, 1987). Su contacto inferior es gradual con la Formación Sabana Grande y su contacto superior es con la Formación Ario. (Astorga, 1987).

#### **2.1.5 Formación Calcilitas Arío**

Fue definido por Astorga (1987) para las rocas que afloran en los acantilados de Arío, Sámara y Cabo Blanco al SW de la Península de Nicoya. Litológicamente consiste de calcilitas de estratificación delgada a media, con intercalaciones irregulares de areniscas turbidíticas, lutitas pelágicas, brechas basálticas y areniscas bioclásticas. Presenta un rango de edad desde Paleoceno Superior a Eoceno Superior / Oligoceno Inferior (Astorga, 1987).

#### **2.1.6 Depósitos cuaternarios (aluviones)**

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 (Morera & Matamoros, 2003).



### 3. HIDROGEOLOGÍA

#### 3.1. Pozos perforados

Se consultó en la base nacional de pozos y manantiales del SENARA los pozos perforados cercanos al área del acuífero, la información se observa en el Cuadro 1 y la localización en la Figura 3 del Mapa Hidrogeológico:

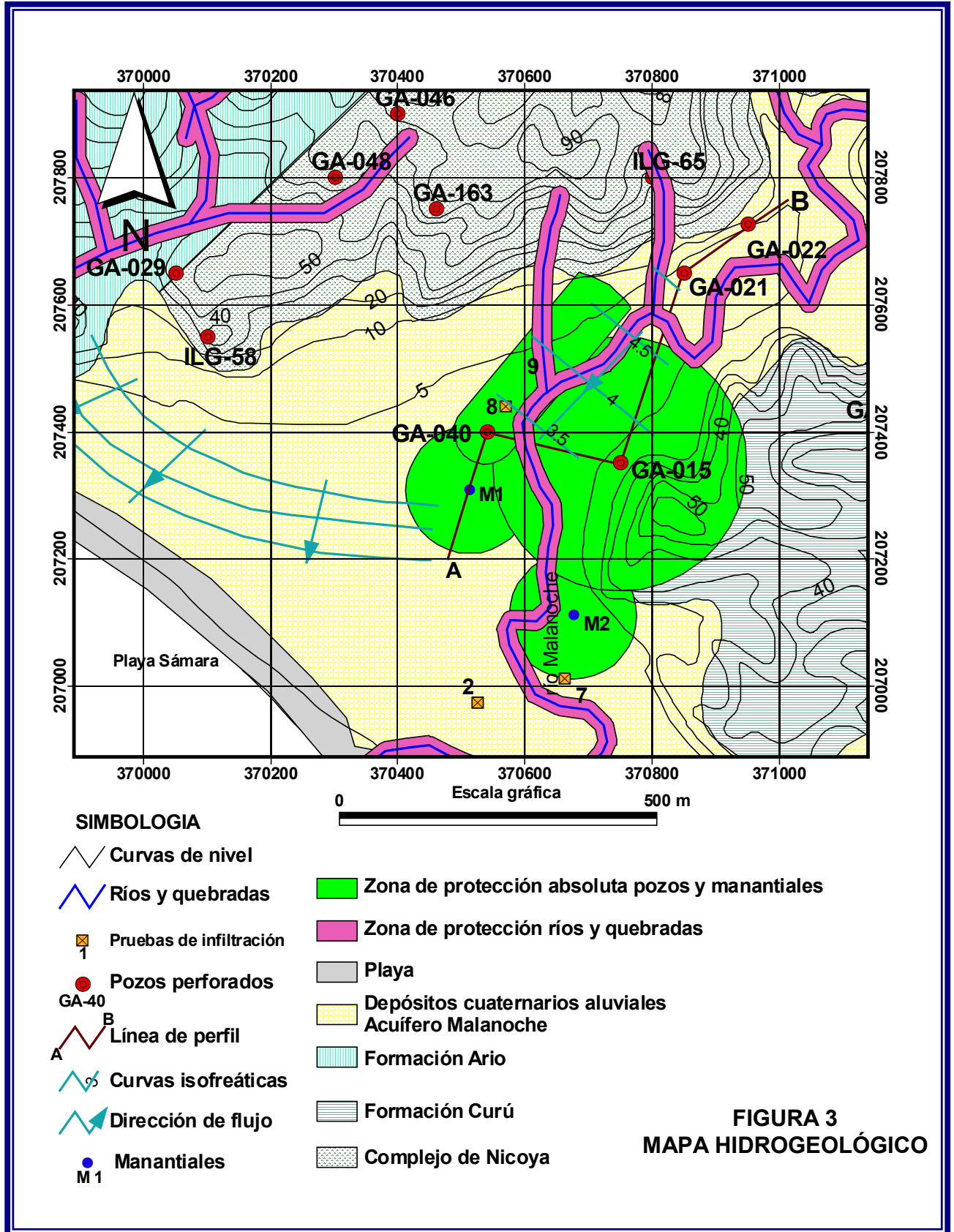
**CUADRO 1**  
**POZOS PERFORADOS EN LA ZONA DE SÁMARA**

