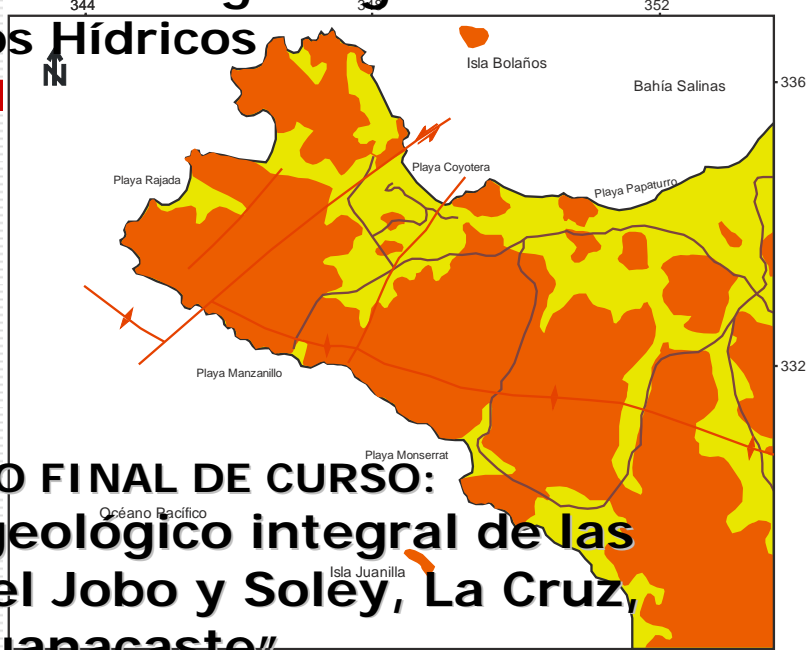


UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA

Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos

**CURSO DE
Manejo de recursos
hídricos**

**PROYECTO FINAL DE CURSO:
"Estudio Hidrogeológico integral de las
comunidades del Jobo y Soley, La Cruz,
Guanacaste"**



Simbología

Unidad depósitos coluvio aluviales

Unidad lutitas y areniscas (Fm. Descartes)

Pliegues
Fallas

ESTUDIANTES

Coordinador: Erick Orozco.

Equipo: Maritta Alvarado, Jorge
Suarez, Celia Monge, Pamela
García, Marta Chaves, Michell
Arias

PROFESORES

MSc. Ingrid Vargas
MSc. Federico Arellano



**SAN PEDRO MONTES DE OCA,
JULIO 2010**



AGRADECIMIENTOS

Este estudio es una colaboración de la Maestría en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos del Posgrado de Geología realizada por medio del curso SP-1173 Manejo de Recursos Hídricos, para las comunidades de Puerto Soley y El Jobo.

Para la realización del trabajo de campo se contó con el apoyo de la Vicerrectoría de Vida Estudiantil a través del Programa de Voluntariado, se agradece a M.Sc. Ligia Delgadillo coordinadora de dicho programa, así como también a M.Sc. Rosemile Ramsbottom, coordinadora de la Aula Móvil del CONARE quienes gestionaron el transporte, alojamiento y alimentación, así como los contactos con las comunidades de Puerto Soley y El Jobo.



ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Objetivos	9
1.2 Antecedentes	9
2. MARCO DEL TRABAJO ELABORADO	10
3. GEOLOGÍA	13
3.1 Geología Regional.....	13
3.1.1 Formación Curú	13
3.1.2 Formación Descartes.....	13
3.1.3 Ignimbritas y tobas ácidas	14
3.2 Geología Local	15
3.2.1 Unidad de areniscas y lutitas (Fm. Descartes).....	15
3.2.2 Unidad de depósitos coluvio aluviales:.....	17
3.3 Evaluación Geofísica.....	17
3.3.1 Marco teórico. ¿Que es Geofísica?, La Geofísica en Costa Rica.	17
3.3.2 Geoeléctrica con la Técnica Schlumberger	18
3.3.3 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs).....	21
3.3.3.1 SEV1	21
3.3.3.2 SEV2	24
4. HIDROLOGÍA.....	27
4.1 Delimitación de cuencas de la zona de estudio	27
4.2 Meteorología	31
4.2.1 Parámetros climáticos generales.....	31
4.2.2 Evapotranspiración potencial de referencia.....	40
4.3 Balance hídrico de suelos	41
4.3.1 Uso de suelo actual	42
4.3.2 Infiltración	42
4.3.3 Análisis de suelos	67
4.3.3.1 Capacidad de campo (CC).....	67
4.3.3.2 Punto de marchitez permanente (PMP).....	67
4.3.4 Evapotranspiración	68
4.3.5 Balance hídrico de suelos.....	72
5. HIDROGEOLOGÍA.....	75



5.1	Hidrogeología del área de estudio	75
5.2	Modelo hidrogeológico conceptual.....	75
5.3	Vulnerabilidad del acuífero.....	83
5.4	Análisis de calidad de aguas.....	87
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
6.3	Conclusiones del apartado de hidrogeología	89
6.4	Geofísica	91
6.5	Intrusión salina	91
6.6	Análisis químico	91
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	92



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla -1.	Resistividades de las rocas y agua.	21
Tabla -2.	SEV1, Resistividades aparentes	22
Tabla -3.	Resistividades y espesores del SEV1.	23
Tabla -4.	SEV2 Resistividades aparentes.	24
Tabla -5.	Resistividades y espesores del SEV2	25
Tabla -6.	Datos de las cuencas que desembocan a la Bahía Salinas.	27
Tabla -7.	Datos climáticos de la estación Santa Rosa.	34
Tabla -8.	Resultados para la prueba de infiltración en la zona de la Divisoria de aguas el Jobo	61
Tabla -9.	Resultados para la prueba de infiltración en la zona de salón comunal el Jobo	62
Tabla -10.	Resultados para la prueba de infiltración para la zona de Tempatal.....	63
Tabla -11.	Resultados para la prueba de infiltración para la zona de Pastos en Soley... ..	64
Tabla -12.	Resultados para la prueba de infiltración para la zona del Pozo de AyA en Soley.	65
Tabla -13.	Resultados para la prueba de infiltración para la zona de la Escuela de Soley.	66
Tabla -14.	Resumen de resultados para las pruebas de infiltración.	67
Tabla -15.	Datos de retención de humedad de las pruebas de laboratorio.	67
Tabla -16.	Resultados de análisis químico de suelos	68
Tabla -17.	Resultados de evapotranspiración.	71
Tabla -18.	Análisis químico de estudio de la empresa Hidrotica.	87
Tabla -19.	Análisis bacteriológico del pozo de AyA que se dejó de utilizar.	87
Tabla -20.	Análisis fisicoquímico de algunos de los pozos artenasales mediante análisis de campo.	88
Tabla -21.	Análisis fisicoquímico de algunos de los pozos registrados en senara que contaban con estos parátros en su expediente. Fuente: SENARA, 2010.....	89



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico -1.	Gráfico 4 - 1: Posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) a través del año en el meridiano 90° Oeste (Tomado de Orozco, 2007).	33
Gráfico -2.	Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo aplicada en la divisoria de Aguas el Jobo.	61
Gráfico -3.	Resultados para la prueba de infiltración en el salón comunal el Jobo	62
Gráfico -4.	Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo en la zona de Tempatal	63
Gráfico -5.	Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo en la zona de Pastos en Soley.	64
Gráfico -6.	Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo en la zona del pozo de AyA en Soley.....	65
Gráfico -7.	Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo en la zona de la Escuela de Soley.....	66
Gráfico -8.	Temperatura para la estacion Santa Rosa del I.M.N.	70
Gráfico -9.	Evapotranspiracion potencial calculada por distintos métodos.....	71



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura -1.	Reunión con la comunidad del Jobo y Soley.....	10
Figura -2.	Trabajo de campo en la medición de niveles en los pozos.	11
Figura -3.	Trabajo de campo en la determinación de parámetros físico químicos.....	11
Figura -4.	Trabajo de campo en la determinación de parámetros físico químicos.....	11
Figura -5.	Trabajo de campo en la elaboración de pruebas de infiltración de doble anillo.	12
Figura -6.	Trabajo de campo en sondeos eléctricos verticales.....	12
Figura -7.	Afloramiento en corte del camino principal entre El Jobo y La Cruz.	14
Figura -8.	Mapa Geológico local.	15
Figura -9.	Afloramiento en corte del camino principal entre El Jobo y La Cruz.	16
Figura -10.	Afloramiento de la Unidad de lutitas y areniscas (Fm. Descartes), en Tempatal.	16
Figura -11.	Islotes y acantilados en Playa Rajada.	17
Figura -12.	Arreglo Geoelectrico de Schlumberger.	18
Figura -13.	SEV2 Modelo de 3 capas geofísicas obtenido con QWSELN	22
Figura -14.	Figura 7. SEV2 Modelo de 3 capas geofísicas obtenido con IPIwin.....	23
Figura -15.	SEV2 Modelo geoelectrico planteado en QWSELN.....	25
Figura -16.	SEV2 Modelo de 4 capas geofísicas obtenidas con QWSELN.....	25
Figura -17.	Modelo geofísico de resistividades eléctricas	26
Figura -18.	Pasos de montaña en Costa Rica vistos desde ambas costas (Fuente: Orozco, 2007).	32
Figura -19.	Líneas de flujo del viento e isotacas (líneas de igual velocidad del viento) en nudos (1 nudo equivale a 1,85 km/hr) para los meses de setiembre (presencia de los oeste ecuatoriales) y febrero (presencia del alisio del noreste y del sureste)	33
Figura -20.	Ubicación de la estación meteorológica Santa Rosa.....	34
Figura -21.	Número de meses secos en el país en sus distintas zonas.....	35
Figura -22.	Porcentaje de días con lluvia mayor a 1 mm en Costa Rica. Fuente: Orozco, 2007 mediante datos del IMN.	36
Figura -23.	Zonas Climáticas de Costa Rica según Koppen.....	37
Figura -24.	Zonas Climáticas de Costa Rica según Holdridge.....	38
Figura -25.	Precipitación promedio anual en Costa Rica y en la zona de estudio.	39
Figura -26.	Brillo solar promedio anual en Costa Rica y en la zona de estudio.	40
Figura -27.	Evapotranspiración de referencia	41



Figura -28.	Uso de suelo típico en la península descartes en la Cruz Guanacaste.....	42
Figura -29.	Perfil hidrogeológico A-A.....	79
Figura -30.	Perfil Hidrogeológico B-B.....	80
Figura -31.	Modelo metodológico conceptual del método GOD.....	84



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO INTEGRAL DEL JOBO Y SOLEY, LA CRUZ GUANACASTE

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

- *Aplicar los conocimientos científico – técnicos a la problemática real de escasez de agua que enfrenta la comunidad El Jobo en Guanacaste, para plantear posibles soluciones que le permitan a la comunidad gestionar con las instituciones el apoyo necesario para suplir sus necesidades de agua.*
- *Realizar un análisis hidrogeológico completo del área de Punta Descartes que permita conocer la capacidad y las limitantes del acuífero que sirve de abastecimiento a la comunidad de El Jobo, para brindar recomendaciones acerca del manejo integral de los recursos con los que cuentan.*

1.2 Antecedentes

El área de Estudio se ubica dentro del cantón de la Cruz, el cual es el cantón décimo de la provincia de Guanacaste. Limita al norte con el departamento de Rivas, Nicaragua y al sur con las llanuras liberianas. Por el oeste limita con el océano Pacífico y por el este con el cantón de Upala de la provincia de Alajuela.

El Cantón de La Cruz posee los distritos con características definidas en lo urbano (La Cruz), semi-urbano (Santa Cecilia), rural-agrícola (La Garita) y rural de pesca y Áreas Protegidas (Santa Elena).

En los pueblos del distrito de Santa Elena, respectivamente El Jobo y Puerto Soley fue donde se realizó el presente estudio, en la actualidad se conoce que en ese lugar han crecido varias generaciones en el oficio de la pesca artesanal, se puede decir que es parte de su cultura, su identidad. También se ha desarrollado el turismo, con la instalación de varios hoteles frente a las playas.

Sin embargo, con el crecimiento de la población no ha sido congruente con el abastecimiento de agua potable. En la actualidad, según reuniones con los directivos de la ASADA local, se identifica el problema de la falta de agua, a tal grado que un solo pozo es el que abastece a las dos comunidades, turnándose de día por medio el caudal de aprox. 2 l/s.

Esta situación de disponibilidad de agua se clasifica de MUY CRITICA, y como parte de la solución al problema, los pobladores han firmado un acuerdo administrado por una Empresa Mixta Municipal, donde la Municipalidad controla el 51% de las acciones, la Asociación de Desarrollo Integral de Puerto Soley el 1% y una de las empresas vinculadas con el proyecto es dueña del 48% de las acciones (megaproyecto Santa Elena Preserve).

En este primer semestre (2010) se están perforando los primeros pozo para el proyecto del Acueducto, en las orillas del río Animas, carretera a Santa Cecilia de La Cruz, que sería para llevar agua al megaproyecto Santa Elena Preserve en la zona de Puerto Soley - El

Jobo, en La Cruz de Guanacaste, propiedad de la familia Pelas (Flor de Caña), de Nicaragua, en alianza con los hermanos Arias Sánchez, dueños de parcelas en El Jobo.

Sin embargo, este estudio se enfoca en las propiedades cercanas a los poblados de Puerto Soley y el Jobo, donde se analiza la hidrogeología de la zona y posibles sitios de perforación para uso poblacional-comunal.

2. MARCO DEL TRABAJO ELABORADO

Con el fin de realizar la caracterización hidrológica de Punta Descartes, en donde se realizó una campaña de trabajo durante la cual se recolectó la información necesaria del área.

Inicialmente se realizó una reunión con los líderes de la comunidad en la que se presentó de forma breve el equipo de profesionales involucrados en este estudio, este espacio también fue aprovechado para conocer de primera mano la problemática que les aqueja, sus expectativas y conocer acerca de las gestiones que han realizado para tratar de solucionarlas, además se les explicó acerca del alcance de la presente investigación.

Figura -1. Reunión con la comunidad del Jobo y Soley.



A continuación contando con la colaboración de los miembros de la comunidad se hizo un reconocimiento del área para identificar los pozos de los cuales se abastece la población y las condiciones en las que se encuentra el sistema de abastecimiento de la zona. En el pozo en funcionamiento que sirve de abastecimiento a la población se realizó una prueba de bombeo y se utilizó un pozo cercano fuera de funcionamiento como pozo de observación, para determinar la capacidad del acuífero captado.

Se realizó inventario de pozos de la zona de estudio, en los que se midieron los niveles freáticos utilizando sondas eléctricas, de los mismos pozos se extrajeron muestras de agua a las que se les efectuaron pruebas químicas en campo de alcalinidad, conductividad eléctrica, pH y nitratos.

Figura -2. Trabajo de campo en la medición de niveles en los pozos.



Figura -3. Trabajo de campo en la determinación de parámetros físico químicos.



Se llevo a cabo el reconocimiento geológico y verificación de las estructuras que afloran en toda el área de análisis.

Figura -4. Trabajo de campo en la determinación de parámetros físico químicos.



