

APÉNDICE C

GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA

APÉNDICE C

GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA

CONTENIDO

	<u>Páginas</u>
1. INTRODUCCIÓN	C - 1
1.1 OBJETIVOS	C - 1
1.2 UBICACION	C - 1
1.3 METODOLOGIA.....	C - 1
2. GEOMORFOLOGÍA.....	C - 2
2.1 MESETA DE IGNIMBRITAS.....	C - 2
2.2 DEPRESIÓN DEL RÍO TEMPISQUE.....	C - 2
2.3 PENINSULA DE NICOYA	C - 3
3. GEOLOGÍA.....	C - 3
3.1 GENERALIDADES	C - 3
3.2 COMPLEJO DE NICOYA.....	C - 3
3.3 FORMACIÓN BAGACES	C - 3
3.4 FORMACIÓN LIBERIA.....	C - 4
3.5 DEPÓSITOS ALUVIALES CUATERNARIOS.....	C - 4
4. HIDROGEOLOGIA	C - 5
4.1 FORMACIÓN NO ACUIFERA	C - 5
4.1.1 Complejo de Nicoya.....	C - 5
4.2 FORMACIONES ACUIFERAS.....	C - 6
4.2.1 Formación Bagaces	C - 6
4.2.2 Sedimentos Aluvionales.....	C - 7
4.3 ACUIFERO ALUVIAL DE LA MARGEN DERECHA DEL RÍO TEMPISQUE	C - 7
4.3.1 Estratigrafía y Litología	C - 8
4.3.2 Espesor del Acuífero y Configuración de la Base.....	C - 8
4.3.3 Niveles de Aguas Subterráneas.....	C - 9
4.4 ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DISPONIBLES.....	C - 10
4.4.1 Balance Hídrico y Área de Desarrollo de Agua Subterránea	C - 10
4.4.2 Resultados de Balances Hídricos	C - 13
4.5 ALTERNATIVAS PARA LA UBICACIÓN DE POZOS	C - 13
5. GEOLOGÍA EN LA ZONA DE RECURSOS HÍDRICOS.....	C - 15
5.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIO	C - 15
5.2 CONDICION GEOLOGICA Y EVALUACION PRELIMINAR	C - 15
5.2.1 Presa La Cueva	C - 15
5.2.2 Presa Río Piedras	C - 18
5.2.3 Presas Brasilito y Saldinal.....	C - 20
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	C - 21

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa Geomorfológico
Figura 2	Mapa Hidrogeológico
Figura 3	Mapa de Ubicación de Perfiles Geológicos
Figura 4	Perfiles Geológicos
Figura 5	Mapa de Isocurvas de la Base del Acuífero Aluvial
Figura 6	Mapa de Isoespesores del Acuífero Aluvial
Figura 7	Mapa de Zonificación Hidrogeológica Acuífero
Figura 8	Mapa de Isofreáticas de Mayo – Junio, 1984
Figura 9	Mapa de Isofreáticas de Octubre, 1984

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto "Desarrollo Rural de la Cuenca Media del Río Tempisque " representa una alternativa para solucionar los problemas existentes en el área localizada en la cuenca media del río Tempisque. Está siendo desarrollado por el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) , así como por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), a solicitud del Gobierno de Costa Rica en su preocupación de estudiar la posibilidad de elaborar un nuevo plan de desarrollo para aproximadamente 35,000 hectáreas de la misma cuenca.

El presente estudio contempla principalmente aspectos hidrogeológicos y de ingeniería de presas que serán imprescindibles para solucionar los problemas que se mencionarán en los objetivos.

1.1 OBJETIVOS

Los objetivos básicos del proyecto son:

- a. Establecimiento de un sistema agrícola bajo riego considerando los diversos recursos hídricos como lo son los ríos existentes en el área y sectores cercanos, este estudio pretende evaluar el potencial hídrico subterráneo de los acuíferos existentes en el área, sobre todo el acuífero localizado en la margen derecha del río Tempisque, el cual tiene un gran potencial para su utilización en sistemas de riego, no obstante, se analiza el recurso dentro del marco de sostenibilidad del mismo.
- b. Implantar un sistema de control de inundaciones, ya sea por embalsamiento o por diques, a éste respecto en éste estudio se analiza la influencia del flujo subterráneo sobre los sitios de presas o diques a construir.
- c. Fomentar el desarrollo agrícola sostenible de los pequeños y medianos agricultores, tomando las debidas consideraciones sobre el medio ambiente, incluyendo los Parques Nacionales ubicados aguas arriba y aguas abajo del río Tempisque.

1.2 UBICACION

El área de estudio comprende aproximadamente 35,000 hectáreas que se incluyen dentro de las Municipalidades de Liberia, Santa Cruz y Carrillo, de la Provincia de Guanacaste, forma parte a su vez del valle del río Tempisque.

1.3 METODOLOGIA

- a. Recopilación bibliográfica de la información existente.
- b. Ordenamiento de los datos e información.
- c. Estudio de reconocimiento general.

d. Actividades de campo:

- Visita a los sitios de presa propuestos para análisis hidrogeológico e ingenieril.
- Localización de pozos en el campo, efectuando mediciones preliminares de niveles estáticos y de caudales para estimar la extracción actual.

e. Preparación de informe

2. GEOMORFOLOGIA

Los principales procesos que han modelado las unidades geomorfológicas del área en estudio (denominado el Área en adelante) son la Geodinámica interna y externa. En el Pacífico Norte de Costa Rica se encuentran distribuidas las rocas más antiguas y variadas del país ya que se encuentran representadas litologías sedimentarias, volcánicas, intrusivas y metamórficas de diferentes edades geológicas, comprendiendo rocas del Cretácico. A continuación se describen las principales unidades geomorfológicas en el Área (Figura 1 Mapa Geomorfológico).

2.1 Meseta de Ignimbritas

Meseta de ignimbrita se localiza al noreste y este del Área, desde La Cruz hasta la ciudad de Cañas, y pertenecen a la Formación Bagaces compuesta por principales depósitos ignimbríticos conocidos como "toba gris". Presenta una serie de lineamientos o fallas probables de tipos normal e inverso. Al pie de los cañones se han originado una serie de depósitos coluvio-aluviales. La meseta debe haber formada por depósitos del Pleistoceno y Cuaternario Superior.

2.2 Depresión del Río Tempisque

Depresión del río Tempisque es la forma geomórfica predominante en el Área localizada entre la meseta de ignimbritas y la Península de Nicoya que corresponde a una depresión tectónica limitada por fallas regionales de sentido NNW-SSE que se localizan en sus márgenes, una de ellas da origen al escarpa ignimbrítica al norte y al sur a las primeras estribaciones de la Península de Nicoya. El río Tempisque constituye el principal sistema fluvial, siendo el colector principal, diferenciándose claramente sus cursos superior e inferior; el primero llega hasta el sector de Bolsón con cauce meandro, el cual se caracteriza por una serie de cañones profundos y valles en V. Se encuentran depósitos coluvio - aluviales, escarpas rocosas y taludes de erosión y terrazas de reptación. El gradiente superficial de planicies varía entre 1/600 – 1/800 con su anchura máxima de 25 kms.