POZO	X	Y	PROPIETARIO	LUGAR
GA-006	369080	207550	AyA	SAMARA
<b>GA-015</b>	<b>370750</b>	<b>207350</b>	<b>AYA</b>	<b>TORITO</b>
<b>GA-021</b>	<b>370850</b>	<b>207650</b>	<b>MINOR CHAVEZ ARGUEDAS</b>	<b>SANTO DOMINGO</b>
<b>GA-022</b>	<b>370950</b>	<b>207725</b>	<b>MINOR CHAVES ARGUEDAS</b>	<b>SANTO DOMINGO</b>
GA-026	371180	206450	VILLAS DE PLAYA SAMARA	
GA-027	371075	206500	VILLAS DE PLAYA SAMARA	
GA-029	370050	207650	HOTELERA BADER, S.A.	SAMARA
GA-034	369075	207850	GERD EDWARD MAHLICH.	SAMARA
GA-037	371300	207250	ESTRUCTURA EMP.ALFA S.A.	TORITO
<b>GA-040</b>	<b>370540</b>	<b>207400</b>	<b>AyA</b>	<b>TORITO</b>
GA-046	370400	207900	JACQUES BERGERON	SANTO DOMINGO
GA-048	370300	207800	SOVERINI GIAN LUIGI	SAMARA
GA-049	370450	208050	DEBORAH NELZIL WALDRON	SAMARA
GA-053	371140	207410	MASSIMO FIORI	EL TORITO
GA-095	369750	207800	GUIDO NOVELLO Y COMPAÑIA S.A.	SAMARA
GA-122	370300	208020	GERARD AYOTE	SAMARA
GA-123	370159	208173	MARDELINDO S.A.	SAMARA
GA-163	370460	207750	LUMEN AETERNUM S.A.	SANTO DOMINGO
GA-194	370811	207973	VISTA DE LOS SUEÑOS DE SAMARA S.A.	SAMARA
GA-202	371137	206848	NEAR THE OCEAN S.A	SAMARA
GA-211	370412	208623	TRINITY HOLDINGS INC.S.A	SANTO DOMINGO
ILG-58	370100	207550	GUIDO NOVELLO Y CIA S.A.	SAMARA
ILG-65	370800	207800	MIGUEL ANGEL SOTO GOMEZ	TORITO

Fuente: Senara, 2006.

Sin embargo para el modelo hidrogeológico solo se utilizaron los pozos GA-15, GA-21, GA-22 y GA-40, (información resaltada en el Cuadro1).

El pozo GA-040 es utilizado como fuente de abastecimiento por la ASADA de Sámara; brindando el servicio de agua potable para 2000 personas en temporada baja y unas 7000 personas en la temporada alta. También el Comité Administrador del Acueducto de El Torito abastece de agua potable unas 800 personas distribuidas en los poblados de El Torito y el sector Mala Noche ( también conocido como sector Isla Chora), por medio del pozo GA-015.





### 3.2. Manantiales

La Geól. María Gómez, del AyA realizó un levantamiento en el campo de dos manantiales en la zona del acuífero mala noche (Oficios URA-CH-2006-12 y URA-CH-2005-122); en el cuadro 2 están los datos geográficos y en la Figura 3 la ubicación, se debe de destacar que dichos manantiales no están captados.

**CUADRO 2**  
**MANANTIALES REPORTADOS EN EL ACUÍFERO MALANOCHÉ**

MANANTIAL	X	Y
M1	370514	207309
M2	370677	207111

### 3.3. Pruebas de infiltración, estudios de suelos

Para determinar los tiempos de tránsito, las zonas de protección y la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero se realizaron pruebas de infiltración con tres metodologías, doble anillo, porchet y permeámetro de Guelph; los datos los encontramos en el Cuadro 3 y su ubicación en la Figura 3.