La etapa del trabajo de campo también comprendió la realización de pruebas de infiltración con el método de doble anillo, dichas pruebas se realizaron en diferentes ubicaciones a fin de conocer la capacidad de infiltración de los diferentes tipos de uso del suelo en la zona de investigación. De las mismas ubicaciones donde se realizaron las pruebas de infiltración se recolectaron muestras de suelo para su posterior análisis en laboratorio.

Figura -5. Trabajo de campo en la elaboración de pruebas de infiltración de doble anillo.



Se realizaron además sondeos eléctricos verticales para determinar si existe intrusión salina en el área por su cercanía a la costa, para ello se utilizó el instrumento de resistividad eléctrica Modelo SAS-1000.

Figura -6. Trabajo de campo en sondeos eléctricos verticales.





3. GEOLOGÍA

3.1 Geología Regional

Las formaciones geológicas que constituyen el área de estudio (figura 7) son las siguientes:

3.1.1 Formación Curú

Astorga (1987) describe que esta unidad está compuesta por sedimentos turbidíticos, que litológicamente corresponden con secuencias cíclicamente intercaladas de alternancias de areniscas, 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. Está compuesta por las siguientes facies: depósitos de flujos turbulentos lodo-arenosos, depósitos de flujos turbulentos arenosos, depósitos turbidíticos retrabajados y depósitos de flujos turbulentos gravosos.

Dengo (1962) indica para esta formación un espesor de 1450m en el área de Santa Elena y 1670m en el área de Nicoya. Astorga (1987) le asigna un espesor promedio de 600 a 800 m y sus máximos de 1500 m. Aflora desde el sur de Nicaragua hasta las penínsulas de Santa Elena y Nicoya.

Está sobreyacida concordantemente por la Fm. Descartes y discordantemente por la Fm. Barra Honda. El contacto con la Fm. Descartes es transicional, mientras que con la Fm. Barra Honda es por medio de una discordancia angular (Flores, 2003).

Astorga (1987) le asigna un rango de edad Maastrichtiano medio/Superior a Paleoceno Superior basal.

3.1.2 Formación Descartes

Corresponde con sedimentos turbidíticos volcanoclásticos y carbonatados definidos por Astorga (1987). Este mismo autor define como localidades tipo, los afloramientos del área de punta Descartes, y los acantilados al norte de la península de Santa Elena hasta punta Descartes.

Soto et al, (2008) indican que en la Península Descartes la Formación Descartes es una alternancia cíclica de areniscas, conglomerados y brechas volcanoclásticas con cemento carbonatado y tobas intercaladas, depositadas durante el Paleógeno, de unos 2500 metros de espesor. Son turbiditas con una importante contribución de volcanitas (lavas, tobas e ignimbritas) erosionadas del arco volcánico de ese momento. Además los autores mencionan que estas sedimentitas afloran a lo largo de los acantilados, playas rocosas e islotes que rodean la península Descartes, así como en las colinas y en las quebradas que la cortan.

El espesor promedio de esta formación es de 1500 m y máximos de 2500-3000 m. Sobreyace concordantemente, y a través de un paso gradual a la Formación Curú. Su contacto superior generalmente está marcado por una discordancia respecto a los sedimentos marinos someros, carbonatados, silicoclásticos y/o volcanoclásticos del Oligoceno Inferior-Mioceno Inferior (Astorga, 1987).

Astorga (1987) le asigna una edad de Paleoceno Superior cuspidal al Eoceno Superior-Oligoceno Inferior.

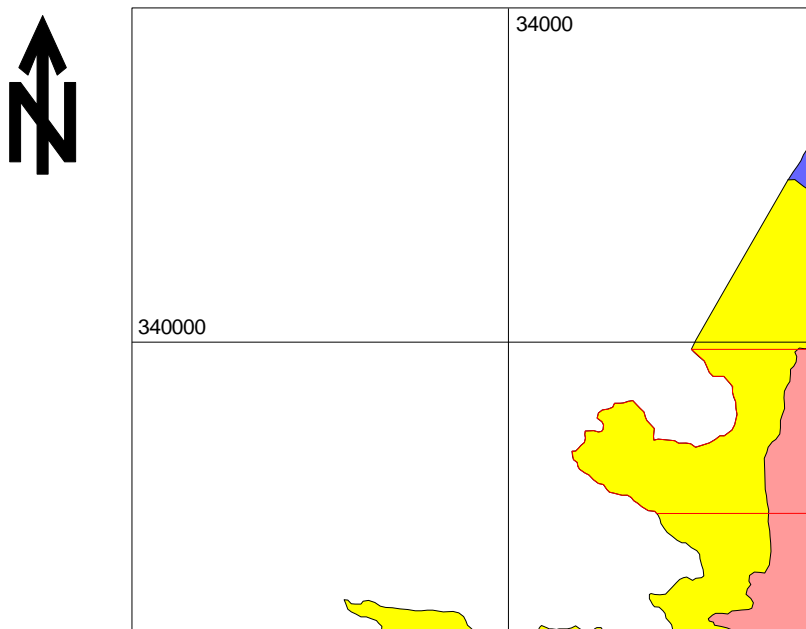
3.1.3 Ignimbritas y tobas ácidas

De acuerdo con Tournon & Alvarado (1997), ignimbritas, tobas ácidas y lavas masivas constituyen mesetas desde La Cruz hasta Cañas, llegando hasta la costa en donde forman prominentes acantilados (Dengo, 1962; Weyl, 1969). Estos depósitos de flujos piroclásticos pueden alcanzar más de 100 m de espesor y estar intercalados con lavas, depósitos aluviales, paleosuelos o sedimentos lacustres, incluyendo tierras de diatomeas. Las unidades tienen varias facies dentro de las cuales cabe mencionar en las cercanías del área de estudio las siguientes:

- Ignimbritas con “fiamme” de vidrio oscuro, generalmente con enclaves de andesitas (La Cruz, aeropuerto de Liberia).
- Tobas con pómez soldadas con fenocristales en una matriz de vidrio claro muy vehiculado de textura fluidal (Península de Santa Elena).

Escasos datos K/Ar indican el Mioceno Superior y el Plioceno (Bergoeing, 1982; Alvarado et al., 1992): 3 m.a. (carretera Liberia- La Cruz).



Figura -7. Afloramiento en corte del camino principal entre El Jobo y La Cruz.



Modificado de Astorga et.al (2008).

Leyenda

Rocas Sedimentarias

-  Formación Descartes (Eoceno-
-  Formación Curú (Cretácico Sup-Paleoceno)

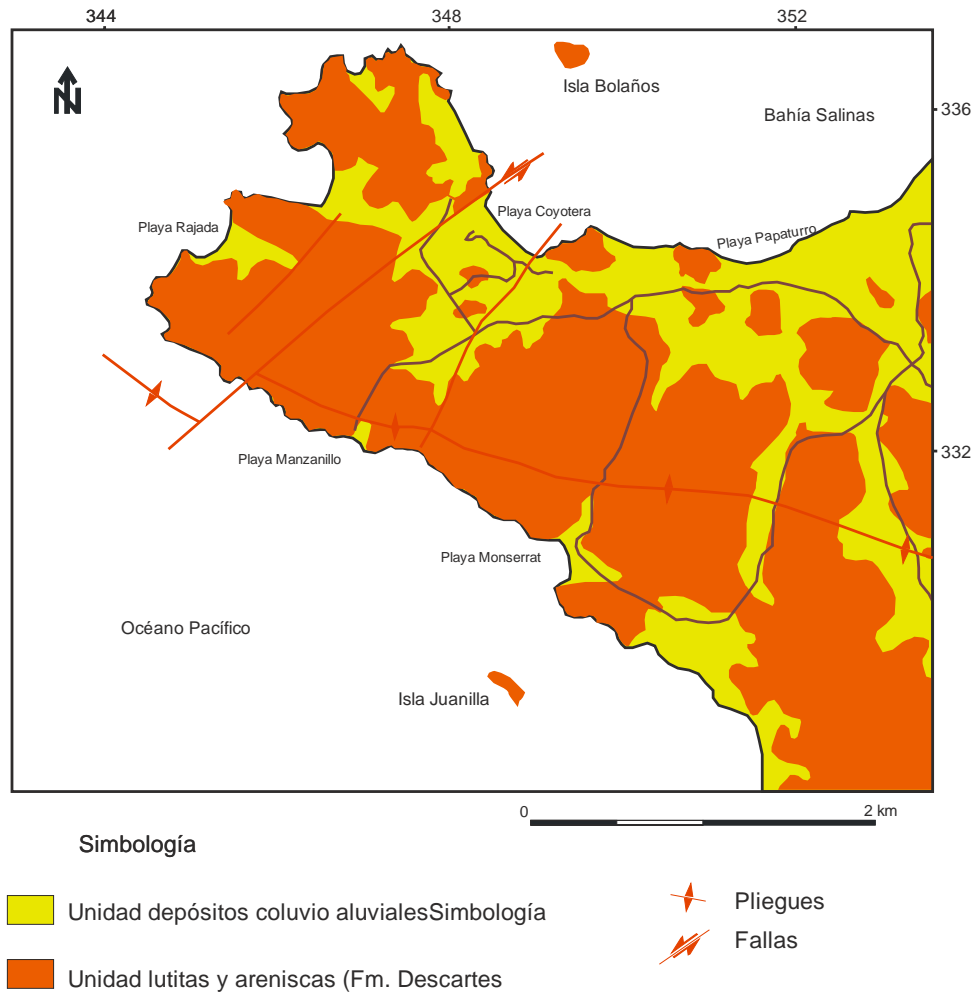
Rocas Volcánicas

-  Edificios volcánicos Cuaternarios y productos volcánicos

3.2 Geología Local

Localmente, se pueden diferenciar dos unidades principales (figura 8).

Figura -8. Mapa Geológico local.



Tomado de Soto, G., Arredondo, S., Vargas A (2008): Geología de la península Descartes (Costa Rica), una visión hidrogeológica. En: Memoria Programa y Resúmenes IX Congreso Geológico de América Central, 02-04 Julio 2008. San José, Costa Rica.

3.2.1 Unidad de areniscas y lutitas (Fm. Descartes).

Constituida por estratos centimétricos de areniscas y lutitas intercaladas. Estos estratos se muestran bastante plegados; se pueden apreciar algunos afloramientos en las orillas y taludes del camino principal que comunica el poblado de El Jobo con La Cruz (figura 8).

Figura -9. Afloramiento en corte del camino principal entre El Jobo y La Cruz.



También se presentan afloramientos de estratos centimétricos en una quebrada cerca de la localidad de Tempatal (figura 10).

Figura -10. Afloramiento de la Unidad de lutitas y areniscas (Fm. Descartes), en Tempatal.



Esta intercalación de areniscas y lutitas presenta color café oscuro y espesores centimétricos muy homogéneos. Además el cemento es de tipo calcáreo.

Otros afloramientos de esta unidad, se presentan en los acantilados e islotes de las playas cerca de El Jobo (foto 10), donde las rocas se observan bastante densas.

Figura -11. Islotes y acantilados en Playa Rajada.



Hacia la playa Rajada se observan las intercalaciones de las lutitas con estratos de areniscas finas y gruesas y en algunos casos con capas de conglomerados finos y gruesos.

3.2.2 Unidad de depósitos coluvio aluviales:

Esta unidad es la más reciente y se encuentra sobreyaciendo el basamento que constituye la Unidad de areniscas y lutitas de la Formación Descartes. Por lo general, dichos depósitos corresponden con limos y arcillas con bajo porcentaje de gravas y arenas, que han sido depositados en los cauces de los ríos que se presentan en la cuenca de estudio, la cual es de poca extensión.

3.3 Evaluación Geofísica

Enmarcado dentro del proyecto de investigación hidrogeológica, se realizaron dos sondeos geofísicos en las cercanías de la escuela del Jobo, para la evaluación de las capas geológicas presentes con el objetivo de poder definir si el sitio sería apto para la perforación de pozos y extracción de agua.

Se presenta en el mapa los sitios en las cuales se realizaron pruebas geoelectricas para la zona de punta descartes en el Jobo, La Cruz, Guanacaste.

3.3.1 Marco teórico. ¿Que es Geofísica?, La Geofísica en Costa Rica.

La Geofísica es la aplicación de la física a las investigaciones de la Tierra, la Luna y otros planetas (Reinolds 1997), subsiguiente, la Geofísica ambiental es la aplicación de métodos geofísicos para la investigación físico-química de los fenómenos y el medio subterráneo somero y terrestre, lo cual tiene implicaciones muy significativas en el manejo del ambiente local (Greenhouse 1991; Steeples 1991, en Reinolds 1997). La hidrogeofísica es el uso geofísica en aguas subterráneas, tal y como lo explican Urrutia & Arias (2006).

Desde finales de los sesentas se ha utilizado de la geofísica aplicada a la hidrogeología Astier (1975). Pomposiello et al (2009) indica que el método geoeléctrico es altamente eficiente en la determinación de de zonas con grandes contrastes de resistividad eléctrica y por ende definir capas geológicas de un sitio predeterminado.

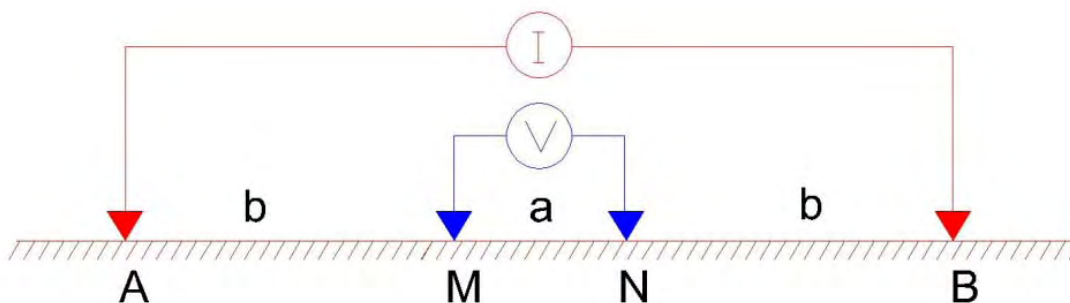
Aplicaciones hidrogeofísicas en Costa Rica se han realizado en diversas áreas, Murillo (2008) realizó estudios en modelos de acuíferos costeros para determinar estratigrafías geológicas y Arias & Vargas (2003) estudiaron la problemática de la intrusión salina en los acuíferos del país. Arévalo (2005) y Urrutia (2006) lo han utilizado para evaluar la vulnerabilidad intrínseca de acuíferos en El Salvador, mientras que Arias (2000) ha descrito las múltiples aplicaciones en geometría de acuíferos y parámetros hidráulicos.

3.3.2 Geoelectrónica con la Técnica Schlumberger

Los sondeos eléctricos verticales (SEV) se realizaron con la técnica Schlumberger (Figura 12), donde los electrodos de corriente (A y B) y de potencial (M y N) se van abriendo a partir de un centro a lo largo de una misma línea recta. Esto conduce a obtener las variaciones en la resistividad con la profundidad del subsuelo, inmediatamente abajo del centro del arreglo.