El cauce inferior se caracteriza por una disminución de la energía hídrica, lo que ha originado meandros de mayor extensión, se da también una disminución de las terrazas de reptación. Este tramo está marcado por lagos y lagunas con sus respectivos depósitos lacustres. El contacto suroeste con las serranías de la Península de Nicoya, está formado por depósitos aluviales que forman glaciares de acumulación de grandes dimensiones.

2.3 Península de Nicoya

Península de Nicoya se localiza al límite poniente del Área formando topografía irregular por cerros con una altura máxima de 529 m sobre el nivel del mar. Se encuentra avanzado el proceso de erosión topográfica. El sistema hidrográfico forma una red fluvial reticularmente.

3. GEOLOGIA

3.1 GENERALIDADES

La secuencia estratigráfica del Área comienza con el Complejo de Nicoya como basamento, sobre éste complejo, a manera de ventanas abiertas en los sedimentos Cuaternarios volcano-sedimentarios y aluviales, emergen afloramientos aislados de estratos Terciarios. El mayor porcentaje del Área está cubierta por sedimentos cuaternarios. El intenso tectonismo y la presencia de discordancias entre todas las unidades estratigráficas ha ocasionado que sea muy difícil localizar una secuencia estratigráfica completa, por ello los sedimentos volcánicos y aluviales pueden sobreyacer concordante o discordantemente sobre las unidades estratigráficas inferiores (Figura 2, Mapa Hidrogeológico)

3.2 Complejo de Nicoya (Kcn)

Las rocas Cretácicas más antiguas de Costa Rica están representadas por el Complejo de Nicoya que se encuentran distribuido principalmente en la península de Nicoya, siendo las rocas del basamento del Área. Está constituido por rocas de origen ígneo y sedimentario, siendo los sedimentos grauvacas macizas, fanitas, lutitas afaníticas, calizas silíceas afaníticas y conglomerados. Las rocas ígneas son coladas de basalto (lavas en almohadilla), aglomerados de basaltos e intrusiones de diabasa, gabro y diorita que conforman la divisoria y parte oeste – suroeste de la cuenca del río Tempisque.

Los basaltos son las rocas más abundantes. Son elipsoidales, de origen submarino; presentan metamorfismo incipiente tal como cloritización a lo largo de los planos de cizalle y al meteorizarse adquieren un aspecto arenoso.

3.3 Formación Bagaces (Qb)

Formación Bagaces y la Formación Liberia que le sobreyace afloran alrededores y interiores del Área, conforman todo el piedemonte y la meseta entre el escarpe sobre el valle, la cordillera y los límites noroccidental y suroriental del Área. A la Formación Bagaces se le asigna una edad de Pleistoceno Inferior. En forma preliminar, la formación Bagaces ha sido dividida en tres miembros:

(1) Miembro Inferior (lacustre – fluvio lacustre)

Están compuesto principalmente por sedimentos lacustres y fluviolacustre que consisten en arenas, limos y arcillas cenicientas, alternando con lapilli y conteniendo algunos horizontes de gravas y unos pocos fósiles de tipo litoral.

(2) Miembro Intermedio (ignimbritas, lavas y tobas aglutinadas)

Tobas columnares e ignimbritas densas forman la base de este miembro. Sobre las ignimbritas yacen tobas arenosa y un manto de lava basalto olivínico, sobre las cual se presentan tobas blandas. Alternando en forma esporádica se presentan lechos de sedimentos fluviolacustres.

(3) Miembro Superior (toba aglutinada, toba soldada, material heterogéneo).

La parte superior de la Formación Bagaces está compuesta por tobas de distinta textura que se presentan entre dos horizontes de suelos fósiles, de los cuales el superior es el mejor desarrollado. Las tobas están cementadas por cenizas, simplemente compactadas otras aglutinadas. El suelo fósil al tope de la Formación Bagaces es un horizonte muy definido, de varios metros de espesor y constituye el contacto entre ésta formación y la Liberia.

3.4 Formación Liberia(Ql)

Se encuentra alojado al noreste fuera del Área, no obstante se cita porque estratigráficamente sobreyace a la Formación Bagaces. Aflora en forma de abanico que se extiende por 25-30 km desde la base del volcán Rincón de la Vieja hasta cerca de la escarpa. En la base de la Formación se encuentra un horizonte fluvio - lacustre que junto con el suelo fósil del techo de la Formación Bagaces constituye el contacto entre ambas. El resto de la Formación consiste en una sucesión de tobas de aspecto granular, en una matriz arcillosa de cenizas, frecuentemente las tobas incluyen lechos de gravas y arenas con arcillas blancas que representan cauces y rellenos fluviales.. Su espesor mayor es de aproximadamente 100 m.

3.5 DEPOSITOS ALUVIALES CUATERNARIOS (Q-al)

En el Área hay varios depósitos aluviales recientes en forma de valles angostos, terrazas y rellenos en los cauces, sin embargo los depósitos son de pequeña extensión y de reducido espesor. El único depósito aluvial de importancia regional y que representa una unidad bien definida, cubre el valle del río Tempisque, inclusive sus principales afluentes tales como el Cañas por el oeste y el río Bebedero por el este, que representan una tercera parte de la cuenca del río Tempisque. Los aluviones del Tempisque tienen características sobresalientes; el contenido de lechos de grava es errático, y el tamaño de éstas gravas generalmente no supera las finas hasta medias, la tendencia granulométrica general es la de una mezcla de limos, arenas y gravas, con alguna predominancia de uno u otro de estos

elementos sobre los demás, los clastos gruesos, gravas y arenas son subangulares, lo que demuestra una escasa reclasificación de materiales.

Las fluctuaciones del nivel del mar y los eventuales taponamientos de drenaje favorecieron la deposición de repetidos horizontes lagunares y fluvio-lacustres; ostracodos y moluscos recientes fueron encontrados en unos pocos pozos del valle medio; por otra parte, los sedimentos fluvio-lacustres han sido hallados a profundidades que oscilan entre los 50 y 70 metros bajo el nivel del mar, los fluvio-lacustres de la Formación Bagaces y del Mioceno están a una profundidad de más de 58 metros del actual nivel marino, por lo cual se concluye que la tendencia general ha sido hacia un progresivo hundimiento del valle.

4. HIDROGEOLOGIA

El Área presenta una serie de acuíferos (Figura 2, Mapa Hidrogeológico) que se han originado en rocas volcánicas de las Formaciones Bagaces y Liberia y en los aluviones.

4.1 FORMACIONES NO ACUIFERAS

4.1.1 Complejo de Nicoya

El Complejo de Nicoya está constituido por rocas de origen ígneo y sedimentario, siendo las rocas ígneas son coladas de basaltos, aglomerados de basaltos e intrusiones de diabasa, gabro y diorita, y los sedimentarios grauvacas macizas, fñanitas, lutitas afaníticas, calizas silíceas afaníticas y conglomerados.