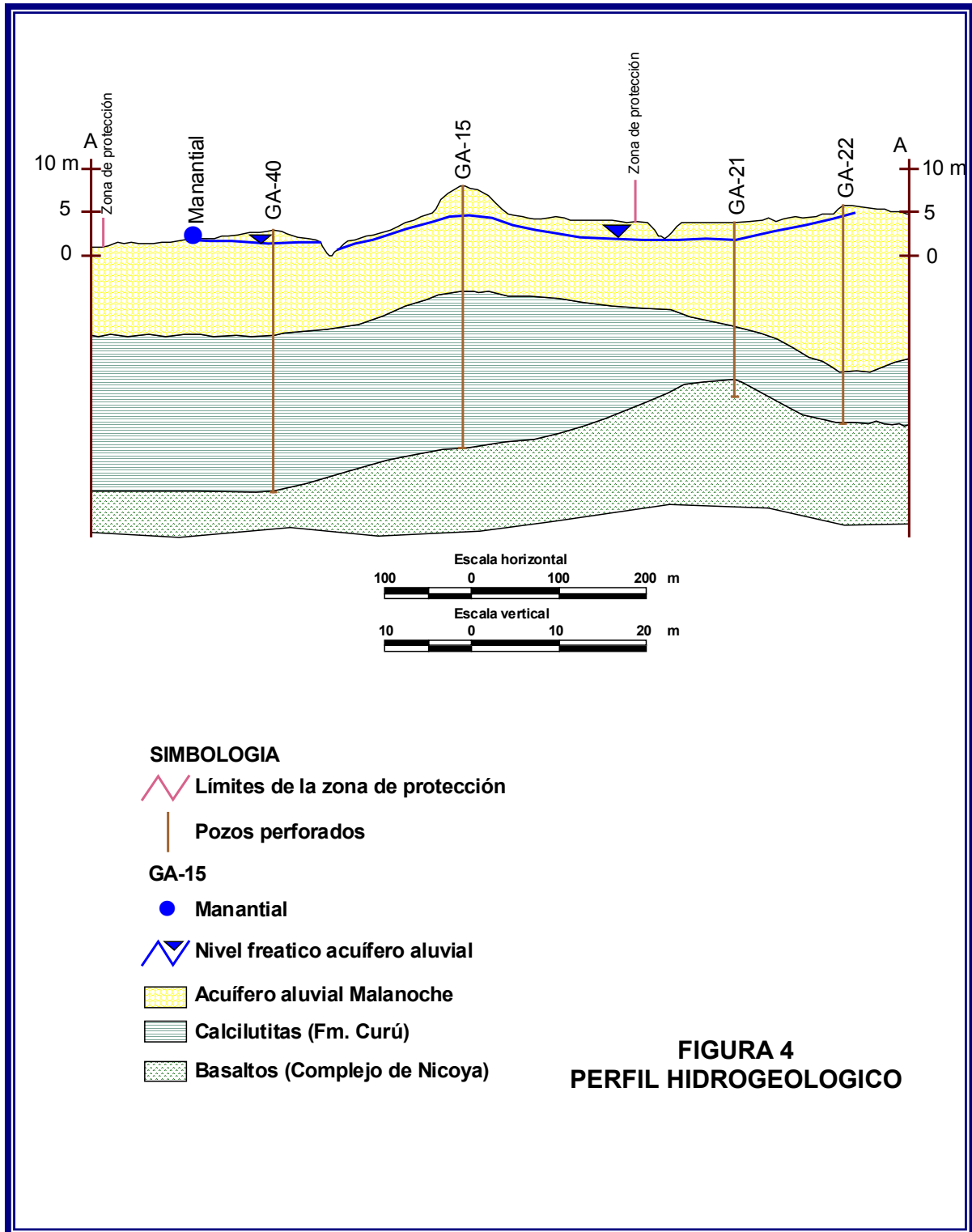
**CUADRO 3**  
**PRUEBAS DE INFILTRACIÓN EN LA**  
**ZONA DEL ACUÍFERO MALANOCHÉ**

PRUEBA	X	Y	PERMEABILIDAD (m/día)	REALIZO
2	370525	206975	0,28	SENARA
6	370525	206975	1,87	SENARA
7	370663	207011	1,15	SENARA
8	370570	207440	0,03	AyA
9	370630	207520	0,12	AyA

### 3.4. Modelo hidrogeológico conceptual

El acuífero en la parte baja del la microcuenca del río Malanoche está albergado en las rocas sedimentarias de los depósitos aluviales; por lo que se clasifica como un acuífero freático poroso en rocas sedimentarias y tiene 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 del aluvión.

Con base en el Perfil Hidrogeológico de la Figura 3, los depósitos aluviales tiene un espesor promedio de 10 a 15 metros; Rodríguez, 2003; 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.





Como se observa Perfil Hidrogeológico en la Figura 4, la profundidad del agua subterránea oscila entre los 0,5 y 3 metros, con manifestaciones de descarga por medio de manantiales y al río Malanoche (Figura 2, Mapa Hidrogeológico).

Morera & Matamoros, 2003; determinaron que la recarga al acuífero aluvial Malanoche muy directa y se produce principalmente sobre el aluvión, 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.