Durante la ejecución del estudio, los electrodos de potencial (M y N) sólo se modificaron cuando los valores medidos eran muy pequeños, de tal manera que en los datos existen uno o dos puntos con diferente abertura de MN y diferente abertura de electrodos AB, por lo que se obtuvieron algunos puntos de traslape o "clutch" durante la medición del SEV. Normalmente por cada tres a cinco cambios de AB se hizo un cambio de MN, procurando mantener en lo posible la relación de $AB/2$. Y 5 MN (Orellana, 1972). El arreglo usado durante las mediciones consiste en cuatro electrodos alineados sobre una recta. De las lecturas obtenidas se calculó la resistividad aparente a partir de considerar la diferencia de potencial entre los electrodos (M y N) debido a una corriente inducida por los electrodos de corriente (A y B).

Figura -12. Arreglo Geoelectrónico de Schlumberger. Fuente: Batantrax Engineerig survey (2010)



En general, en el mundo se han realizado caracterizaciones generalizadas de las resistividades de las rocas y agua, estos datos sirven de insumo y línea base teórica para analizar los datos de campo obtenidos (tabla 1).

Ubicación de Sondeos Geoeléctricos



Pueblo El Jobo

Posgrado en Hidrogeología
Universidad de Costa Rica

Leyenda

- Pozos Artesanales
- SEVs
- Red hídrica

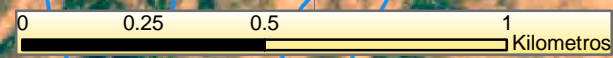




Tabla -1. Resistividades de las rocas y agua.

Material	Astier (1975) (Ωm)	Telford et al (1996) ¹ Ωm	Reynolds (1997) Ωm
Agua de mar	0.2		
Agua de acuíferos aluviales	10-30		
Agua de Fuentes	50-100		
Arenas y Grava con agua salada	0.5-5		
Arcillas	2-20	1-100	1-100
Calizas	300 - 10 000	50-1x10 ⁷	50-1x10 ⁷
Lavas	300 -10 000	100-5x10 ⁴	
Cinéritas, Tobas Volcánicas	20-100		
Basaltos			10-1.3x10 ⁷
Andesitas		170-4.5x10 ⁴	
Conglomerados		2000 – 1x10 ⁴	
Areniscas		1-6.4x10 ⁸	7.8x10 ⁸
Relleno Sanitario saturado			15 y 30
Escorrentía de un Relleno			≤ 10-50

3.3.3 Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs)

Es importante aclarar que los sondeos se realizaron en condiciones de suelos semi-saturados o con presencia de humedad debido a que en los días anteriores se presentaron las primeras lluvias fuertes del año en la zona.

3.3.3.1 SEV1

El SEV1 fue realizado frente a la escuela del pueblo el Jobo.

El SEV2, se ubica en un sitio con depósitos de basura bajo la superficie, sin embargo con la capa sello instalada, la cual incorpora 60cm de suelo arcilloso y una cobertura vegetal de zacate.

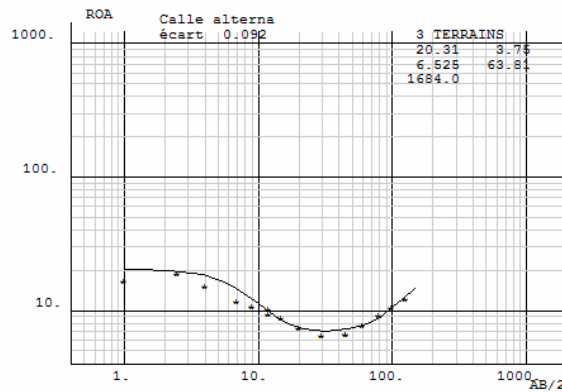
En el sondeo, a partir del AB/2= 30m, ya no se recibía información, por lo tanto los valores de resistividad son muy bajos.

¹ Telford et al (1996) en Arevalo (2005), pag 30.



Tabla -2. SEV1, Resistividades aparentes

J	AB/2	ROA
1	1.000	16.960
2	2.500	19.580
3	4.000	15.590
4	7.000	12.060
5	9.000	11.150
6	12.000	9.620
7	12.000	10.610
8	15.000	8.990
9	20.000	7.650
10	30.000	6.660
11	45.000	6.860
12	45.000	6.860
13	60.000	8.020
14	80.000	9.540
15	100.000	10.800
16	125.000	56.200



El modelo se ha simplificado a 3 capas (ver figura 13), la primera perteneciente al suelo arcillo superficial con un espesor aprox. de 75cm y una resistividad de 270 Ω m. La segunda capa tiene un espesor de 8m, y tiene resistencias de 29.9 Ω m, que parecen ser desechos de basura no saturados y finalmente la tercera capa detectada tiene resistividades muy bajas, en el orden de los 2.32 Ω m y no se pudo determinar el basamento. Esta tercera capa podría relacionarse con desechos confinados y saturados o con presencia de lixivios.

Figura -13. SEV2 Modelo de 3 capas geofísicas obtenido con QWSELN

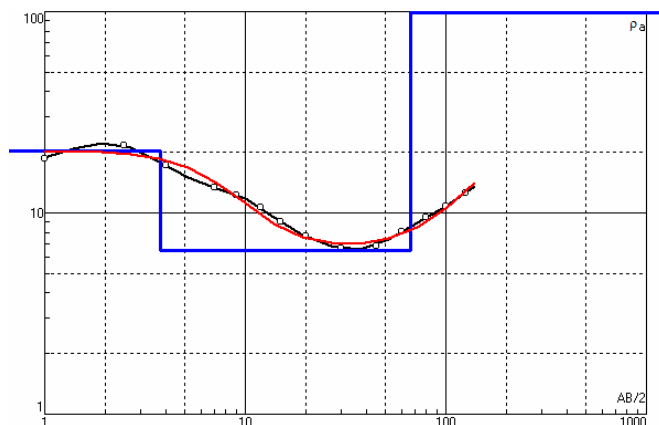




Figura -14. SEV2 Modelo de 3 capas geofísicas obtenido con IPlwin

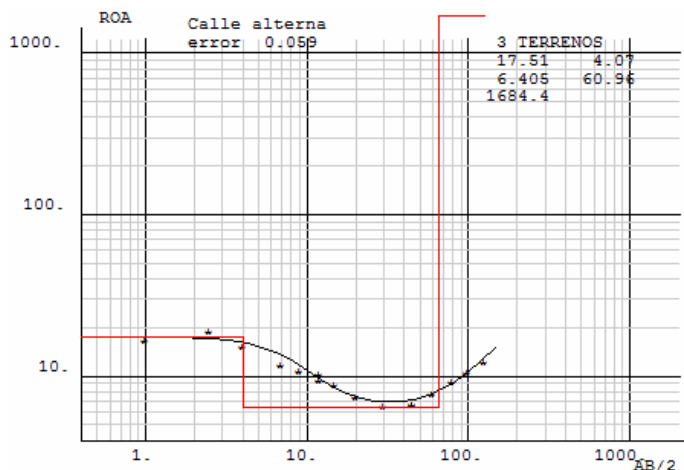


Tabla -3. Resistividades y espesores del SEV1.

Capa	Resistividad de la capa IPlwin (Ω m)	Resistividad de la capa QWSELN (Ω m)	Prof.(m) IPlwin	Prof. (m) QWSELN	Espesor de capa IPlwin (m)	Espesor de capa QWSELN (m)	Error IPlwin (%)	Error QWSELN (%)
1	20.3	17.6	3.75	4.0	3.75	4	0.30	0.059
2	6.5	6.4	67.56	61	63.81	57		
3	1684	1684	-	-	-	-		

El SEV1 es de particular importancia, para tener insumos geoelectrónicos y trabajar en el resto del área, pues esta pequeña base de datos geofísicos servirá para comparar las mediciones ambientales futuras. En este momento se demuestra por medio de la resistividad eléctrica que el material las primeras 2 capas geológicas tienen resistividades muy bajas en la parte superficial y una tercera capa con resistividades altas, que representa un basamento consolidado.

Específicamente, la primera capa tiene una resistividad de 19Ω m promedio y un espesor de 4m, esta capa se podría relacionar con zona de base y subbase compactada de la calle donde realizó el sondeo, eso sí; con presencia de humedad en el suelo por las lluvias del día anterior. La segunda capa tiene una resistividad de 6.4Ω m y un espesor de 64m en promedio y podría corresponder a una zona de depósitos arcillas y rocas sedimentarias de la formación Descartes. Para este caso se infiere que representa una zona saturada de agua (acuífero somero) con rocas sedimentarias con un alto grado de alteración llena de iones de Hierro que afectan la conductividad de la matriz (tal y como se nota en los análisis químicos del agua presentados anteriormente).

Finalmente se tiene la capa del basamento que inicia a los 65m (en promedio) de profundidad y de la cuál no se puede definir su espesor. Esta capa es más compacta que



las anteriores y no aparenta estar saturada debido a que las resistividades son en el orden de los 1684 Ωm .

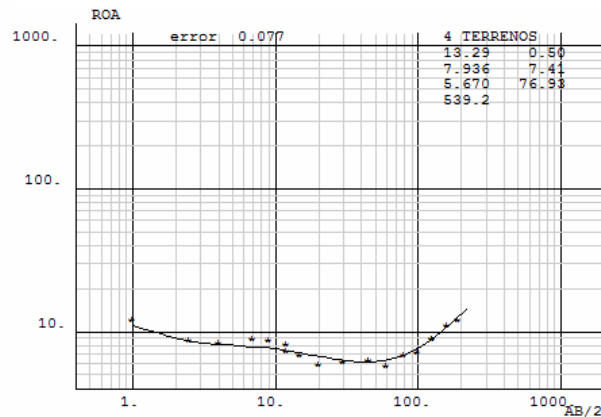
3.3.3.2 SEV2

El primer Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) fue realizado en la calle que ingresa de la estación de policía hacia la playa, en el pueblo del Jobo. Se utilizó el instrumento de resistividad eléctrica Modelo SAS-1000 perteneciente a la Escuela Centroamericana de Geología, UCR.

El SEV 2 se ubica sobre rocas sedimentarias aluvio-coluvionales en la capa somera y profundiza hasta el basamento de rocas sedimentarias tipo arenisca de la formación Descartes. .A continuación se presenta los resultados obtenidos:

Tabla -4. SEV2 Resistividades aparentes.

J	AB/2	ROA
1	1.000	12.500
2	2.500	9.130
3	4.000	8.660
4	7.000	9.220
5	9.000	9.160
6	12.000	7.700
7	12.000	8.500
8	15.000	7.200
9	20.000	6.100
10	30.000	6.400
11	45.000	6.500
12	45.000	6.500
13	60.000	6.000
14	80.000	7.100
15	100.000	7.500
16	125.000	9.190
17	125.000	9.200
18	160.000	11.490
19	190.000	12.600



El SEV2, se realizó con un AB/2 máximo de 190m y un MN máximo de 25m. En el tabla 4 se aprecian las resistividades obtenidas el sondeo realizado.

Según el método cualitativo de interpretación por la curvatura del SEV 2 (ver figura 15) se aprecian 4 capas. Para obtener los modelos geofísicos de resistividades reales (fig. 15 y 16) se procedió a analizar la curvatura de resistividades aparentes bajo los criterios de la solución del problema inverso expuesta por Consenza & Arias (2006) sobre la equivalencia y supresión de capas o datos para modelar con criterio geológico y en este caso especial énfasis en el aspecto hidrogeológico.



Figura -15. SEV2 Modelo geoelectrico plotado en QWSELN.

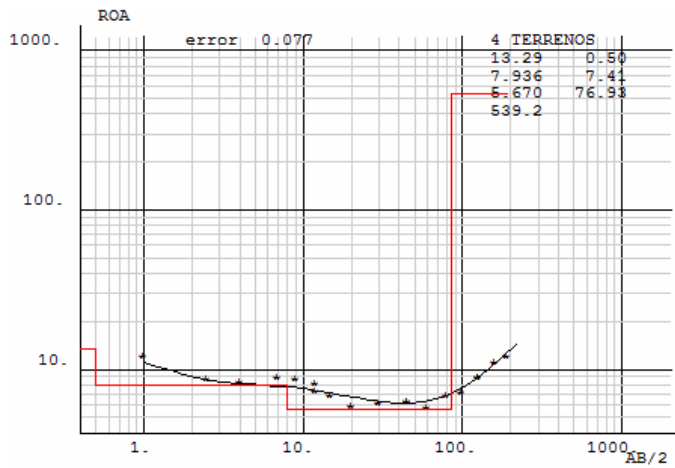


Figura -16. SEV2 Modelo de 4 capas geofísicas obtenidas con QWSELN

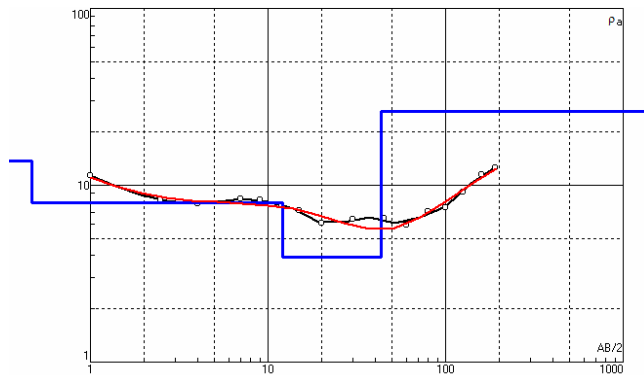


Tabla -5. Resistividades y espesores del SEV2

Capa	Resistividad de la capa IPLwin (Ω m)	Resistividad de la capa QWSELN (Ω m)	Prof.(m) IPLwin	Prof. (m) QWSELN	Espesor de capa IPLwin	Espesor de capa QWSELN	Error IPLwin (%)	Error QWSELN (%)
1	13.7	13.3	0.5	0.5	0.5	0.5	5.17	0.077
2	8	8	8.2	7.4	7.6	6.9		
3	4	5.6	76.7	77	68.5	70.1		
4	126	539	-	-				

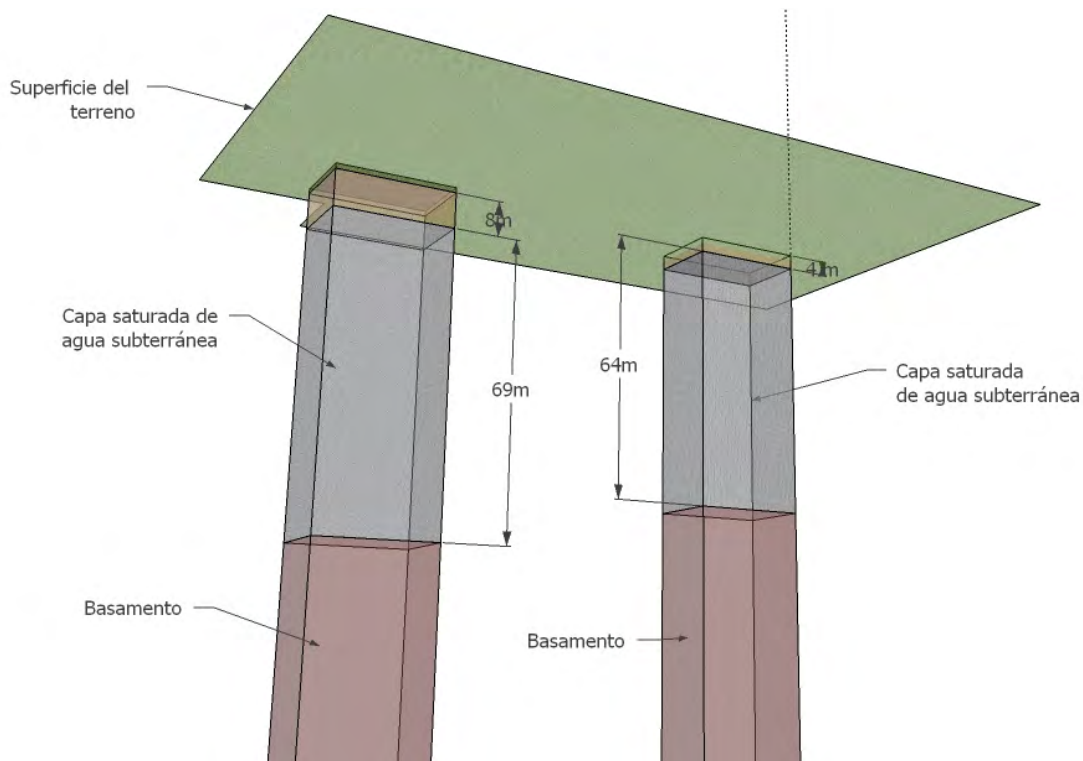
En el SEV2 se demuestra por medio de la resistividad eléctrica que el material las primeras 3 capas geológicas tienen resistividades muy bajas en la parte superficial y una cuarta capa con resistividades altas, que representa un basamento consolidado.