Los basaltos son las rocas más abundantes. Son elipsoidales, de origen submarino; presentan metamorfismo incipiente tal como cloritización a lo largo de los planos de cizalle y al meteorizarse adquieren un aspecto arenoso. Estas rocas ígneas carecen de porosidad primaria, la circulación y almacenamiento de agua sucede en zonas fracturadas y meteorizadas. Los pozos que captan de este complejo se caracterizan por un caudal medio a bajo.

Este complejo se ha subdividido en dos unidades;

Unidad Matapalo: Constituida por basaltos toleíticos, radiolaritas, diabasas ofiolíticas y un cuerpo de sulfuros masivos en la base.

Unidad Esperanza: Compuesta principalmente por basaltos toleíticos y diabasa ofiolíticas. También se encuentran rocas gabroicas, especialmente en la base, "stocks" de rocas graníticas e intercalaciones de magnetita y limonita locales.

4.2 FORMACIONES ACUIFERAS

4.2.1 Formación Bagaces

No se considera en éste estudio la Formación Liberia como acuífero, aparte de que no aflora ni descarga en el Área, la toba blanca superior produce caudales muy bajos, la unidad inferior de arena arcillosa (fluvio-lacustre) actúa como acuicierre y no tiene importancia por su pequeño espesor y su limitada exposición. A continuación se describen los principales acuíferos de la Formación Bagaces:

Formación Bagaces está formado principalmente por tobas dacíticas tipo ignimbrítico y por sedimentos lacustres asociados. Esta formación fue dividida en tres unidades por el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo de las Aguas Subterráneas en Costa Rica de la siguiente manera;

Unidad Superior, compuesta por tobas aglutinadas, tobas soldadas y material heterogéneo de colores rosado, gris y café claro con fragmentos líticos bien cementados por cenizas, escasa permeabilidad, su espesor promedio es de 30 metros, y sus caudales de hasta 3.78 lt/seg.

Unidad Intermedia, formada por ignimbritas, lavas y tobas aglutinadas de color café oscuro, y negra vidriosa. Las tobas columnares e ignimbritas densas forman la base de esta unidad. Sobre las ignimbritas yacen tobas arenosas y un manto de lava basáltica olivínica, vesicular porosa, buena permeabilidad, sobre la cual se presentan tobas suaves. Alternando en forma esporádica se presentan lechos de sedimentos fluvio-lacustres. Esta unidad tiene un espesor promedio de 200 m, los pozos que explotan agua subterránea de esta secuencia estratigráfica pueden producir caudales de hasta 189 lt/seg.

Unidad Inferior, consta de origen lacustre y fluvio-lacustre. Los sedimentos comprenden arena, limo, arcilla, limo arcilloso, grava de moderada a baja permeabilidad, cenicientas alternando con lapilli y algunos horizontes de grava y unos pocos fósiles de tipo litoral. Los horizontes de grava podrían rendir los mejores caudales.

Dependiendo de la ubicación, los niveles de este acuífero se encuentran entre los 15 y 60 m.s.n.m. En el área de Liberia, a partir de algunas pruebas de bombeo, capacidades específicas, valores medios de transmisividad (T) y conductividad hidráulica (K) para el acuífero de la Formación Bagaces, así como la porosidad (P) y espesor del acuífero (B), resultando los siguientes valores :

$$T= 170.86 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$K= 5 \text{ m/día}$$

$$P= 0.4 (40\%)$$

$$B= 100 \text{ m}$$

En el área de Cañas el análisis de las pruebas de bombeo del acueducto, Losilla(1982) calculó los siguientes parámetros:

$T = 150-160 \text{ m}^2/\text{día}$

$K = 2 \text{ m/día}$

S (coeficiente de almacenamiento) = 0.06-0.15

La dirección general de flujo regional en el acuífero Bagaces es de NE a SO, para descargarse al acuífero aluvional en las subcuencas de los ríos Tempisquito, Ahogados, Colorado, Liberia, Quebrada Arena, El Salto, Piedras, Paso Ancho, San Jerónimo, Tenorio y Cañas, siendo la principal descarga hacia el río Tempisque. La recarga de este acuífero se da por infiltración de lluvia en toda la meseta de Santa Rosa, en las zonas donde aflora la Formación Bagaces es por infiltración directa, donde está expuesta la Formación Liberia es por percolación vertical, y en su frontera NE, por flujo lateral de aguas recargadas a través de las formaciones volcánicas del Grupo Aguacate y del volcánico reciente que conforma los edificios volcánicos de la Cordillera.

4.2.2 Sedimentos Aluvionales

Los sedimentos aluvionales lo constituyen un importante componente en el valle del río Tempisque desde punto de vista hidrogeológico.

Los aluviones rellenan los valles de las cuencas hidrográficas y se encuentran constituidos por gravas, arenas, limos, arcillas y sedimentos tobáceos con intercalaciones de cenizas de aspecto arenoso, sedimentos lacustres, ignimbritas, tobas conglomerádicas a cineréticas depositadas en el agua. La mayoría de las partículas provienen de fuentes ignimbríticas y basálticas de las Formaciones Bagaces y Complejo de Nicoya, respectivamente. Este depósito aluvial se ha depositado en el Cuaternario. Los acuíferos potenciales del Área se encuentran distribuidos en el depósito aluvional.

Los cambios estratigráficos son frecuentes, tanto verticales como laterales debido a las avenidas ocurridas, pero aunque existe poca continuidad de los estratos recargadores por percolación de aguas subterráneas, se han identificado por medio de pozos recientes que existen tres acuíferos, uno somero, otro intermedio y uno profundo, con comunicación hidráulica, reflejada en los niveles de pozos profundos que los captan.

4.3 ACUÍFERO ALUVIAL DE LA MARGEN DERECHA DEL RÍO TEMPISQUE

Para la elaboración de este capítulo se han tomado los perfiles y mapas elaborados en los Estudios: "Estudio Hidrogeológico con fines de Riego en la Margen Derecha del río Tempisque (Elizondo, J. 1982)" y "Aguas Subterráneas en la Margen Derecha del río Tempisque, Objetivo N° 6 (Bel-Tahal, 1984)", los cuales fueron actualizados utilizando la información del Archivo de Pozos del SENARA, reportes adicionales recolectados y conocimientos hidrogeológicos obtenidos de la investigación en campo.

Se desconoce la situación hidrogeológica de la margen izquierda del mismo, no obstante, debido al contenido predominante de materiales impermeables y semipermeables tales como arcillas, limos arcillosos. Además la permeabilidad y transmisividad de pozos

existentes se han reducido drásticamente, de tal manera que no se pueden esperar grandes producciones como en la margen derecha del río Tempisque.