### **3.5. Zonas de protección de los pozos perforados y manantiales.**

#### **3.5.1 Pozos**

Para los pozos perforados de las ASADAS de Sámara y el Torito se han determinado y graficado (Figura 3 Mapa hidrogeológico) de la siguiente manera:

- Pozo de la ASADA Sámara (GA-040): Con base en el estudio técnico de Ramos, 2002; se define una zona de protección de 300 metros aguas arriba de la fuente y 50 metros aguas debajo de la misma, con un ancho de 50 metros.
- Pozo ASADA el Torito (GA-015): Con base en el Artículo 31 del Capítulo I. Sección II. Cañerías para poblaciones de la Ley de Aguas (N°. 276, 27 de agosto de 1942), se establece una zona de protección de 200 metros.

#### **3.5.2 Manantiales**

Para los manantiales se definió un radio de zona de protección de 100 metros; (Figura 3 Mapa Hidrogeológico) como se establece en la Ley Forestal (N°. 757513 de febrero de 1996), Artículo 33.- Áreas de protección.

#### **3.5.3 Ríos y quebradas**

Para los ríos y quebradas se definió un radio de zona de protección de 15 metros a ambos márgenes; (Figura 3 Mapa Hidrogeológico) como se establece en la Ley Forestal (N°. 757513 de febrero de 1996), Artículo 33.- Áreas de protección.

### **3.6. Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero aluvial Malanoche**

Para el análisis de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, se usará el Método "G.O.D". (por sus iniciales en inglés), el cual considera dos factores básicos:

- El grado de inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada
- La capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada del acuífero, (Foster, et al, 2002).



El índice de vulnerabilidad G.O.D. caracteriza la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en función de los parámetros:

- Grado de confinamiento hidráulico
- Ocurrencia del sustrato suprayacente
- Distancia al nivel freático

Para el Acuífero Malanoche los valores asignados los encontramos en la Cuadro 4 y la Figura 5:

**CUADRO 4**  
**APLICACIÓN DEL MÉTODO "G.O.D".**  
**EN EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA**  
**SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO MALANOCHÉ**

PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN	VALOR
Grado de confinamiento hidráulico	Libre o Freático	1,00
Ocurrencia del sustrato suprayacente	Arenas aluviales	0.75
Distancia al nivel del agua subterránea	< 5 metros	0.95
Valor del índice de vulnerabilidad	<b>G x O x D</b>	<b>0.71</b>
<b>Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero</b>	<b>EXTREMA</b>	

El nivel del agua subterránea utilizado es el obtenido del Perfil Hidrogeológico (Figura 4, Perfil Hidrogeológico). Según el análisis realizado, la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero aluvial Malanoche se clasifica como **EXTREMA** (Figura 5, Gráfico de G.O.D).

### 3.7. Análisis de la amenaza (carga contaminante por aguas residuales)

Ramos, 2002; calcula y analiza el tiempo de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada del acuífero aluvial Malanoche, parámetro utilizado para definir la zona de protección del pozo GA-040, la metodología es la propuesta por Rodríguez (1994). Este método utiliza varios supuestos, pero en este caso el que nos interesa es el siguiente:

- El tiempo de residencia máxima de las bacterias en el subsuelo (zona no saturada) es de 70 días.

El valor obtenido por la Geól. Ramos es de 20 días; que es el tiempo requerido para alcanzar el nivel del agua subterránea, por lo tanto la amenaza o carga contaminante se considera **ALTA**, ya que no cumple con los 70 días mínimos del tiempo de tránsito requerido para la desintegración de las bacterias.

Por otra parte el Área de Aguas Subterráneas del Senara realizó también los cálculos de los tiempos de tránsito, utilizando la misma metodología que la Geól. Ramos:



$$T = \frac{b * n}{k}$$

Donde:

- T: Tiempo de infiltración natural del agua en días hasta alcanzar el nivel freático
- b: Espesor de la zona no saturada (m)
- n: Porosidad del material no saturado (%)
- k: Permeabilidad del material no saturado (m/d).

Los valores a aplicar son los siguientes:

- b: 1 metro, tomado del Perfil Hidrogeológico, (Figura 4).
- n: 45 % (con base en el análisis de suelo Three Phases, Senara,2006)
- k: 1,15 m/d, tomado de la prueba de permeabilidad realizada en el acuífero.

Aplicando los valores en la ecuación tenemos que:

$$T = \frac{1 * 0,45}{1,15}$$

$$T = 0,39 \text{ días}$$

Por lo tanto los contaminantes alcanzarán el nivel del agua subterránea en un tiempo de 0,39 días, lo que refuerza el valor alto de la amenaza por la carga contaminante a la contaminación del agua subterránea, ya que no cumple con los 70 días mínimos del tiempo de tránsito requerido para la desintegración de las bacterias.