Específicamente, la primera capa tiene una resistividad de $13.5 \Omega\text{m}$ promedio y un espesor de 0.5m , esta capa se podría relacionar con zona de base y subbase compactada de la calle donde realizó el sondeo pero un alto grado de humedad, debido a las lluvias de los días anteriores. La segunda capa tiene una resistividad de $8 \Omega\text{m}$ y un espesor de 7.3m en promedio y podría corresponder a una zona de depósitos arcillas, sin embargo esta capa podría unirse a la tercera capa que tiene resistividades de $4.5 \Omega\text{m}$ en promedio pero con un espesor de 69m . Para este caso se infiere que representa una zona saturada de agua (acuífero somero) con rocas sedimentarias con un alto grado de alteración llena de iones de Hierro que afectan la conductividad de la matriz (tal y como se nota en los análisis químicos del agua presentados anteriormente).

Finalmente se tiene la capa del basamento que inicia a los 77m de profundidad y de la cuál no se puede definir su espesor. Esta capa es más compacta que las anteriores y no aparenta estar saturada debido a que las resistividades varían entre los $126 \Omega\text{m}$ a $539 \Omega\text{m}$.

Los sondeos realizados se integran a continuación en el Perfil SEV1 -SEV2, donde se muestran los espesores de las capas, la ubicación de basamento y la superficie del terreno. (Ver figura 17).

Figura -17. Modelo geofísico de resistividades eléctricas





4. HIDROLOGÍA

4.1 Delimitación de cuencas de la zona de estudio

En el mapa 1 se muestra junto con la ubicación del proyecto el contexto hídrico - morfológico que se da en la Bahía Salinas.

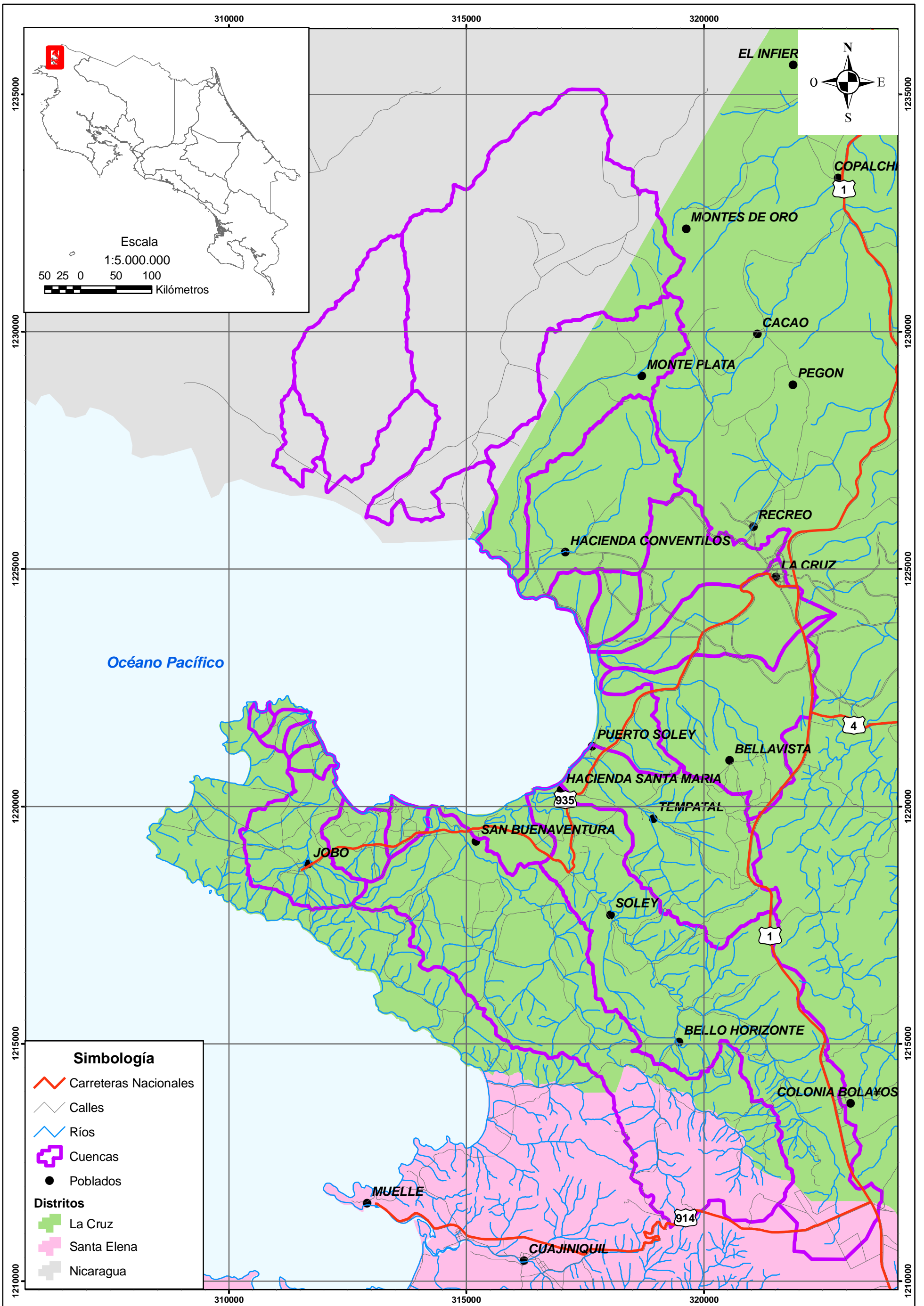
El conjunto se compone de una serie de pequeñas cuencas que desembocan a la Bahía. Es importante resaltar que algunas de ellas se comparten con Nicaragua.

En el sector propiamente donde se encuentran el Jobo y Soley, al ser de forma peninsular, se presentan cuencas de tamaños pequeños, y en general a los ríos que drenan por ellas producto de su condición intermitente no se les asocian nombres. En la tabla 6 se observa el área de las distintas cuencas descritas, y cuales de ellas se encuentran en la zona de estudio principal que es al sur de la Bahía Salinas.

Tabla -6. Datos de las cuencas que desembocan a la Bahía Salinas.

Número de cuenca	Área (Ha)	Desemboca al Sur de la Bahía (zona de estudio)
1	460,7	Sí
2	2501,0	Sí
4	2331,0	Sí
5	945,3	Sí
14	171,6	Sí
15	73,2	Sí
18	35,2	Sí
19	46,1	Sí
20	43,7	Sí
21	24,8	Sí
Total área de estudio (Ha)	6632,7	
6	474,0	No
7	858,5	No
9	888,6	No
10	796,7	No
11	125,8	No
13	2737,0	No
16	889,0	No
17	518,9	No
22	84,5	No
23	131,3	No

Debido a la configuración hídrica del sitio, no es posible elaborar análisis como una sola cuenca. Existe además falta de información para el análisis en las partes altas de las cuencas de mayor tamaño, que en principio parecen ser las que presentan condiciones más adecuadas para extraer agua subterránea en sus partes aluviales.



Mapa 1: Ubicación de la zona de estudio.

Estudio Hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz

*Curso Manejo de Recursos Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*



Escala 1:75.000
Proyección CRTM05

Fuente: Hojas 1:50 000 IGN





Desde esta perspectiva, se deberá realizar un análisis más integral del sitio, ubicando sitios potenciales de acuerdo a las condiciones planteadas para determinar cuales presentan mayor potencial para ser explotados, o protegidos.

Producto de las condiciones hidrogeológicas de almacenamiento de agua subterránea y el régimen de precipitaciones, no existen ríos de carácter permanente, y esto se discutirá con mayor detalle en las secciones posteriores.

4.2 Meteorología

4.2.1 Parámetros climáticos generales

Para la zona de estudio, el aspecto meteorológico requiere un especial análisis, dado que junto con las condiciones físicas existentes en la zona de estudio, los factores meteorológicos revisten una importancia básica para definir las condiciones de disponibilidad hídrica del sitio.

Propiamente antes de analizar las condiciones propias puntuales del sitio, es básico definir el contexto regional del clima que afecta la zona del Jobo y Soley en la Cruz.

Costa Rica se encuentra localizado en el Istmo Centroamericano entre las latitudes 8°00' y 11°15' Norte y las longitudes 82°30' y 86°00' Oeste. Sobre el país se ubica durante una gran parte del año la zona donde confluyen los vientos de los hemisferios norte y sur, conocida como Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

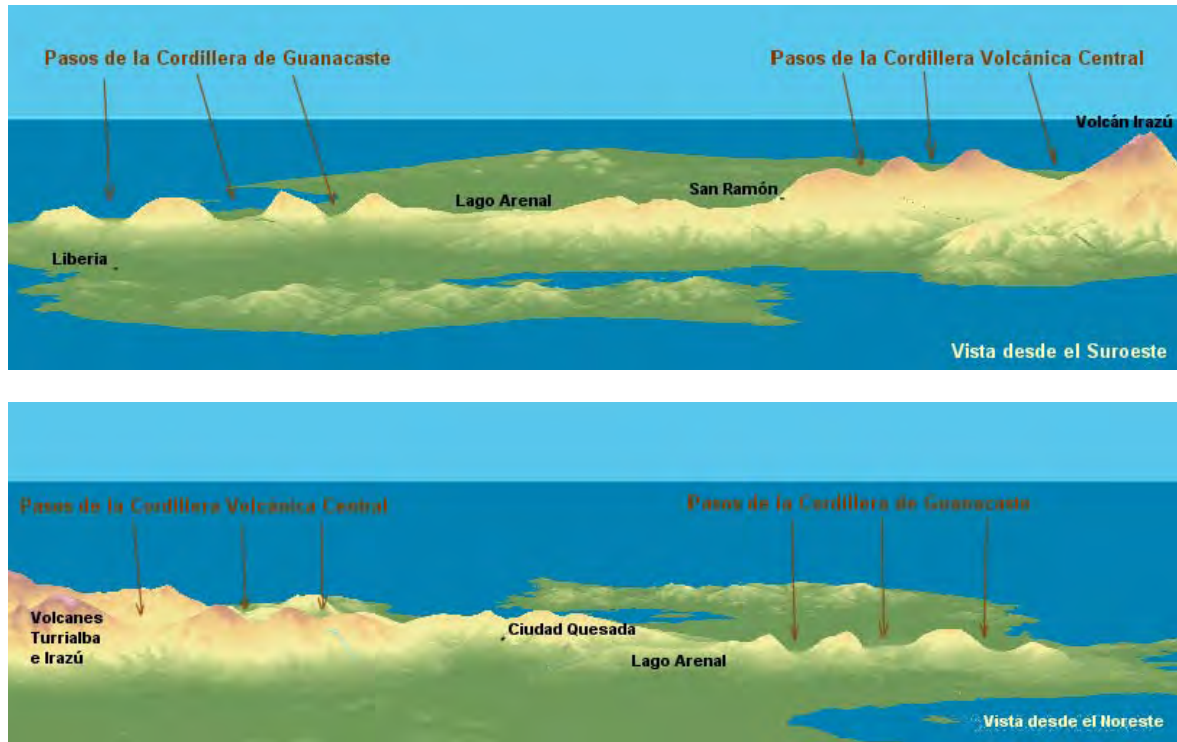
Las zonas tropicales en el hemisferio occidental están caracterizadas, en su mayor parte, por una ancha faja de flujos de aire con componente del este. Esto producto del efecto de Coriolis causado por la rotación de la tierra y que sobre el ecuador existe una zona de baja presión lo cual causa que los vientos viajen hacia esa dirección. Así, estos flujos que poseen direcciones medias noreste en el hemisferio norte y sureste en el hemisferio sur se conocen con el nombre de vientos alisios (Zarate, 1977).

El territorio costarricense está por completo bajo la influencia de los vientos alisios. Al tener una dirección noreste se provoca un choque directo con la costa del Caribe. El viento alisio es muy húmedo y de poca intensidad, cercanos a los 5 km/h en la costa (Muñoz, 2001) lo cual lleva una gran cantidad de lluvias a la vertiente Caribe durante prácticamente todo el año.

El patrón de circulación de los vientos en la zona ecuatorial varía conforme se da la migración de la ZCIT, la cual es estacional. Su posición varía a través del año entre los 5 y 10° Norte (Alfaro, 1998). Así, el movimiento hacia el norte se da a finales de abril y principios del mes de mayo (Zarate, 1977). Esto es producto del ángulo de incidencia de los rayos solares en las distintas épocas del año.

Durante los meses de invierno del Hemisferio Norte (de noviembre a abril) la ZCIT se ubica cercana a los cinco grados de latitud norte. El alisio tiene dirección del noreste y así, el Pacífico no tiene una influencia directa por este sistema, por lo que se encuentra bajo régimen estacional seco. Solamente se dan fuertes vientos en el Valle Central y en las planicies Guanacastecas, producto de la entrada de los alisios del noreste y su recorrido a través de las cordilleras por entre los pasos (zonas de baja elevación) (figura 18).

Figura -18. Pasos de montaña en Costa Rica vistos desde ambas costas (Fuente: Orozco, 2007).



A finales del mes de abril y principios de mayo, la ZCIT migra hacia latitudes mayores al norte y con ello se da un cambio de dirección de los vientos que afectan el país. Ahora el alisio del sur tiene una dirección suroeste, con lo cual se da un choque directo con la costa Pacífica de Costa Rica y con ello trae las lluvias a esta zona del país (gráfico 1, figura 19). La estación lluviosa en la Vertiente del Pacífico avanza de sur a Norte, llegando a la zona de La Cruz como último sitio en el país.

La estación más cercana de la que se disponen datos es la que se ubica en el parque Nacional Santa Rosa, a aproximadamente a 25 Km. de la zona de estudio sobre la Carretera Interamericana, como se observa en la figura 20.

Se presentan para esta estación datos de temperatura, brillo solar y precipitación, los cuales se presentan en la tabla 7.