A continuación se describen los principales aspectos hidrogeológicos de la margen derecha del río Tempisque:

4.3.1 Estratigrafía y Litología

Depósitos aluviales (Q-al) y la Formación Bagaces (Qb) constituyen los acuíferos mas importantes del área de Estudio. Ambos se encuentran en contacto vertical y lateral entre si, dándose percolación lateral y vertical, además están limitados por las rocas del Complejo de Nicoya, el cual constituye un verdadero acuífierre lateral y de base.

La zona aluvial que es la de mayor interés hidrogeológico. Los depósitos aluviales sobreyacen la Formación Bagaces y constituyen el componente de mayor extensión, tanto horizontal como vertical, dentro del Area. En los perfiles hidrogeológicos A-A', B-B', C-C', D-D' (Figuras 3 y 4) se puede observar que existen por lo menos 3 unidades con características acuíferas (constituidas por arenas y gravas principalmente) y los aluviones aumentan progresivamente su potencia hacia la margen derecha del río Tempisque, mostrando sumamente heterogéneo dándose variaciones tanto laterales como verticales en los espesores y interdigitaciones de las distintas capas de materiales.

Sin embargo, se hizo una diferenciación en unidades de distintas permeabilidad aparente de acuerdo a las características hidrogeológicas de los componentes litológicos. Se considera que los acuíferos pueden estar interconectadas hidráulicamente.

En el sector norte de la localidad de Filadelfia los materiales del depósito aluvial son más bien arenosos finos, por otro lado en el sector sur estos materiales son mas arcilloso o limos, lo que refleja la gradiente topográfica, distribución de pantanos y forma de cauce de ríos, etc.

La cobertura superficial del terreno en la parte central de la cuenca del río Tempisque presenta una composición variable, tales como arcillas impermeables, arcillas arenosas semipermeables y arenas permeables. Cuando la base de esta cubierta arcillosa impermeable baja a una cota inferior al nivel del agua, el acuífero es confinado, por el contrario cuando la cubierta es más permeable o arenosa, o cuando el nivel del agua se encuentra más bajo que la arcilla, el acuífero es freático. Los estratos de arcilla intercalados entre las capas de arena en las partes norte y sur crean condiciones locales de confinamiento o semiconfinamiento, que se traducen en surgencias artesianas en los pozos que penetran en las capas de arena del subsuelo.

4.3.2 Espesor del Acuífero y Configuración de la Base

Con base en las secciones hidrogeológicas se ha preparado un mapa de la base y del acuífero (Figuras 5 y 6). El mapa de la base del acuífero muestra que el Complejo de Nicoya tiende a sumirse a mayores profundidades de oeste a este, en dirección al río

Tempisque, donde se halla a cotas de aproximadamente 50 metros bajo el nivel del mar, o algo más altas. Hacia el oeste, la base del acuífero asciende hasta el nivel del mar o a unos 10 m.s.n.m.

Respecto a los espesores, el mapa muestra rasgos paralelos, es decir, una tendencia general al aumento de espesor de oeste a este. Cerca del río Tempisque, los espesores pueden alcanzar algo más de 50 m. Hacia el norte se aprecia una tendencia al aumento de espesor, hasta alrededor de 75 m. Cerca del pueblo de Sardinal se aprecia un aumento local del espesor. Hacia el oeste, el espesor se reduce a uno 25 m aproximadamente.

4.3.3 Niveles de Agua Subterránea

En el presente estudio se han coleccionado varios registros de pozos perforados y excavados y posteriormente se ha confeccionado el inventario de los pozos existentes en el Cuadro 1. Simultáneamente se reunió información sobre niveles del agua subterránea obtenidos de pozos y excavaciones someras en el Área.

Las isofreáticas tienen una orientación general del NNE a la altura de Guardia hacia el SSE cerca de la localidad de Filadelfia que sigue groseramente la del río Tempisque en su curso. Las líneas de flujo tienen una orientación NNO por Guardia, y van describiendo un arco hasta tomar dirección SSE a la altura de Filadelfia, las curvas indican descarga al río Tempisque o sea, probablemente existe conexión hidráulica entre el acuífero y el río Tempisque.

Cerca del límite oeste de la cuenca las curvas siguen un rumbo paralelo a ese límite, alcanzando elevaciones de alrededor de 35 m.s.n.m. Junto al cauce del río, las curvas describen arcos orientados al sur (conectándose con las curvas de la otra margen), alcanzando una elevación de 30 m.s.n.m a 3 km. Al norte de Guardia y de unos 10 m.s.n.m junto a Filadelfia. El gradiente del agua subterránea aumenta de oeste a este, pasando de 0.2-0.4% al oeste a 0.5-0.6% en el centro y aumentando hasta 0.7-0.8% junto al río Tempisque.

Fluctuaciones estacionales de los niveles se han detectado en los hidrogramas de varios pozos, por ejemplo Laticonsult comenta que las fluctuaciones estacionales concuerdan con la distribución del año en períodos seco y lluvioso. Los niveles alcanzan un máximo a fines del período lluvioso, en octubre, declinando a partir de entonces hasta alcanzar su valor mínimo al término de la estación seca en abril - mayo.

A largo plazo no se observa variación apreciable en el almacenamiento de agua subterránea. Una comparación de los mapas de niveles subterráneos de 1974 y 1980 indica que no se ha registrado un cambio significativo entre dos mapas. Esto indicaría que no existe variación en el aporte nuevo y almacenamiento. Tales variaciones, sin embargo, pueden producirse en ciertos períodos a causa de fluctuación de la precipitación.

En estos mapas se observa que la dirección de flujo predominante del agua subterránea es de oeste a este en dirección a la margen derecha del río Tempisque. De acuerdo con los

mapas existentes se observa el mismo patrón general de dirección del flujo de agua subterránea.

4.4 ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DISPONIBLES

Debido a la importancia del acuífero de margen derecha del Río Tempisque, no se han efectuado estudios a detalle, por ello se desconoce la situación hidrogeológica de la margen izquierda del mismo, no obstante, debido al contenido de arcillas, limos arcillosos, y demás materiales poco permeables, la permeabilidad y transmisividad se ha reducido drásticamente, de tal manera que no se pueden esperar la producción significativa como en la margen derecha del río Tempisque, no obstante lo anterior, en estudios posteriores se debe estudiar la influencia del acuífero Bagaces sobre la margen izquierda del Río Tempisque.

4.4.1 Balance Hídrico y Área de Desarrollo de Agua Subterránea

El objetivo fundamental es evaluar el potencial hídrico del acuífero mencionado con el fin de darle un manejo sostenible de tal manera que el recurso sea utilizado para riego y otras actividades como abastecimiento humano e industrial.