### **3.8. Riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas por aguas residuales**

El riesgo lo podemos definir como la relación entre la amenaza y la vulnerabilidad:

$$R = A \times V$$

En donde:

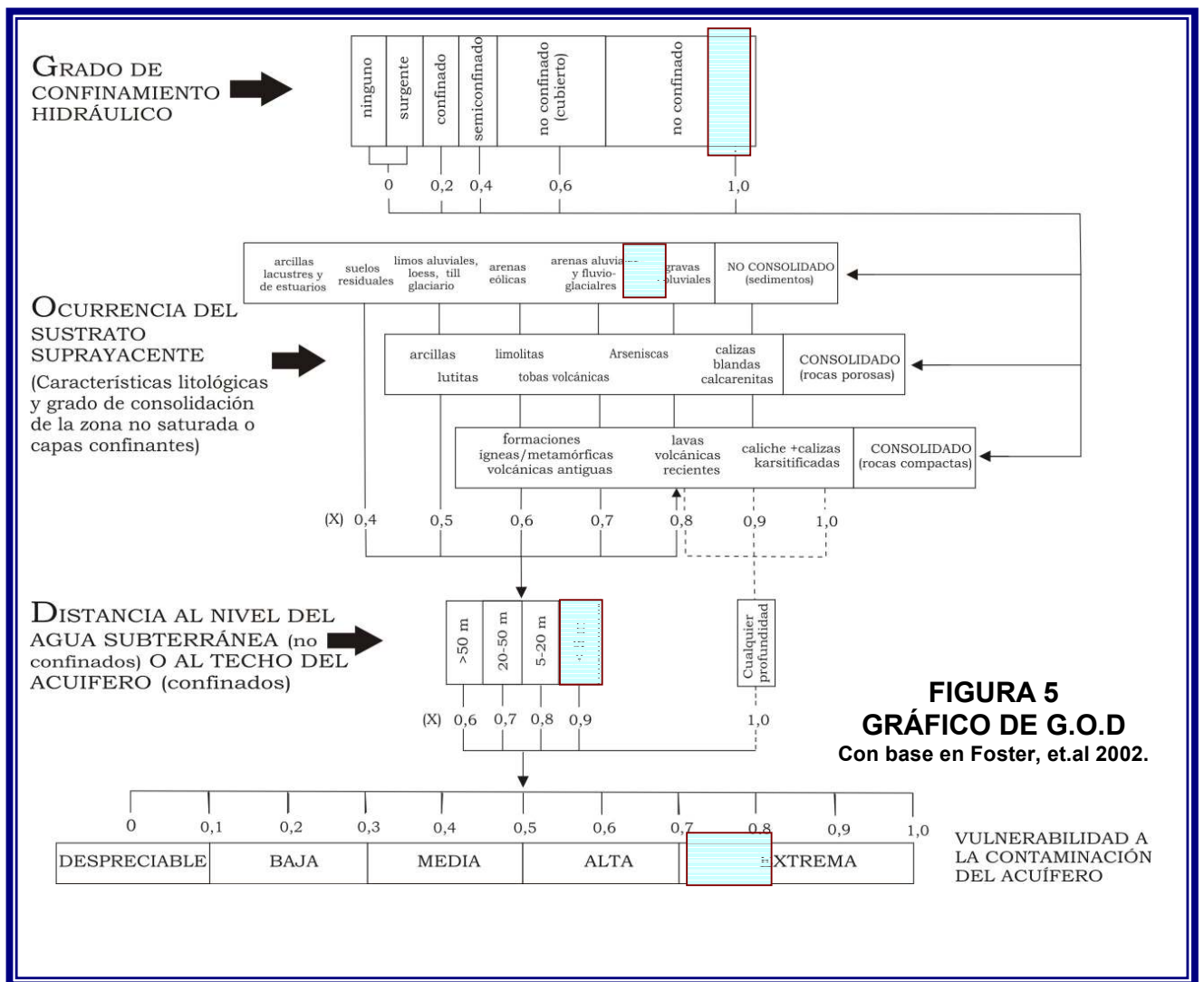
- R = riesgo a la contaminación del agua subterránea
- A = amenaza originada por la carga contaminante (aguas residuales).
- V = vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero.



Por lo tanto utilizando la matriz propuesta por Hirata et.al., (1997) el riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas por aguas residuales (negras y servidas) es **ALTO**, (Cuadro 5).