Figura -19. Líneas de flujo del viento e isotacas (líneas de igual velocidad del viento) en nudos (1 nudo equivale a 1,85 km/hr) para los meses de setiembre (presencia de los oeste ecuatoriales) y febrero (presencia del alisio del noreste y del sureste) (Fuente: Atkinson, 1970. Tomado de Zarate, 1977).

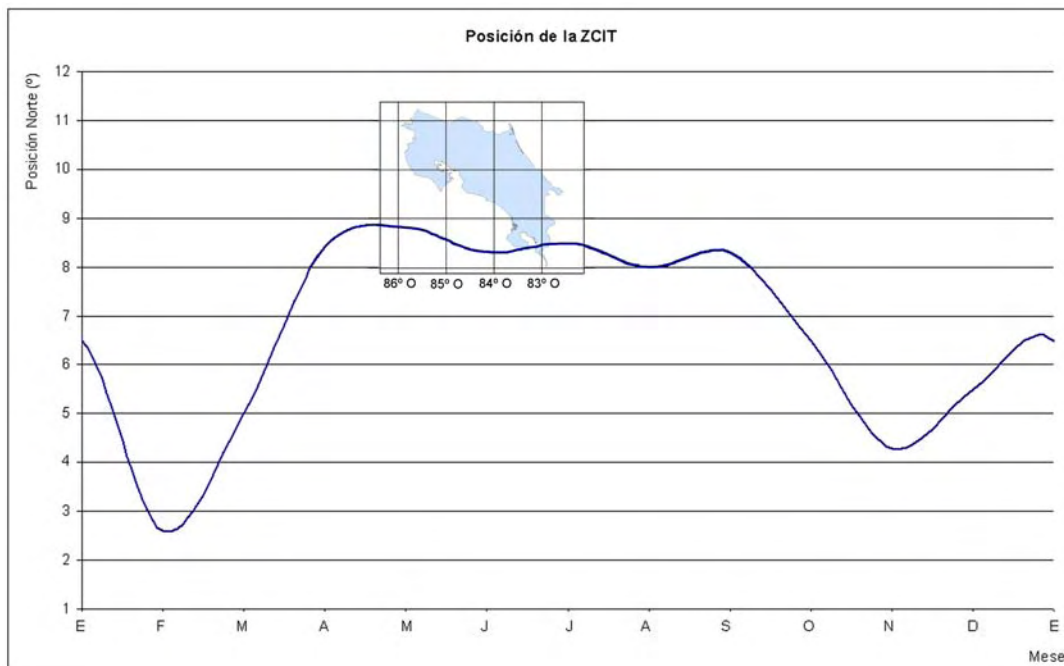
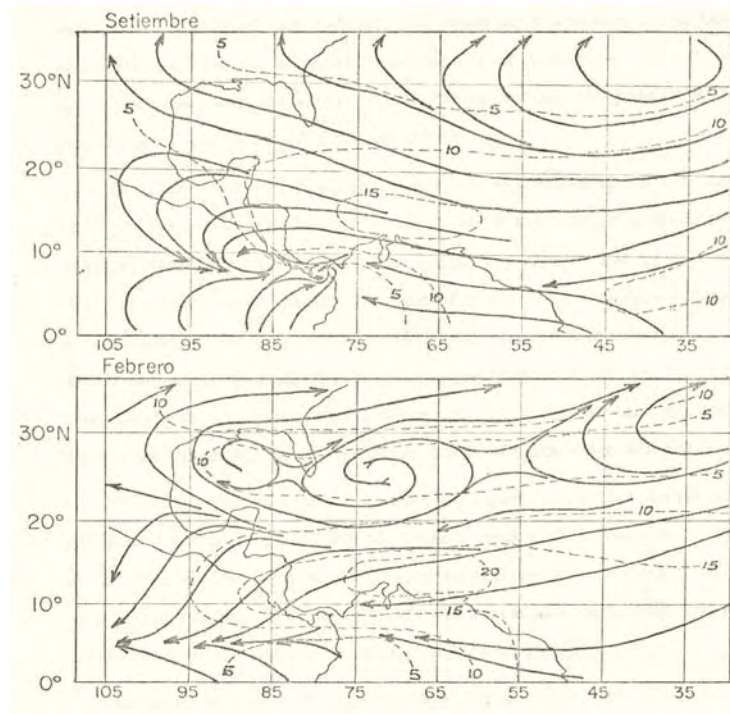


Gráfico -1. Gráfico 4 - 1: Posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) a través del año en el meridiano 90° Oeste (Tomado de Orozco, 2007).

Figura -20. Ubicación de la estación meteorológica Santa Rosa (Tomado de Google Earth, 2010).

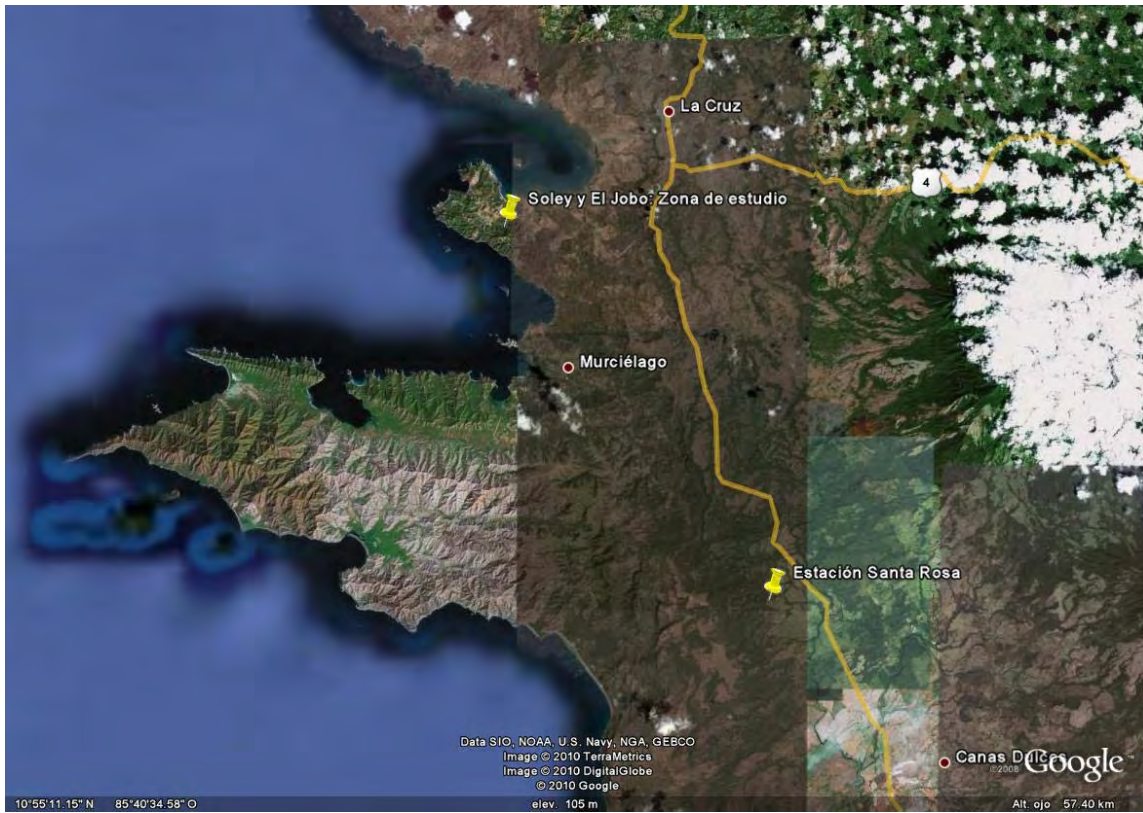


Tabla -7. Datos climáticos de la estación Santa Rosa.

Variable	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.	anual	
Temp. Prom. Mens.	25,7	24,7	27,6	27,7	27,4	25,6	25,8	25,6	24,6	25,1	24,9	25,1	25,8	
Brillo solar	8,9	9,9	9,9	9,3	6,9	5,5	5,8	5,7	5,2	5,3	6,7	8,1	7,3	
Precipitación	1971	-	-	-	24	222,7	107,6	108,5	161,5	690,3	380,7	14,8	2,7	1712,8
	1972	16,5	0	0	0	248,5	363,4	62	43,5	64,9	104	106,8	25,3	1034,9
	1973	0	0	0	32,2	254,1	398,1	271,9	385,1	309,1	739,8	89,4	4,5	1814,2
	1974	1,4	0,8	0	1	236,7	219,1	51,8	151,7	832,9	133,2	14	17,9	1660,5
	1975	1,5	0	0	-	95,2	94,1	178,8	257,1	459,4	-	-	18	907,3
	1976	0	0,2	0	1,3	81,5	253,8	76,8	70,9	48,6	184,2	54	10,5	781,8
	1977	0	0	0	14,7	-	280,3	54,2	155,4	253,5	140,6	147,8	-	1046,5
	1979	0	0	1,6	-	-	-	-	292,4	791,7	552,7	210	54	1902,4
	1980	0,5	0,1	5,1	0	182,6	175,3	122,4	158,7	324,5	417,8	240	8,7	1395,7
	1981	0	0,7	0,7	10,8	352,7	581,7	171,6	478	194,7	268,4	153,4	26,8	2239,5
	1982	16,1	1,9	0	40,5	918,5	129,2	116,7	33,5	328,3	197,4	37,1	0,8	1820
	1983	1,8	0	22,4	3,6	20,7	180,4	105,7	106,8	187,6	199,5	78,8	7	914,3
	1984	5,9	7,8	0	0	118	217,6	277,9	162	612,8	260,9	52,3	6,7	1721,9
1985	0	0	0	3,4	98,6	210,6	153,5	169	214,3	436,1	119	26,4	1430,9	



Se resalta en **negrita** en la tabla el año 1974, que es característico de un año con una precipitación promedio para la zona de estudio.

Se observa dentro del registro que se han dado años con precipitaciones muy bajas, como el caso de 1983, el año más seco que se ha dado en el Pacífico y Valle Central de Costa Rica, donde la lluvia ni siquiera llegó a los 1000 mm en el año.

En la figura 21 se presenta la distribución de meses secos según la zona y como se observa la zona de estudio es la que presenta mayor número de meses secos en el año para el país con más de cinco.

Esta zona presenta una de las precipitaciones más bajas que se registran en el país. Producto de su ubicación como la zona más al norte del país, presenta uno de los regímenes climáticos más secos en materia de días de lluvia, pues es la última a la cual llega la influencia de la zona de convergencia intertropical. Esto se puede observar en la figura 22, en donde muchos años se presentan promedio de días con lluvia mayor a 1 mm menores a 30.

Figura -21. Número de meses secos en el país en sus distintas zonas (Tomado de Orozco, 2007).

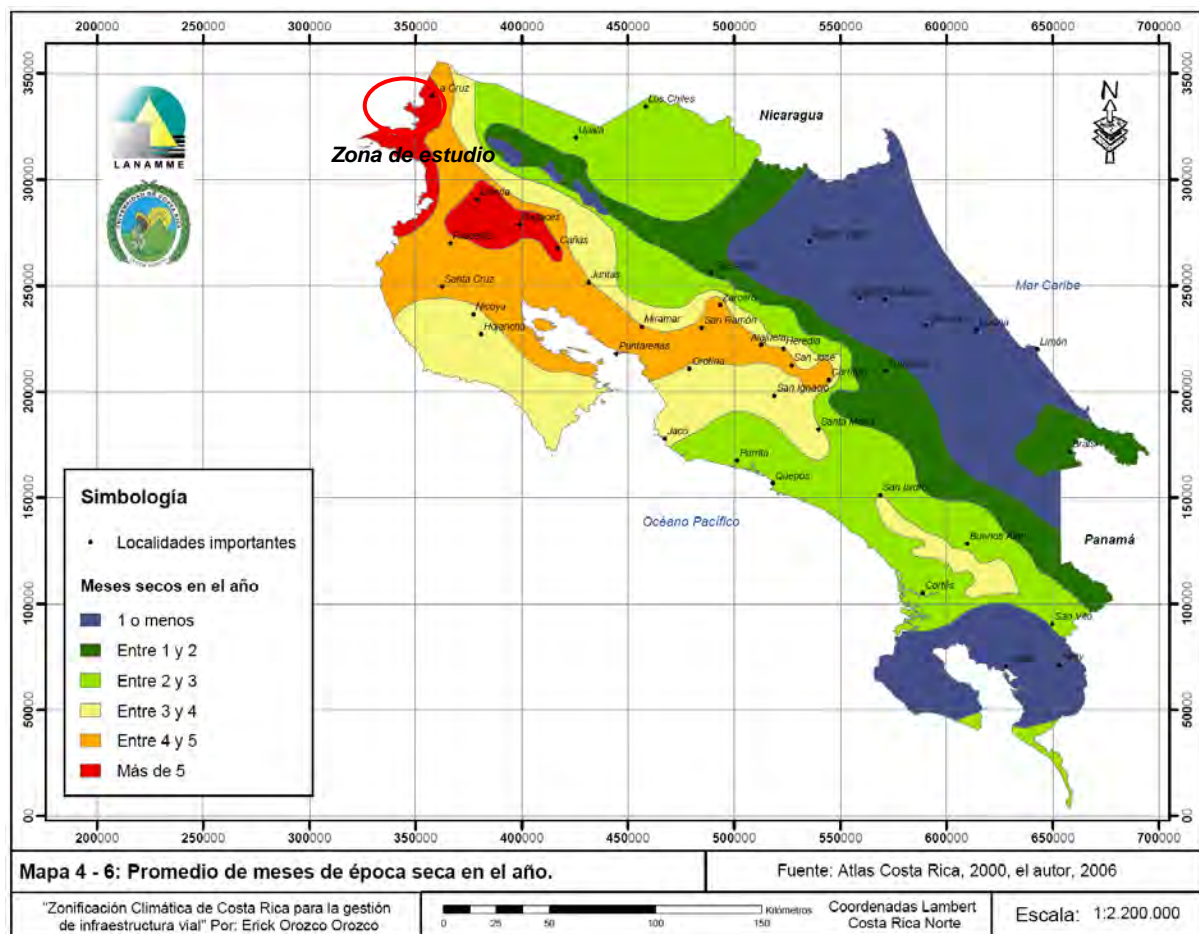
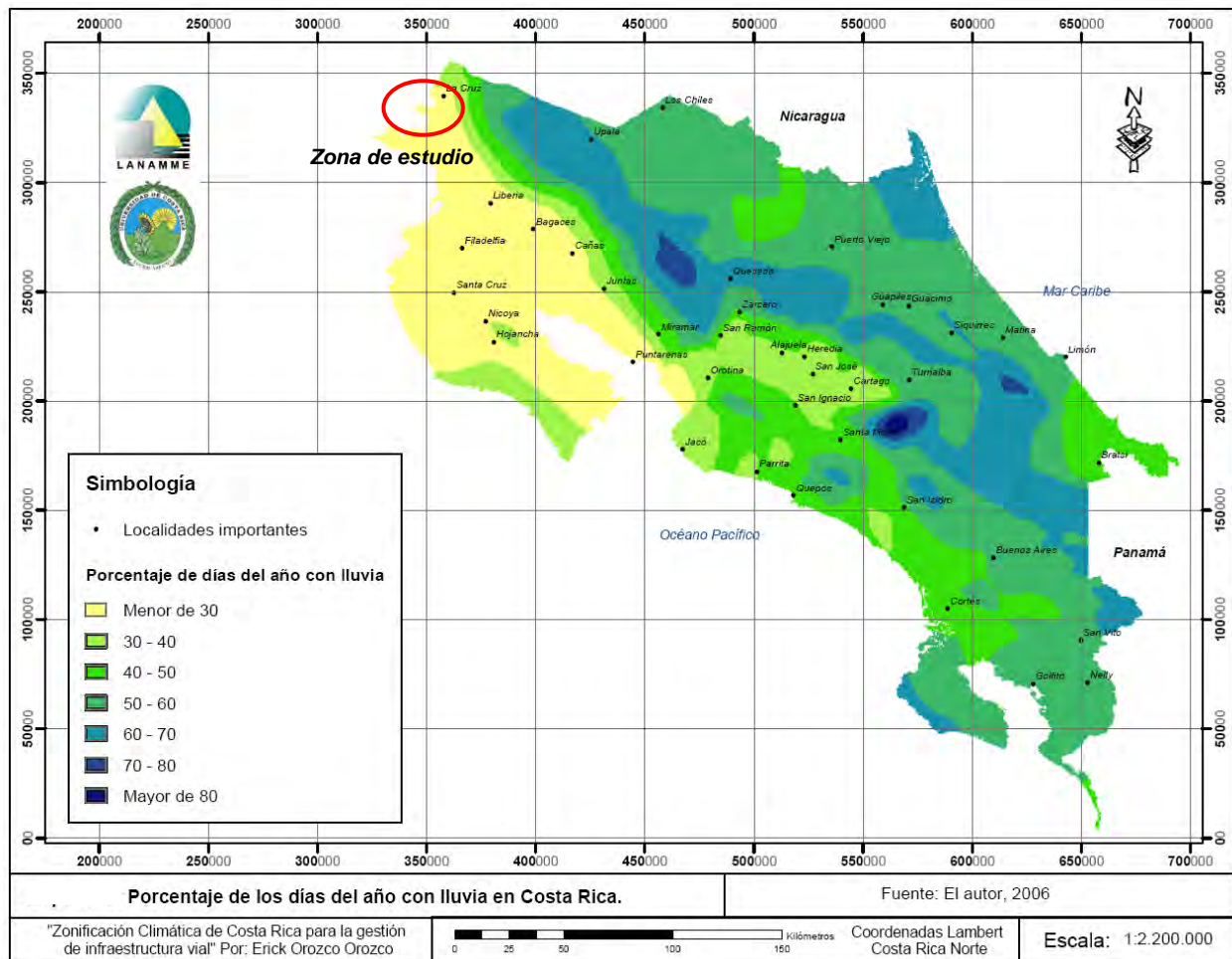