(1) Proceso del Estudio

El proceso consistió principalmente en :

- a. Recopilación de los datos climatológicos de interés para efectuar el balance hídrico de suelos y hacer el cálculo de la recarga acuífera subterránea. Cabe destacar que el informe tomado de base para la obtención de los principales datos utilizados en el cálculo del balance, son del "Estudio Hidrogeológico con Fines de Riego en la Margen Derecha del Río Tempisque" (Elizondo J, 1982), estudio efectuado con el mismo fin y que constituye una muy buena base de análisis.
- b. Los datos anteriores y los nuevos recopilados se analizaron por medio de un programa actualizado éste programa utiliza para su corrida la precipitación total en mm, la evapotranspiración potencial, dando como resultado la precipitación que infiltra.
- c. La precipitación que infiltra y la evapotranspiración (mm) se corren en el programa BHS "Balance de Humedad de Suelos " (Rodríguez, H, 1990)
- d. El balance se efectuó seccionado, es decir, se calculó la recarga al norte de la línea supuesta entre Filadelfia y la localidad de Ojochal, posteriormente al sur de la misma. Lo anterior debido a varias razones entre ellas, existe una marcada diferencia en cuanto a extracción, y lo que es más importante, la recarga, ya que el área al sur de la línea muestra horizontes más arcillosos que causa la disminución de la recarga.

- e. Recopilación detallada de la información existente en el Archivo de Pozos de SENARA . Con la lista detallada se elaboró la red de monitores de extracción, se visitó cada uno de los pozos, solicitando la información de extracción (descarga por pozos) y compararla con los datos de recarga obteniendo la resultante de caudal.
- f. Para la ubicación de nuevas áreas a explotar, se recolectaron los mapas de zonificación de estudios efectuados con anterioridad principalmente : “Proyecto de Riego Margen Derecha del Río Tempisque. Zonificación Hidrogeológica por Métodos Geofísicos. Zona 2” Protti, R. (1983) y Estudio Hidrogeológico con fines de Riego en la Margen Derecha del Río Tempisque.

(2) Analisis de los Recursos de los Recursos Hídricos del Acuifero

a. Climatología

En el Área se encuentran dos estaciones pluviométricas operadas por el SENARA :

- Estación Monte Galán, ubicada entre las coordenadas Lambert 290.600 norte y 364.000 este de la Hoja Carrillo Norte, a una elevación de 60 m.s.n.m.
- Estación Hacienda Tempisque, en las coordenadas Lambert 275.800 norte y 364.900 este , a una altura de 22 m.s.n.m .

Se utilizó la estación Hacienda Tempisque, que presenta un registro de 48 años, con un promedio de precipitación anual de 1756.3 mm, analizando la precipitación total de cada mes del año en función del tiempo, se obtuvo que el año que más se aproxima al promedio es 1984, con 1,486 mm, período que no presenta alguna anomalía climática.

b. Evapotranspiration Potencial (ETP)

El valor se calculó de acuerdo a la fórmula de Hargreaves, para estimar la evapotranspiración potencial mensual:

$$ETP = 0.075 \times RSI \times TMF$$

donde:

ETP= Evapotranspiración potencial en mm.

RSI= Radiación solar incidente expresada en el equivalente de mm. de agua evaporada.

TMF= temperatura media en °F.

En el Cuadro se presentan los valores de evapotranspiración potencial (ETP), para el año promedio en el Área.

Cuadro Evapotranspiración Potencial Mensual (ETP) año 1989

Mes	Temperatura Promedio(C°)	Humedad Relativa(%)	Horas de Luz Solar	ETP (mm)
Enero	27.1	68	8.3	155.17
Febrero	27.9	65	8.8	158.13
Marzo	28.9	65	8.8	192.77
Abril	29.6	70	7.9	186.95
Mayo	28.2	81	6.1	167.27
Junio	27.5	85	4.7	146.41
Julio	27.5	81	5.2	160.5
Agosto	27.3	82	5.3	159.71
Septiembre	27	82	4.7	151.55
Octubre	26.9	82	4.9	150.12
Noviembre	26.7	82	6.1	132.82
Diciembre	26.8	82	6.8	133.91

c. Pruebas de infiltración

Muy importantes para la obtención de los datos para el cálculo del balance hídrico de suelos y la determinación de la recarga que se cita posteriormente, por ello, (Elizondo,J, 1982 , ver Informe Técnico N° 152, Apéndice E), menciona que se realizaron 40 pruebas de infiltración en diferentes lugares del Área, de las cuales se escogieron las más representativas, ya que algunas estaban mal ubicadas o por su corta duración no eran representativas.

De las pruebas de infiltración se obtienen los coeficientes de infiltración, y la capacidad de infiltración (Ci), donde se utilizó como promedio 1.53 mm/10 min (9.18 mm/h), debido a que al sur de Filadelfia se localizan suelos más arcillosos , el coeficiente varía de 0.278 mm/10 min. De acuerdo con la tabla de Amisial / Jegal y según las condiciones del Área, se determinó que la capacidad de campo es de 14% por peso seco, el punto de marchitez de 6% por peso seco y una densidad en peso seco de 1 gr/cm³ .

(4) Determinación de la Recarga

La recarga es la cantidad de agua que a partir de la precipitación llega al acuífero, y fue evaluada de la infiltración efectiva de la precipitación. Para una mayor efectividad en el manejo de los datos del proyecto, se subdividió el área total en dos sub-áreas denominadas Area Norte de Filadelfia y Area sur de Filadelfia, cabe destacar que también se analizó el área total de estudio.

Para el cálculo de la recarga en las áreas de estudio, se efectuó un balance de humedad de suelos. Cabe destacar que los datos utilizados, la metodología es la misma citada en el

estudio de Elizondo J. (1982) solamente varía el programa de computación para el cálculo de la recarga, utilizándose en éste estudio el programa BHS (Rodríguez, H, 1990. BHS (Balance de Humedad de Suelos), se muestran los resultados de una de las áreas a manera de ejemplo.

Una parte del riego existente se infiltra al acuífero, constituyendo un ingreso adicional a la recarga natural. Con base en el tipo de cobertura del terreno y su composición granulométrica, así como en las características del acuífero, se estima que la proporción de agua de riego que retorna al acuífero varía entre el 20 y el 40 por ciento. Para los efectos de los cálculos laborales presentados más adelante se ha utilizado una cifra intermedia, de 30 por ciento (SENARA, 1984).

4.4.2 RESULTADOS DE BALANCES HÍDRICOS

El Cuadro muestra que para el área al norte de Filadelfia la recarga es de $72.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, para el sur de Filadelfia es de $43.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. La recarga total es de $116.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, para un área total de 287.28 km^2 (Perez, J.W. , Ramos, V. , 2001).

En los Cuadros ¿??? se muestran los resultados de cada red de monitoreo y se dan los resultados de la encuesta de extracción, para la zona norte de Filadelfia, resultando una descarga por medio de pozos de $36.46 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, para un área de 130 km^2 . En la zona sur de Filadelfia la extracción es de $17.19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, para un área de 157.28 km^2 .

El Cuadro nos muestra los resultados obtenidos, $35.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ y al sur de Filadelfia es de $26.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ para los sectores Norte y Sur de Filadelfia, respectivamente.