**CUADRO 5**  
**MATRIZ PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN**  
 Con base en Hirata et.al., (1997)

VULNERABILIDAD INTRÍNSECA A LA CONTAMINACIÓN	AMENAZA (carga contaminante potencial)			
		Alta	Media	Baja
	Extrema	<b>ALTO</b>	Alta	Medio
	Alta	Alto	Alto	Medio
	Media	Alto	Medio	Bajo
Baja	Alto	Medio	Bajo	
<b>RIESGO</b>				



**FIGURA 5**  
**GRÁFICO DE G.O.D**  
 Con base en Foster, et.al 2002.



#### 4. CONCLUSIONES

- El acuífero en la parte baja de la microcuenca del río Malanoche está albergado en las rocas sedimentarias de los depósitos aluviales; por lo que se clasifica como un acuífero freático poroso en rocas sedimentarias y tiene un potencial acuífero de medio a alto.
- Con base en el perfil hidrogeológico, los depósitos aluviales tienen un espesor promedio de 10 a 15 metros; una transmisibilidad de  $33 \text{ m}^2/\text{día}$  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%.
- En el acuífero Malanoche la profundidad del agua subterránea oscila entre los 0,5 y 3 metros, con manifestaciones de descarga por medio de manantiales y efluencia al río Malanoche
- 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 de los pozos después de un período de lluvia o en su defecto de sequía.
- La dirección del flujo del agua subterránea es hacia el suroeste; en descarga hacia el mar, con un gradiente hidráulico de 0,005.
- Del acuífero mala noche se extrae agua subterránea para consumo humano, el pozo GA-040 es utilizado como fuente de abastecimiento por la ASADA de Sámara; brindando el servicio de agua potable para 2000 personas en temporada baja y unas 7000 personas en la temporada alta
- También el Comité Administrador del Acueducto de El Torito abastece de agua potable unas 800 personas distribuidas en los poblados de El Torito y el sector Mala Noche (también conocido como sector Isla Chora), por medio del pozo GA-015.
- La Geól. María Gómez, del AyA realizó un levantamiento en el campo de dos manantiales en la zona del acuífero mala noche.
- Para determinar los tiempos de tránsito, las zonas de protección y la evaluación de la vulnerabilidad, amenaza y riesgo a la contaminación del agua subterránea en el acuífero Malanoche se realizaron pruebas de infiltración con tres metodologías, doble anillo, porchet y permeámetro de Guelph.

Para los pozos perforados de las ASADAS de Sámara y el Torito se han determinado y calculado las zonas de protección absoluta de la siguiente manera:



- Pozo de la ASADA Sámara (GA-040): Con base en el estudio técnico de Ramos, 2002; se define una zona de protección de 300 metros aguas arriba de la fuente y 50 metros aguas debajo de la misma, con un ancho de 50 metros.
- Pozo ASADA el Torito (GA-015): Con base en el Artículo 31 del Capítulo I. Sección II. Cañerías para poblaciones de la Ley de Aguas (N°. 276, 27 de agosto de 1942), se establece una zona de protección de 200 metros.
- Para los manantiales se definió un radio de zona de protección de 100 metros; como se establece en la Ley Forestal (N°. 757513 de febrero de 1996), Artículo 33.- Áreas de protección.
- Para los ríos y quebradas se definió un radio de zona de protección de 15 metros a ambos márgenes; como se establece en la Ley Forestal (N°. 757513 de febrero de 1996), Artículo 33.- Áreas de protección.
- Para el análisis de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, se utilizó el Método “G.O.D”, y la misma se clasifica **EXTREMA**.
- Ramos, 2002; calcula y analiza el tiempo de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada del acuífero aluvial Malanoche y obtiene un valor de 20 días; que es el tiempo requerido para alcanzar el nivel del agua subterránea, por lo tanto la amenaza o carga contaminante se considera **ALTA**
- El senara también realiza un análisis de los tiempos de tránsito de los contaminantes los cuales alcanzarán el nivel del agua subterránea en un tiempo de 0,39 días, lo que refuerza el valor alto de la amenaza por la carga contaminante a la contaminación del agua subterránea, ya que no que no cumple con los 70 días mínimos del tiempo de tránsito requerido para la desintegración de las bacterias.
- El riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas por aguas residuales (negras y servidas) es **ALTO**.
- Cualquier tipo de desarrollo en al acuífero Malanoche afectará la zona de recarga.

## 5. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para el uso del suelo en al Acuífero Malanoche son las siguientes:

- No se tienen que permitir urbanizaciones debido al alto riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas por aguas residuales (negras y



servidas) y también se dará la impermeabilización del suelo afectando la zona de recarga del acuífero.