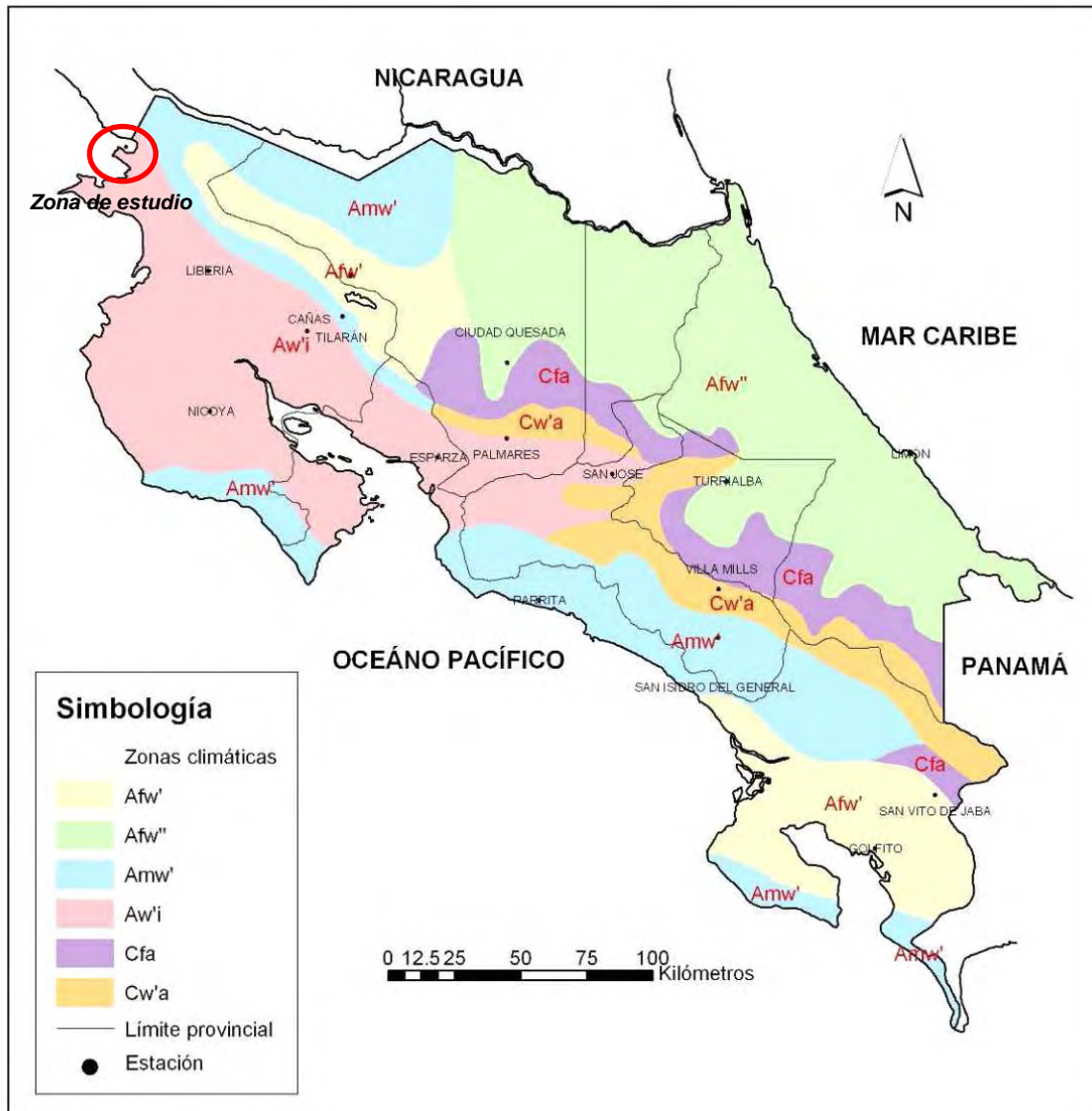


Figura -22. Porcentaje de días con lluvia mayor a 1 mm en Costa Rica. Fuente: Orozco, 2007 mediante datos del IMN.



El clima general para esta zona se clasifica como Clima Lluvioso Tropical en su variación del Pacífico con marcada estación seca, Aw¹, (Ver Figura 23) según la clasificación empleada por el US Army Corps of Engineers, citado en el Balance Hídrico Nacional 1970-2002 (UNESCO, 2008) con disminución de las lluvias durante los meses correspondientes al invierno del hemisferio norte (diciembre a abril); con lluvias durante el verano del hemisferio norte, hasta 10 veces mayores que las del mes más seco.

Figura -23. Zonas Climáticas de Costa Rica según Koppen.

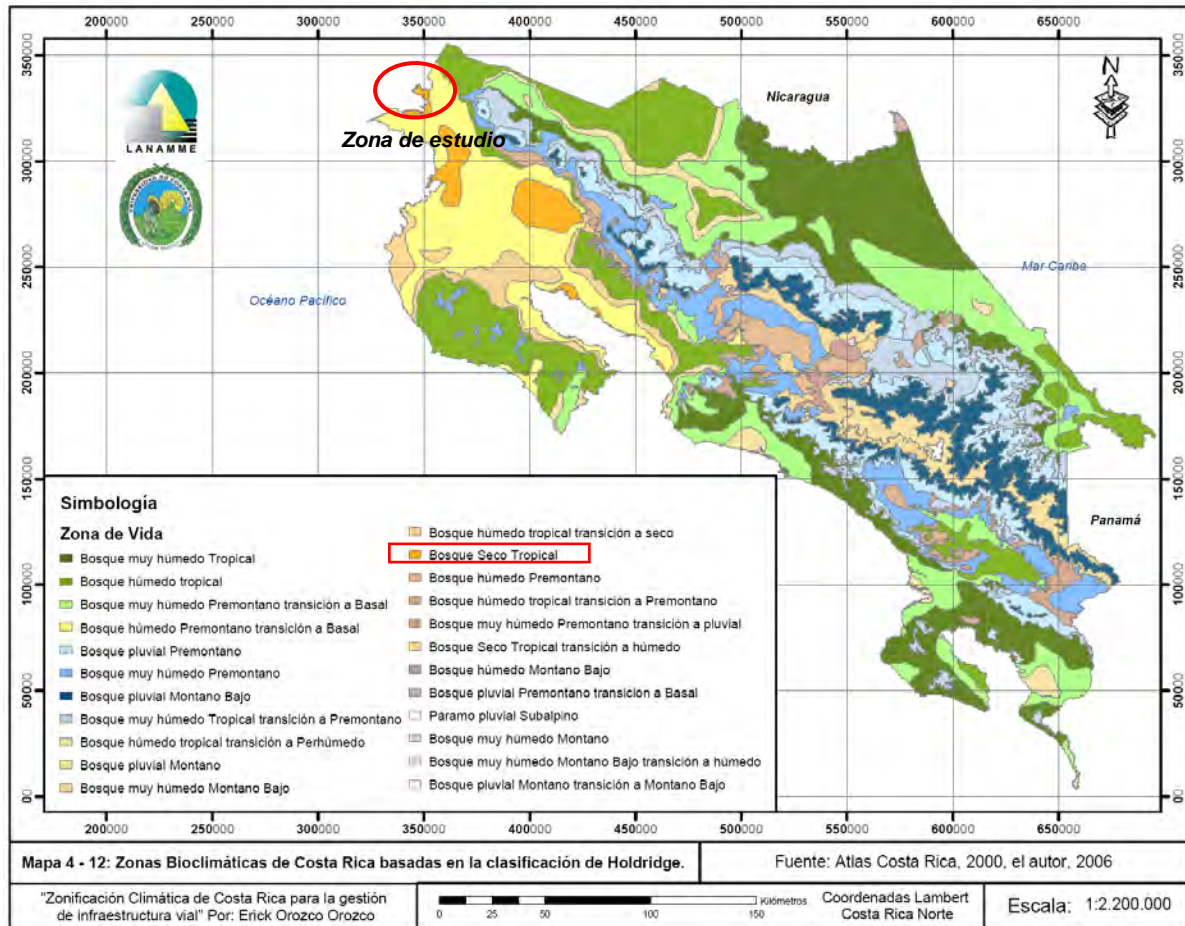


Fuente: Resources Inventory Center, Corps of Engineers, US, Army. (L7- A) 1965. Tomado del Balance Hídrico Superficial, 1970-2002 - (Documento Técnico Unesco No. 10, Programa Hidrológico Internacional para Latinoamérica y el Caribe, 2007).

Según la caracterización de Holdrige, en la zona de estudio se tiene clima de Tipo Bosque Seco Tropical, el cual presenta características biológicas en donde la escasez hídrica hace que durante la época seca los árboles prácticamente se sequen y con la llegada de las lluvias vuelvan nuevamente a reverdecer. Esta condición se le conoce como bosques de tipo caducifolio.



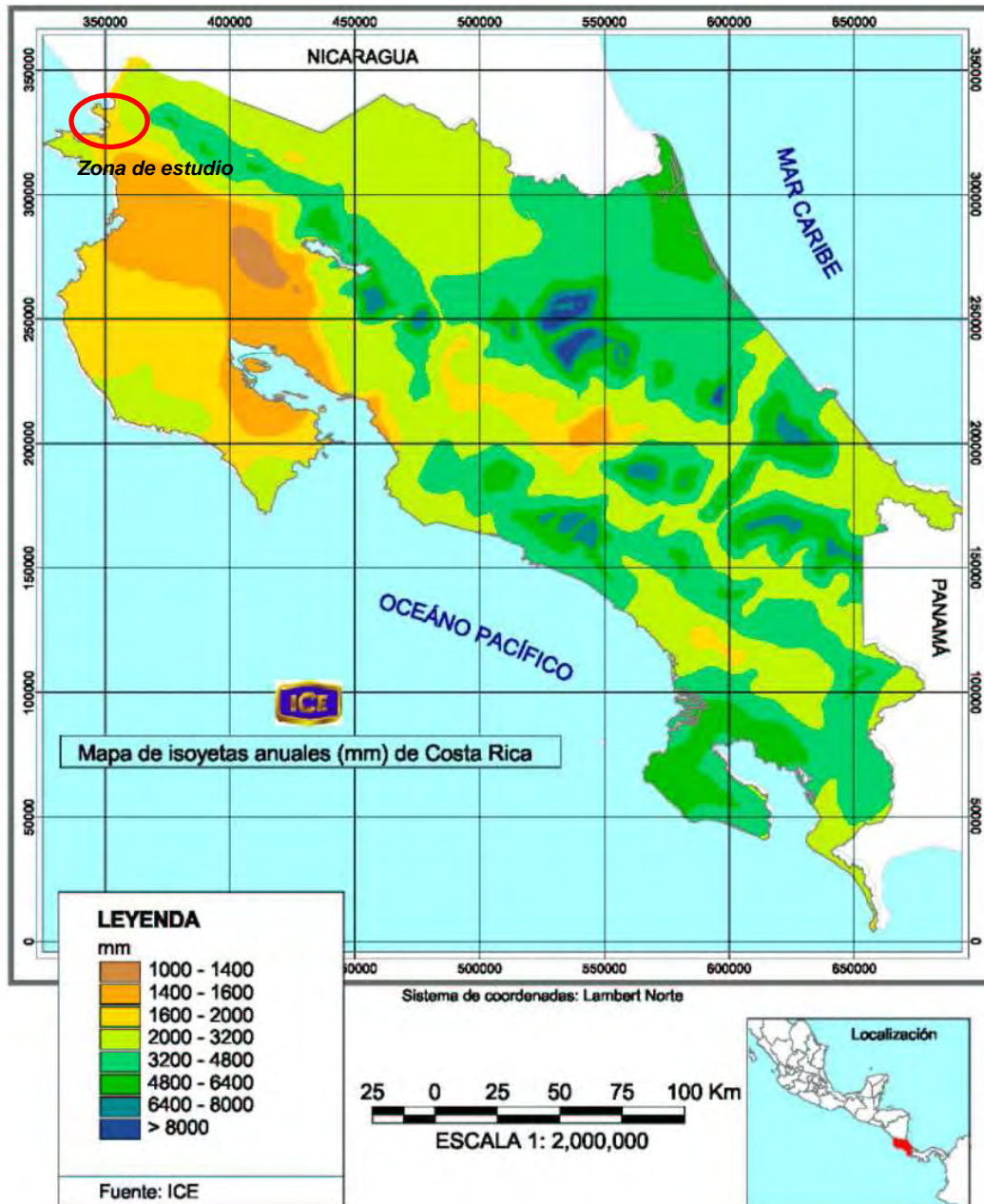
Figura -24. Zonas Climáticas de Costa Rica según Holdridge (tomado de Orozco, 2007).