Cuadro Resultados de Balances Hídricos

	Sector Norte	Sector Sur	Area Total
Area(km ²)	130	157	287
Recarga(m ³ /año)	72.2×10^6	43.9×10^6	116.1×10^6
Extracción(m ³ /año)	36.5×10^6	17.2×10^6	53.7×10^6
Resultante(m ³ /año)	35.7×10^6	26.7×10^6	62.4×10^6

4.5 POSIBILIDA DE EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El SENAS ha preparado un mapa de zonificación de potencial de acuíferos basándose en el mapa hidrogeológico preliminar según los datos geofísicos, el mapa de iso transmisividades y un mapa de iso producciones potenciales (SENAS, 1982,1983). Para la construcción del mapa de isoproducciones potenciales, se calculó la capacidad específica (que es la relación entre el caudal extraído y el descenso provocado en el nivel del agua a un tiempo dado) de los pozos con prueba de bombeo y se extrapoló para un tiempo de 10 horas qu se considera que es el tiempo que se aprovecharían los pozos diariamente. Se aplicará un coeficiente de almacenamiento de aproximadamente un 18 % de su volumen total.

Para agrupar el potencial de acuíferos se ha considerado los siguientes aspectos:

- La mayoría de pozos no ha seguido un criterio hidrogeológico sino sólo conveniencia del uso en el lugar cercano,
- El rendimiento de pozos se agrupa en zona de mayor o menor producción que concuerda en gran parte con los resultados obtenidos con métodos geofísicos,
- Debido al acuífero no homogéneo existe discontinuidad de rango de producción.

La zonificación de potencial se ha preparado en diferente rango entre los Sectores Norte y Sur. Sin embargo, se puede subdividir en 5 rangos como sigue:

- a. Unidad de muy alto potencial acuífero con caudal probable $Q \geq 100$ l/s
- b. Unidad de alto potencial acuífero con caudal probable $45 < Q < 100$ l/s
- c. Unidad de medio a alto potencial acuífero con caudal probable $20 < Q < 45$ l/s
- d. Unidad de potencial acuífero mediano con caudal probable $1 < Q < 20$ l/s
- e. Impermeable o sumamente baja potencial $Q < 1$ l/s

Al explotar el recurso nuevo de agua subterránea es obviamente conveniente obtener el acuífero con mayor potencial. Pero el potencial de acuífero no está disponible siempre en el lugar faltante de riego.

5. GEOLOGÍA EN LA ZONA DE RECURSOS HÍDRICOS

5.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS

Los estudios de desarrollo de recursos hídricos del sistema hidrográfico del Río Tempisque y sus afluentes mediante la construcción de presa se han comenzado desde los años de 1970 en los tres lugares; La Cueva, Río Piedras y Sardinal/ Brasilito

En el sector de La Cueva localizada aproximadamente 8 km al norte desde el límite del Área de Estudio por curso medio del río Tempisque, SENAS (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas) seleccionó tres sitios alternativos para la construcción de presa en 1974; A, B y C, los cuales tienen problemas geológicos tales como presencia del depósito fluvio-lacustre de espesor mayor y fundación rocosa con fracturas con la alta frecuencia. Posteriormente el ICE (Institute Costarricenses de Electricidad) ha ejecutado diversos estudios ingenieriles desde 1978 hasta '82 en cuatro sitios seleccionados de presa ; Nos. 1, 2, 3 y 4 localizados aguas más abajo de los sitios anteriormente mencionados por el SENAS. Mediante la investigación en campo y estudios ejecutados tales como perforaciones, excavación de calicatas y trincheras, prospección sísmica y de resistividad y mapeo geológico, el ICE llegó a una conclusión de que el sitio de No.4 es relativamente factible desde el punto de vista ingenieril y económico.

SENARA realizó un Estudio de Factibilidad para la construcción de la presa del Río Piedras en 1984, que es un afluente del Río Tempisque, localizado en la cercanía de la localidad de Bagatzi en el cual ha propuesto tres sitios de presa colindados.

La misma entidad realizó un Estudio de Factibilidad en 1985 para fines de riego en la región de Zapandi Norte, que corresponde prácticamente al Sector Norte de Filadelfia del presente Estudio, con dos presas localizadas en los ríos Sardinal y Brasilito, que fluyen hacia el río Tempisque por cercanía de la localidad de Sardinal. Este estudio comprende hidrología, geotecnia y análisis económica, etc.

En este sub-capítulo se comenta el resultado del estudio diagnóstico para comprender las características geológicas de cada sitio de presa propuesto.

5.2 CONDICIÓN GEOLÓGICA Y EVALUACIÓN PRELIMINAR

5.2.1 Presa La Cueva

(1) Generalidad

El sitio de la presa "La Cueva" propuesta se encuentra depositado por depósitos aluviales y Formación Bagaces que forma el basamento. La morfología del sitio es de asimétrica. Ladera izquierda es algo abrupta en comparación con la de derecha. Las terrazas onduladas varían entre 20 y 25m de altura sobre el lecho en la margen derecha. Ladera derecha muestra alrededor de 60 m de altura del cambio brusco de pendiente.

Formación Bagaces de rocas volcánicas y volcanoclásticas comprende las siguientes tres unidades estratificadas:

- Ignimbrita inferior ubicada debajo de la altura entre 5 y 20 m.
- Lava volcánica sobre la ignimbrita inferior con unos 100 m de espesor en ladera izquierda y 20-105 m en ladera derecha.
- Ignimbrita superior ubicada mayor a 105m de altura.

Depósito aluvial ha depositado sobre lava e ignimbrita inferior en el valle del río y terrazas en la margen derecha.

El eje de cortina de la presa La Cueva (No.4), que se ha evaluado como un sitio de mayor prioridad por el ICE, estará ubicado en coordenadas N295500, E367200 en la hoja cartográfica Ahogados de IGN. Topográficamente el valle presenta una forma disectada entre ladera izquierda con 40° de inclinación y ladera derecha con 35° de pendiente y serie de terrazas antiguas. La altura de laderas empinadas alcanzan aproximadamente 70 m desde el nivel de agua fluvial. El cauce actual fluye por la margen izquierda. Se encuentran distribuidos pequeños desprendimientos de la capa de suelo superficial.

(2) Ladera Izquierda

La ladera izquierda muestra una pendiente fuerte hasta 110 m de altura y suave en arriba de 115 m. Rocas volcánicas afloran en la ladera izquierda. Lava, que es andesítica o basáltica en composición, predomina hasta 105 m de altura cuyo espesor es de aproximadamente 100 m. La lava está fuerte a moderadamente fracturada con carácter dura y compacta. Algunas fracturas presentan fresca a deposición por minerales. Observación geológica nos revela poca capa de roca meteorizada en orden de 1 m.

Ignimbrita superior presenta su afloramiento de menor de 10 m de espesor en esta ladera con leve meteorización. Ignimbrita inferior no alcanza hasta 5 m de altura.

Permeabilidad de rocas volcánicas varía dependiendo del grado de fracturamiento. Permeabilidad aparente calculada del ensayos varía entre 10^{-4} y 10^{-5} cm/s.