- No se permiten movimientos de tierra.
- Tampoco se tienen que permitir fraccionamientos, lotificaciones o segregaciones, actividades permanentes o temporales, hoteles, cabinas, condominios o cualquier tipo de obra civil que pongan en peligro los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Para demostrar que el proyecto no impacte a los recursos hídricos, debe realizarse evaluaciones exhaustivas hidrogeológicas, hidráulicas, biofísicas, hidrológicas y estudios de impacto ambiental, donde no solo se considere la zona de influencia directa, sino toda la micro cuenca de interés. Los anteriores estudios deben ser revisados y aprobados por la SETENA-MINAE y la Municipalidad de Nicoya.
- No se permite arrojar aguas servidas, aguas negras, desechos o cualquier sustancia contaminante al manto acuífero Malanoche o a las zonas de recarga del mismo; así como también a los ríos, quebradas permanentes o intermitentes.
- No se tienen que permiten industrias clasificadas como altamente peligrosas o medianamente peligrosas o industrias que puedan depositar efluentes contaminantes en el suelo y el agua, o bien, en caso de utilizarse la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas (CIIU), no se permitiría los establecimientos: a) Grupo A: Alto riesgo b) Grupo B: Moderado riesgo; el cual a su vez, dependiendo del tamaño del establecimiento y el riesgo potencial de la actividad, se subdivide en B1 y B2.
- No se tienen que permitir botaderos de basura así como el establecimiento de rellenos sanitarios.
- No se tiene que permitir la extracción de flora y fauna.
- No se deben autorizar perforaciones profundas a menos de 1 kilómetro de la línea de costa o perforaciones por debajo del nivel del mar; en cuyo caso se deberá de presentar al Área de Aguas Subterráneas del SENARA un estudio de Intrusión Salina en el cual se demuestre que el acuífero no será afectado por contaminación de agua salada.
- Se recomienda la reforestación, la conservación de la naturaleza y el paisaje.
- Para esta zona debe promoverse el Pago de Servicios Ambientales para fomentar la reforestación y conservación de la cobertura boscosa así como la



implementación de sistemas conservacionistas (Proyectos de Sistemas Agroforestales).

- Se recomienda realizar estudios locales en la Microcuenca del Río Mala Noche con el objetivo de reforzar y delimitar las zonas de protección de los recursos naturales; las cuales deben de ser implementadas en el Plan Regulador de la Municipalidad de Nicoya.

- En las **Áreas de Protección Absoluta** de los manantiales y/o pozos se recomienda cercar y rotular los perímetros de protección.

- Se recomienda promover programas de manejo de desechos sólidos y establecer programas de vigilancia ambiental.

- Se recomienda aplicar la legislación vigente sobre el tratamiento de las aguas residuales, con el fin de mitigar el impacto de la contaminación ambiental.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, G. E., & Denyer, P., 1998: Implications for the Caribbean region of the high-Mg volcanic rocks in the Costa Rican ophiolite complexes: The case of the Tortugal komatiitic – like suite. – Zbl. Geol. Palaont. Teil I, 3-6: 409-429.

ASADA Sámara., 2005: Estudio sobre la situación del acueducto de Sámara cuya meta es la protección del agua potable para el futuro en base de un desarrollo sostenible. [Informe Inédito]. 22 p.

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.

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.

BAUMGARTNER, P. O., MORA, C.R., BUTTERLIN, J., SIGAL, J., GLACON, G., AZEMA, J., BOURGOIS, J., 1984: Sedimentología y paleogeografía de Cretácico y Cenozoico del litoral pacífico de Costa Rica.- Rev. Geol. América Central, 1: 57 – 136.

Comisión Interinstitucional de Microcuencas de Heredia, 2004: Delimitación de Zonas de Protección acuífera en las microcuencas de los ríos Ciruelas, Segundo, Bermúdez, Tibas y Pará, Heredia, Costa Rica [Informe Inédito]. 97 p.

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

DeWEVER, P., AZÉMA, J., TOURNON, J., DESMET, A., 1985: Decouverte de material océanique du Lias-Dogger inférieur dans la péninsule de Santa Elena (Costa Rica, Amérique Centrale). Compre Rendue de la Académie de Siences, Paris 300 (II. 15), 759-764.

Díaz, 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.



Foster, S., et. al 2002: Protección de la Calidad del Agua Subterránea; guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Mundi-Prensa Libros, S.A. Washington. 115 p.

Gómez, M., 2005: Oficio URA-CH-2005-122, AyA.

Gómez, M., 2006: Oficio URA-CH-2006-12. AyA.

Hirata, R., Ribeiro, C. & Albuquerque, G.; 1997: Mapeamiento da vulnerabilidade de e risco de poluição das águas subterrâneas no estado de São Paulo. Volume 1.

Instituto Geográfico Nacional: Hoja Garza (1983). San José, Costa Rica. Escala 1:50000. Color.

Küijpers, E.P., 1979: La geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica. – Informe Semestral, Instituto Geográfico Nacional, 1979(2): 15-75.

Morera, S. & Matamoros, G., 2002: Evaluación del potencial y demanda hídrica subterránea en los acuíferos costeros de Sámara, Guanacaste, Costa Rica. SENARA [Informe Técnico]. 29 p.

Quintanilla, E., & Vargas, C., 2006: Informe de Práctica Geológica. Zona de Garza y Nosara. SENARA – Escuela Centroamericana de Geología, UCR.

Ramos, V., 2002: Zona de Protección del Pozo Sámara. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. [Informe Técnico]. 6 p.

Rodríguez, H., 1994: Normas para el cálculo de tiempos de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de aguas subterráneas. AyA. División de Estudios y Proyectos. Informe Interno. San José.