En general, la zona presenta una precipitación anual en el rango de 1600-2000 mm, según el Balance Hídrico Superficial de Costa Rica 1970-2002. (Ver figura 25).

Para efectos del análisis se utilizará la precipitación promedio de la estación Santa Rosa, dado que según como se observa, se tiene un patrón de clima semejante.

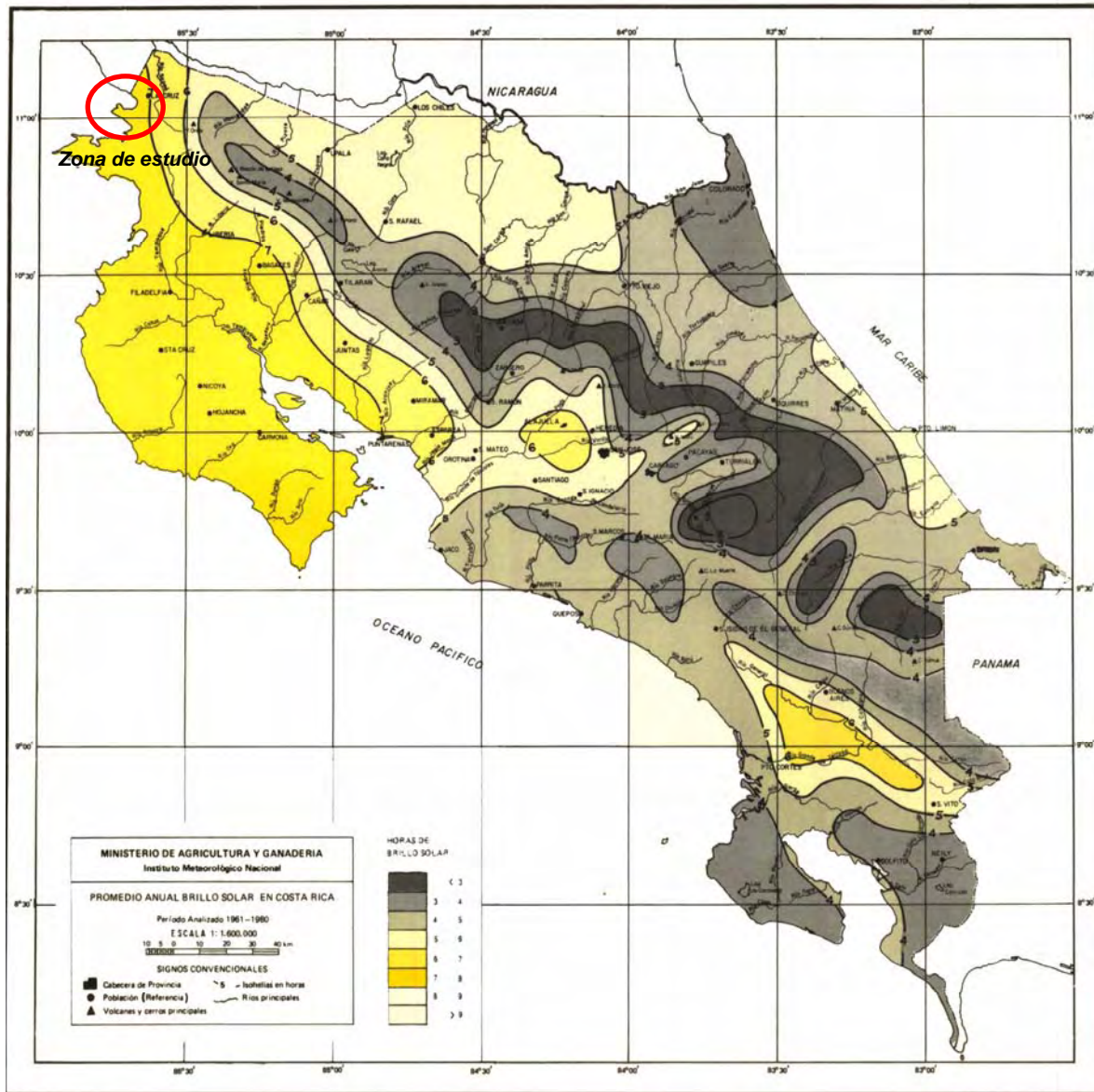
Figura -25. Precipitación promedio anual en Costa Rica y en la zona de estudio.



Fuente: ICE. Tomado del Balance Hídrico Superficial de Costa Rica, 1970-2002 (Documento Técnico Unesco No. 10, Programa Hidrológico Internacional para Latinoamérica y el Caribe, 2007).

La zona presenta un brillo solar promedio de 7,3 horas descrito en la tabla X, lo cual coincide muy bien con el determinado en el mapa del IMN para el año 1983, en donde para la zona de estudio se registra un promedio anual de entre 7 y 8 horas diarias. (IMN, datos analizados para periodo 1961-1980, figura 26).

Figura -26. Brillo solar promedio anual en Costa Rica y en la zona de estudio.



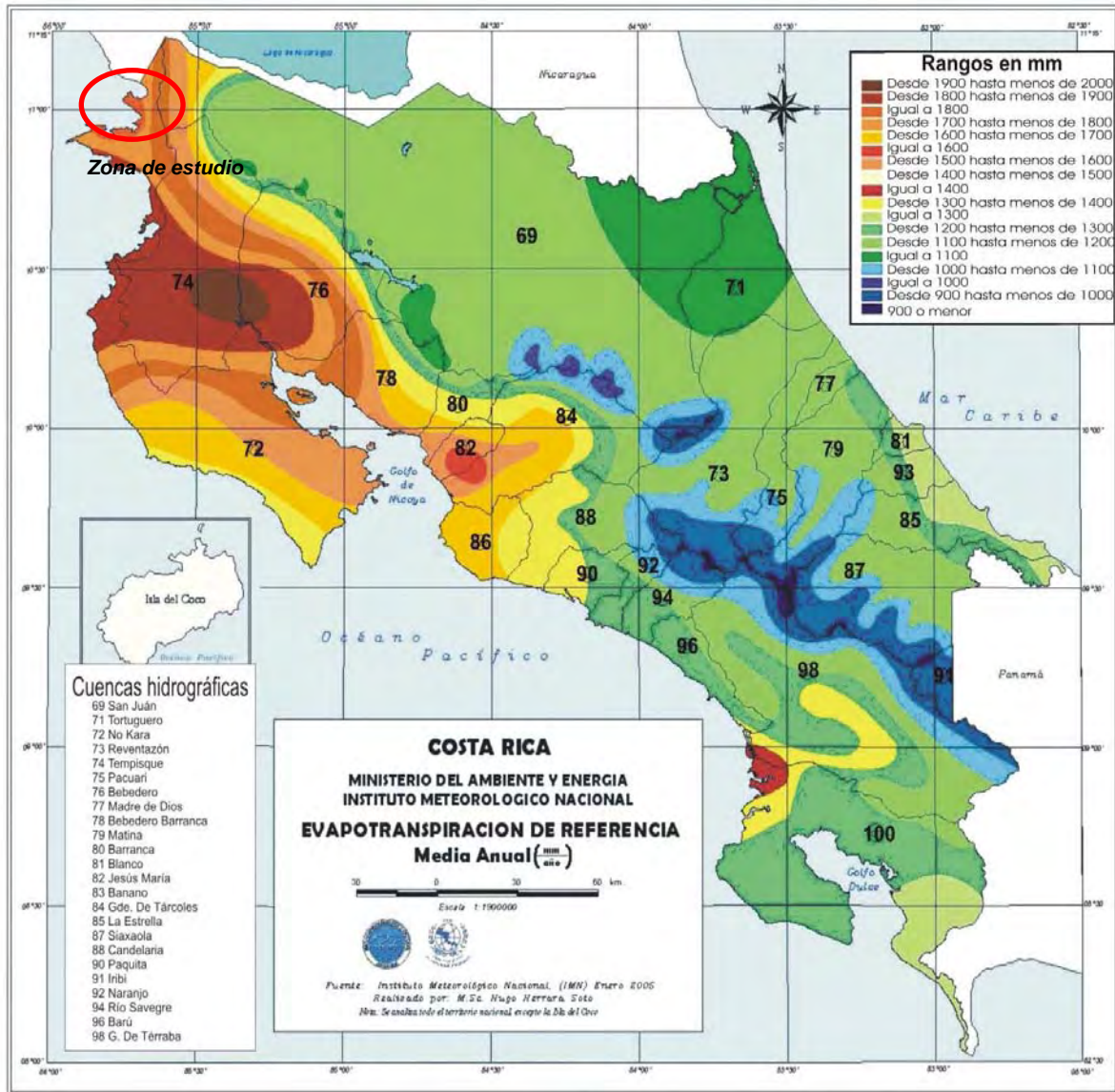
Fuente: IMN, Atlas meteorológico Nacional, 1981.

4.2.2 Evapotranspiración potencial de referencia

Según el mapa del Balance Hídrico Nacional (UNESCO, 2008), la zona se ubica en el rango de evapotranspiración de 1700 y 1800 mm, (ver figura 27) y corresponde al régimen de provincia seca en donde la evapotranspiración potencial supera a la precipitación anual.

Estos datos se corroborarán más adelante en este informe realizando los cálculos con base en distintos métodos.

Figura -27. Evapotranspiración de referencia



Fuente: UNESCO, Balance Hídrico Superficial de Costa Rica, 1970-2002 (Documento Técnico No. 10, Programa Hidrológico Internacional para Latinoamérica y el Caribe, 2007).

4.3 Balance hídrico de suelos

En el mapa 2 se presenta el modelo de elevación digital de la zona de estudio y en el 2.2 el mapa de pendientes. Se nota como la zona producto del fallamiento y la erosión ha generado un paisaje muy interesante con pequeñas colinas, flatirones, así como pequeñas zonas de depósito aluvial que se pueden observar en el mapa de pendientes en color verde. Por otro lado en el mapa 3 se presenta la capacidad de uso del suelo, la cual permite cotejar con la información que aporta el uso del suelo actual.

En el mapa 4 se presenta la información de la distribución de pozos del SENARA que se analizaron y una tabla con la información obtenida de estos.

4.3.1 Uso de suelo actual

En el mapa 5 se presenta la distribución de usos de suelo en la zona de estudio. En el mapa 5.1 se presenta además la foto aérea mediante al cual se realizó el uso del suelo del sitio. Como se observa la distribución es equitativa entre zonas de bosque caducifolio como se presentó en el apartado de las zonas de vida, y un uso intensivo de pastos.

Es importante citar que el tipo de bosque se da en la zona es poco denso, y en algunos casos se combina con uso de ganadería. Es decir un uso relativamente mixto. Por otro lado se registran potenciales zonas de uso urbano pero de pequeño porcentaje, así como un pequeño parche de uso agrícola, el cual no se da en la zona con predominancia producto principalmente de la escasez hídrica que se da.

Esto es un factor importante que revela una discrepancia entre la capacidad de uso del suelo definida por MAG – INTA a escala 1: 50 000, en donde se da una importante prevaencia de uso sugerido para actividades agrícolas, el cual se presenta en el mapa 3 presentado previamente.

Para efectos de análisis se considerará la zona con una distribución de uso de 50% bosque y 50% pastos. En la figura 28 se puede observar los paisajes típicos de uso del suelo que se pueden observar en la zona de estudio durante el mes de abril y mayo, correspondientes con zonas de bosque caducifolio y con pastos prácticamente secos durante estos meses.

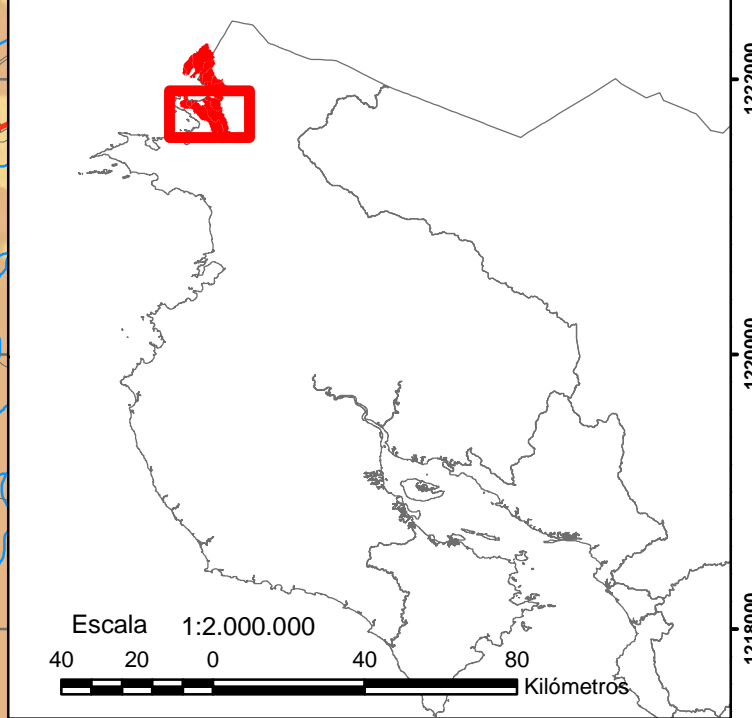
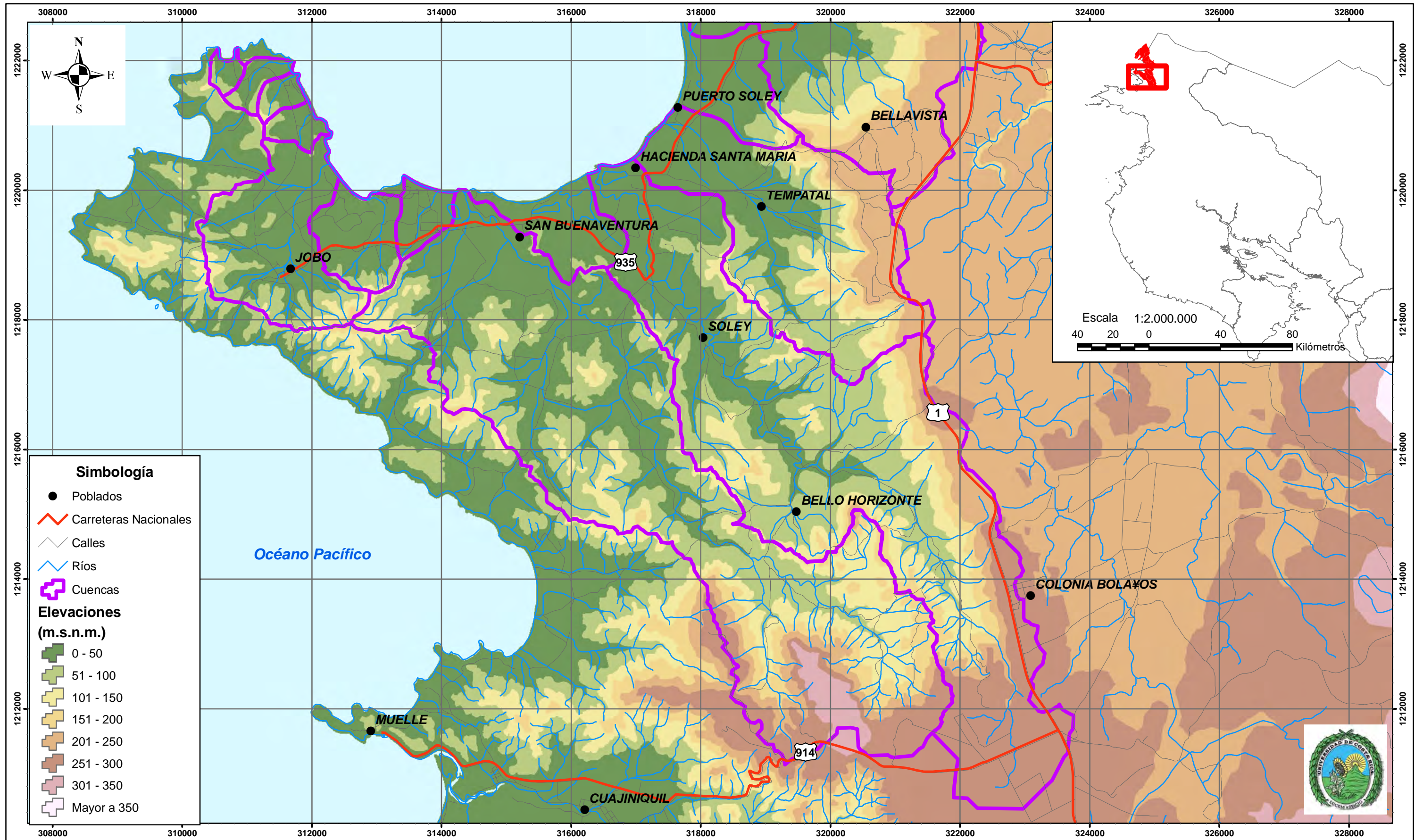
Figura -28. Uso de suelo típico en la península descartes en la Cruz Guanacaste.