(3) Curso Fluvial

La sección del curso fluvial corresponde al área de fundaciones de presa está compuesta por lava e ignimbrita debajo de grava, arena y limo. La sección muestra una forma asimétrica. Depósito aluvial alcanza hasta 86 m de espesor como máximo. Se encuentran tres unidades aluviales:

- Material reciente, que consiste en arena, grava no cementados. Espesor máximo puede alcanzar hasta 6 m.

- Depósito aluvial intermedio, que consiste en lentes de arena fina a mediana y arena limosa, arena gruesa y gravas, levemente cementado. Espesor máximo es de 18 m aproximadamente.
- Depósito aluvial antiguo, que consiste en grava de grano grueso, guijarros y pedrejones en matriz limo, arena arcillosa con algunos lentes de arena limosa y limo. Espesor máximo es de aproximadamente 14 m en la sección.

Permeabilidad aparente de este depósito varia de 10^{-4} a 10^{-5} cm/seg. en el depósito aluvial de granulometría fina, y 10^{-2} a 10^{-5} cm/seg. en mismo depósito de grano grueso. Depósito aluvial antiguo presenta la baja densidad y cementación. Forma asimétrica del valle proviene de la distribución de afloramiento rocoso; ignimbrita ubicada debajo del depósito aluvial en la margen derecha mientras lava volcánica en la margen izquierda.

Lava presenta moderadamente meteorizada o fresca y fuertemente fracturada. Permeabilidad aparente de lava varia entre 10^{-3} y 10^{-6} cm/seg. Ignimbrita inferior está levemente meteorizada y fuerte a moderadamente fracturada cuya permeabilidad aparente varia entre 10^{-3} y 10^{-4} cm/seg.

(5) Ladera Derecha

Ladera derecha está caracterizada topográficamente por la presencia de amplia terrazas ubicadas entre 55 y 60 m de altura (de 20 a 25 m sobre nivel del río).

Ignimbrita y lava lo constituyen fundación de la margen derecha. Ignimbrita está separada por lava de 80 a 100 m de espesor. Se encuentran distribuidos depósitos aluviales sobre ignimbrita inferior que no presenta afloramiento en esta margen. Aún que se presenta una capa meteorizada en el superficie, la mayoría de ignimbrita es fresca, moderadamente resistente con fracturas. La permeabilidad aparente varia entre 10^{-4} y 10^{-5} cm/seg. Ignimbrita superior sobrepone encima de lava en 105 m de altura.

Capa de lava se encuentra entre 20 y 105 m de espesor in ladera derecha. Esta lava está fuerte o moderadamente fracturada. En los afloramientos de lava se encuentran diaclasas irregulares, laminares y columnares con la dureza dura y resistente. Permeabilidad aparente varia de 10^{-4} a 10^{-5} cm/seg. Capa meteorizada varia entre menor de 1 m y 6 m de espesor. Depósito aluvial sobrepone encima de ignimbrita inferior y lava. Se ha encontrado el depósito aluvial hasta 86 m del espesor. En general la altitud de contacto entre depósito aluvial y unidad geológica sólida corresponde al nivel de mar. Sin embargo este límite varia de acuerdo con la morfología antigua tal como cauce del río. El estudio reciente nos indica que el Río Tempisque ha subsidiado con respecto al nivel de mar.

Depósito aluvial presenta una variedad de permeabilidad fluctuando entre 10^{-3} y 10^{-6} cm/seg. siendo 10^{-4} a 10^{-5} cm/seg de mayor frecuencia. Depósito coluvial se encuentra a lo largo de piedemontes formado por bloques de lava meteorizada en matriz limo-arcillosa.

(6) Evaluación Preliminar

Desde el punto de vista topográfico y geológico, es posible construir una presa enrocada con menores de 70 m.s.n.m. de cresta.

por la influencia del área de embalse en la Estación Experimental Horizontes U.C.R. y carretera Panamericana. Aun

El estudio geológico está insuficiente para proceder la etapa de diseño detallado tales como perforación y varios ensayos físicos tanto en las perforación como en el laboratorio.

Los principales ítems pendientes del sector de ingeniería geológica son los siguientes:

- Permeabilidad de la lava,
- Comportamiento físico de los estratos ignimbríticos;
- Distribución y comportamiento del depósito fluvio-lacustre;
- Disponibilidad de materiales de núcleo, transición y filtro tanto cuantitativa como cualitativamente.

5.2.2 Presa Río Piedras

(1) Condición Actual

Los ejes de cortina del Río Piedras para tres alternativas se han propuesto en las coordenadas N270300, E397500 en la hoja cartográfica Tempisque de IGN.

Topográficamente el baso del embalse se caracteriza por pendientes suaves y moderadas, coronadas generalmente por roca dura que forma algunas pequeñas escarpas. El valle del cauce es estrecho, de unos 10-15 m de ancho. Las ambas laderas presentan inclinación suave/ondulada y terrazas aluvionales con afloramiento rocoso sólo en el lecho. La altura de estribos altos en ambas márgenes alcanza aproximadamente 45 m desde el lecho. El cauce actual presenta una curva suave con el lecho de aproximadamente 15 m de anchura. Ambas márgenes están cubiertas por densa vegetación y arbustos.

La totalidad del Área de estudio y sus alrededores se encuentran distribuidos por la formación cuaternaria de Bagaces a excepción de los llanos de inundación, que se encuentran cubiertos por sedimentos aluviales.

La secuencia litoestratigráfica de la presa está compuesta por alternancia de tobas, areniscas y basaltos, que podría corresponder a la Formación Bagaces intermedio, que está cubiertos generalmente por una ignimbrita masiva de menor dureza. El fenómeno más sobresaliente es el de los frecuentes cambios laterales y verticales en la unidad de alternaciones, resultante de la sedimentación en pequeños lagos. A lo largo del cauce se encuentra lava basáltica meteorizada. El aluvion tiene una composición variada y forma rellenos en los lugares cóncavos con diferentes profundidades.

Estructuralmente la disposición de los estratos es, en general, horizontal con buzamiento suave con 2-3 grados hacia el sudoeste. También se encuentran localmente inclinaciones de hasta 25 grados. Podría existir un eje sinclinal orientado en dirección E-O. Se han detectado lineamientos en dos direcciones principales; N-S y NE-SO en los alrededores de la cortina propuesta de presa. Las fallas del región de Guanacaste se considera como inactivas.

Las juntas son comunes en las rocas duras tales como basaltos e ignimbritas, donde se presentan parcialmente abiertas, meteorizadas y rellenas con arcilla. El sistema de juntas generalmente se orienta en NO-SE y NE-SO con inclinación vertical a subvertical.

Se encuentran materiales de construcción de la presa de enrocamiento para núcleo y filtro cerca del sitio de la presa excepto material para la transición. Existen también varias fuentes de agregados para concreto en la cercanía.