Rodríguez, H., 2003: Propuesta de una zona de protección a la contaminación del pozo del Acueducto de Sámara. HIDROESTRATO S.A. Informe Técnico.

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

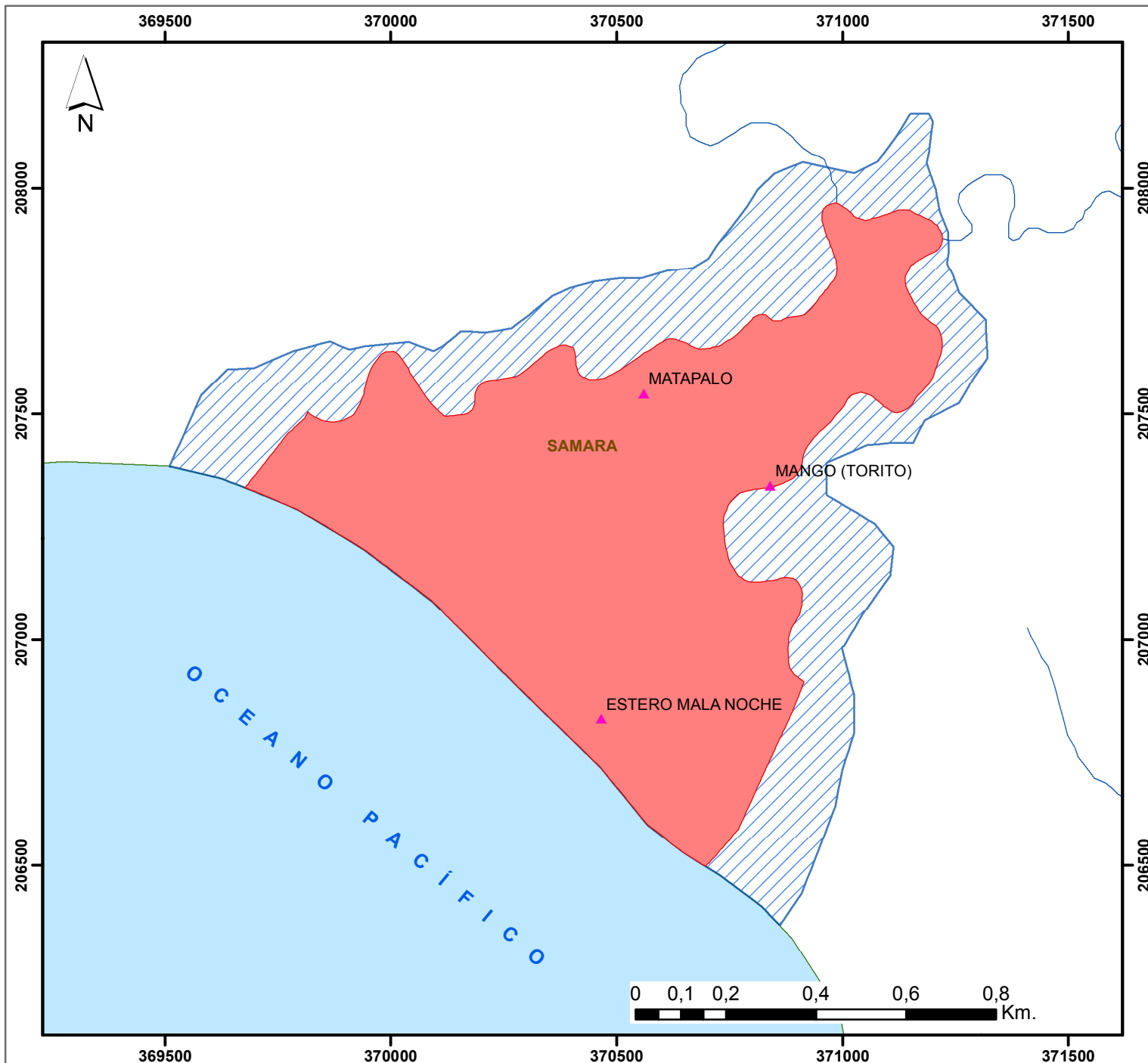
SENARA, 2006: Base de datos de pozos y manantiales (versión digital).

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.



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.

# VULNERABILIDAD ACUÍFERO MALA NOCHE, SAMARA



## Leyenda

- ▲ Poblados
- Vulnerabilidad Extrema
- ▨ Zona de Protección por recarga
- Límite distrital

Dirección de Investigación y  
Gestión Hídrica

Vulnerabilidad a la Contaminación  
del Acuífero Mala Noche, Nicoya,  
Guanacaste, 2007

Dibujó: Katherine Briones

Fuente: SENARA 2007,  
Atlas Tecnológico de Costa Rica, 2014