La calidad mecánica de ignimbritas como materiales para el enrocamiento es relativamente baja debido a una absorción alta y densidad baja. Sin embargo, esta roca satisface los requerimientos usuales para el enrocamiento de acuerdo con las especificaciones de la ASTM. En cuanto al material de la transición como la mezcla de grava y arena bien graduada. Las fuentes fueron localizadas en varios lugares, a distancias que van de 1 a 37 km (río Cañas) del sitio de la presa. El material de núcleo se puede conseguir satisfactoriamente del terrenos pertenecientes a la Hacienda Tamarindo, a una distancia aproximada de 2 km aguas abajo del sitio que está constituida por aluviones de arcillas limo-arenosas, limos arcillo-arenosos. Existen varias fuentes para la explotación de agregados para concreto, no sólo de calidad sino también en cantidad suficiente.

(2) Evaluación Preliminar

A pesar que las condiciones topográfica y geológica son inadecuados en los ciertos aspectos, es posible construir una presa de enrocamiento con menor de 35 m de la altura.

El estudio geológico no se ha completado detalladamente. Los principales ítems pendientes del sector de ingeniería geológica son los siguientes:

- Catografía geotécnica detallada para llevar a cabo el trabajos ingenieles y diseño definitivo,
- Perforaciones sistemáticas a lo largo del eje y vertedero,
- Permeabilidad del basamento,
- Distribución detallada de las rocas sedimentarias;
- Potencia y comportamiento físico detallado de colada de lava basáltica,
- Estudio de material de transición tanto cuantitativa como cualitativa.

5.2.3 Presas Brasilito y Sardinal

(1) Condición Actual

Los ejes de cortina de los Ríos Sardinal (Alternativa No.2) y Brasilito (Alternativa No.4), que se han evaluado como sitios más apropiados por el SENARA, estarían ubicados en la margen derecha del río Tempisque con coordenadas N277300-276300, E354600-355500 en la hoja cartográfica Carrillo Norte de IGN. Topográficamente dos valles de los ríos Sardinal y Brasilito se encuentran en los valles amplios con acumulación de depósitos fluvio-aluvionales separados por el cerro Hormiguero. Ambas márgenes de las cortinas presentan 30-40° de pendiente. Los valles son amplios con aproximadamente 450 m de anchura.

La geología de las cortinas y embalse está compuesta por el Complejo de Nicoya compuesto por la mezcla de rocas ígneas tipo basáltico, rocas sedimentarias, rocas intrusivas y aluvión. En el sitio de cortina se encuentran distribuidos basaltos elipsoidales, meteorizados y capas inter-estratificadas de arena, limo, arcilla. Existen afloramientos de basaltos muy fracturados, meteorizados en las laderas, en muchos lugares incluso su descomposición ha avanzado hasta la constitución del suelo mismo. La meteorización alcanza casi 10 m de profundidad. Las capas sedimentarias aparecen dentro de los basaltos por la margen derecha del río Sardinal, bien estratificadas, y están fuertemente plegadas. Los depósitos fluvio-aluvionales, que rellenan los valles hasta una profundidad mayores de 25 m, están compuestos por limos, arcillas con algo de arena y grava.

Los lineamientos se encuentran extendido por NE-SO y NO – SE. No se han encontrado mayor evidencia de fallas mayores de la escala regional en el campo. La totalidad del área está fuertemente diaclasada con/sin apertura. Los basaltos presentan plegamientos arqueados.

Se encuentran materiales adecuados tales como depósitos coluviales y aluvionales-aluviales para la construcción de la presa, ya sea en el valle o al pie de los cerros circundantes.

(2) Evaluación Preliminar

Los valles de presas propuestas topográficamente presentan perfiles amplios por lo que requieren mayor volumen de material. Las hoyas receptoras de cuencas hidrográficas son de extensión reducida.

Las fundaciones son adecuadas para la construcción de la presa de terraplén propuesta. El recubrimiento puede ser lo bastante denso para resistir la licuefacción. A pesar de que las pérdidas de agua parecen ser relativamente bajas, se requeriría un sistema de drenaje aguas abajo.

Con respecto a las materiales de construcción, principalmente materiales del núcleo y coraza están disponibles utilizando los suelos superficiales, aluvión, basalto meteorizado.

Sin embargo, materiales de filtros y transiciones de buena calidad deberán ser traídos de fuera del sitio.

Considerando la condición del subsuelo, tipos de materiales de construcción y efectos de los terremotos, la estructura de presa puede ser concordante con las características geológicas.

El estudio geológico no se ha completado detalladamente. Los principales ítems pendientes del sector de ingeniería geológica son los siguientes:

- Mapeo geotéctonico detallado del área del vaso y los ejes de la presa,
- Perforación, Calicatas y Trincheras,
- Prospección sísmicas, y
- Ensayo de materiales de construcción.

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis, se tiene que:

- ❖ En el área existen dos acuíferos, uno denominado Acuífero Bagaces ; desarrollado en tocas volcánicas de la formación Bagaces de tipo fisural y confinado. El otro acuífero, el de mayor importancia es el que se localiza en la margen derecha del Río Tempisque, es de tipo aluvial.
- ❖ La zona norte de Filadelfia , abarca un área de 130 km^2 , la recarga acuífera por infiltración de lluvia a través del suelo es de 72.2 millones de metros cúbicos al año, la extracción (descarga por medio de pozos) es de 36.46 millones de metros cúbicos anuales, siéndo la resultante de 36.74 millones de metros cúbicos al año.
- ❖ La zona sur de Filadelfia tiene un área de 157.28 km^2 , la recarga acuífera es de 43.93 millones de metros cúbicos al año, la extracción es de 17.19 millones de metros cúbicos por año, y la resultante de 26.74 millones de metros cubicos anuales.
- ❖ El area total analizada en este estudio es de 287.281 km^2 , la recarga total es de 116.13 millones de metros cúbicos por año. La descarga o extracción por medio de pozos es de 53.65 millones de metros cúbicos por año.
- ❖ Para la ubicación de nuevos pozos, los mapas de Zonificación Hidrogeológica deberán ser complementados con los datos de extracción y así ubicar acertadamente los nuevos pozos.

RECOMENDACIONES

- Se debe tomar en cuenta que el caudal suministrado debe utilizarse de manera sostenible, de acuerdo a su uso, en abastecimiento humano (comunidades y turismo, riego, abrevadero en industrial.
- Al final del año 2002 se deberá efectuar un nuevo balance hídrico para analizar las condiciones de recarga –descarga , ya que en los años anteriores se han dado importantes variaciones climáticas.
- Para el manejo sostenible del acuífero, se debe implantar una red de monitoreo de cantidad y calidad, dicha red deberá comprender pozos que capten los acuíferos somero, intermedio y profundo y deberá mantenerse a largo plazo a fin de garantizar el recurso a futuro.
- De los datos obtenidos de la red mencionada, se recomienda llevar a cabo el estudio de riesgo de contaminación, que contemple la carga contaminante (agroquímicos aplicados, coliformes fecales, nitratos, etc.) y principalmente la vulnerabilidad del acuífero, para con ello elaborar el respectivo Mapa de Vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero de Margen Derecha del Río Tempisque. Lo anterior se debe incluir dentro del Plan de Manejo Ambiental de todo el proyecto.