4.3.2 Infiltración

Se realizaron un total de seis pruebas de infiltración, de las cuales se obtuvieron resultados para suelos de zonas de pastos, de bosque y semiurbanas.

De ellos tres fueron realizados en las zona del Jobo y tres en la zona de Soley para obtener representatividad. En el mapa 5.2 se presenta la distribución de sitios en donde se realizaron pruebas de suelos para la gira realizada. A continuación se presentan los resultados principales de los análisis de infiltración.



Simbología

- Poblados
- Carreteras Nacionales
- Calles
- Ríos
- Cuencas

Elevaciones (m.s.n.m.)

- 0 - 50
- 51 - 100
- 101 - 150
- 151 - 200
- 201 - 250
- 251 - 300
- 301 - 350
- Mayor a 350

Mapa 2: Elevaciones de la Zona de estudio. *Estudio Hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz*

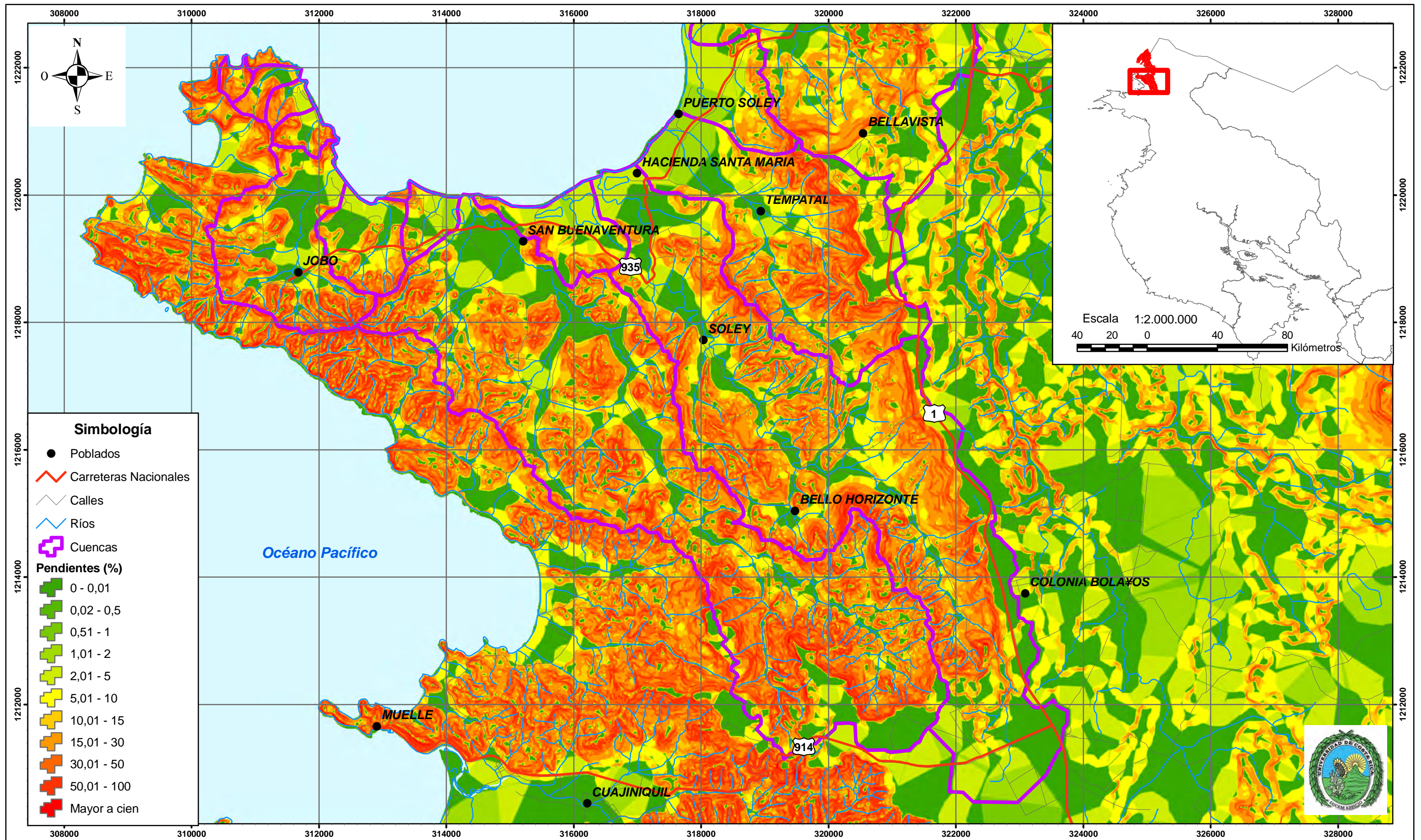


Escala 1:55.000
Proyección CRTM05

Fuente: Hojas 1:50 000 IGN
El Autor

*Curso Manejo de Recurso Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*





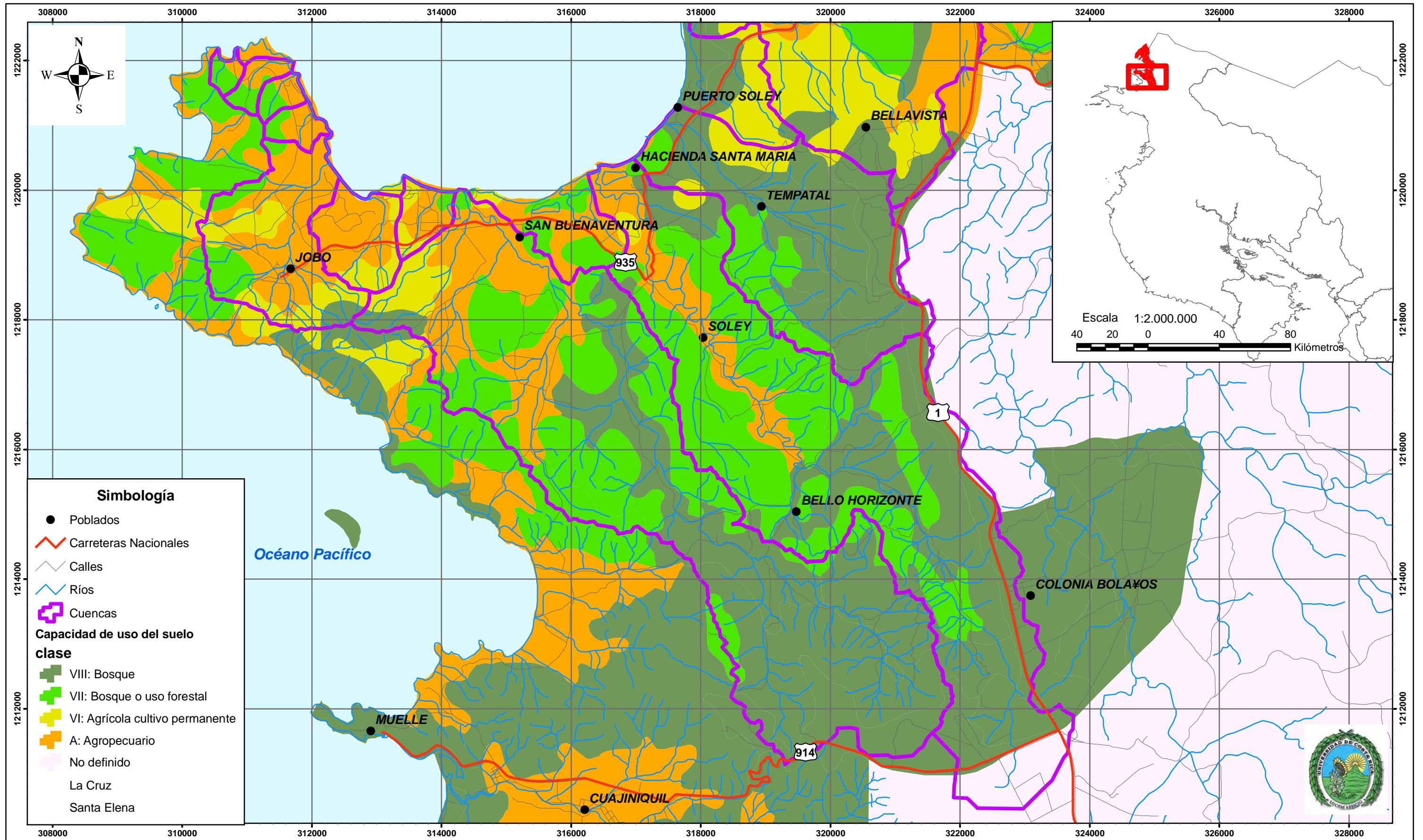
Mapa 2.2: Pendientes de la zona de estudio. *Estudio Hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz*

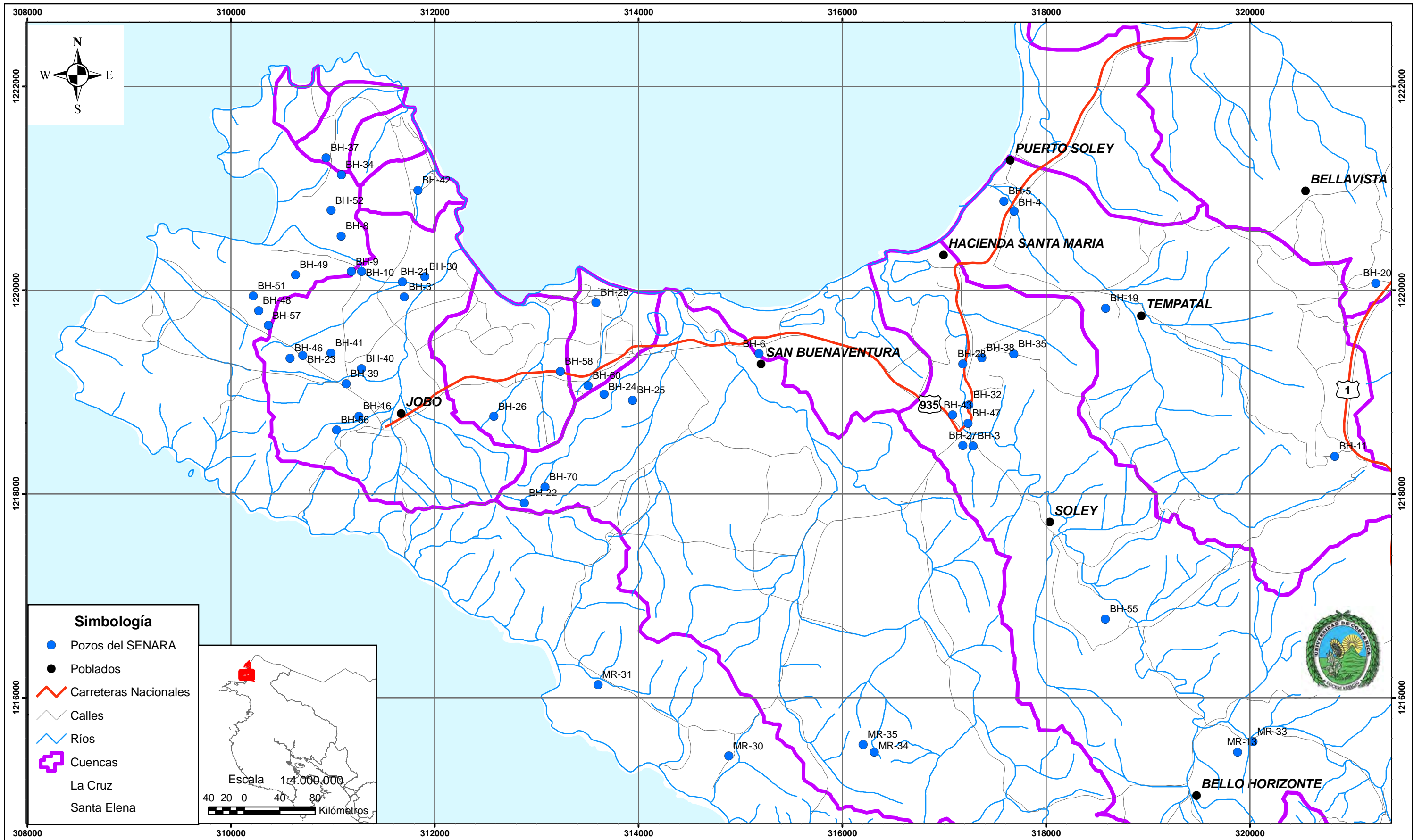
1 0,5 0 1 2 Kilómetros

Escala 1:55.000
Proyección CRTM 05

Fuente: Hojas 1:50 000 IGN
El Autor

*Curso Manejo de Recursos Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*





308000
1222000
1220000
1218000
1216000
308000

310000
310000
310000
310000
310000
310000

312000
312000
312000
312000
312000
312000

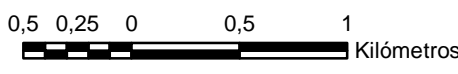
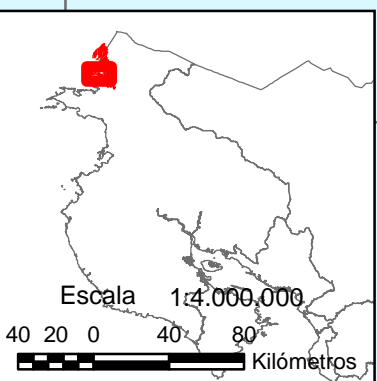
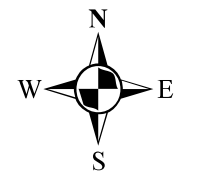
314000
314000
314000
314000
314000
314000

316000
316000
316000
316000
316000
316000

318000
318000
318000
318000
318000
318000

320000
320000
320000
320000
320000
320000

1222000
1220000
1218000
1216000
1216000
1216000



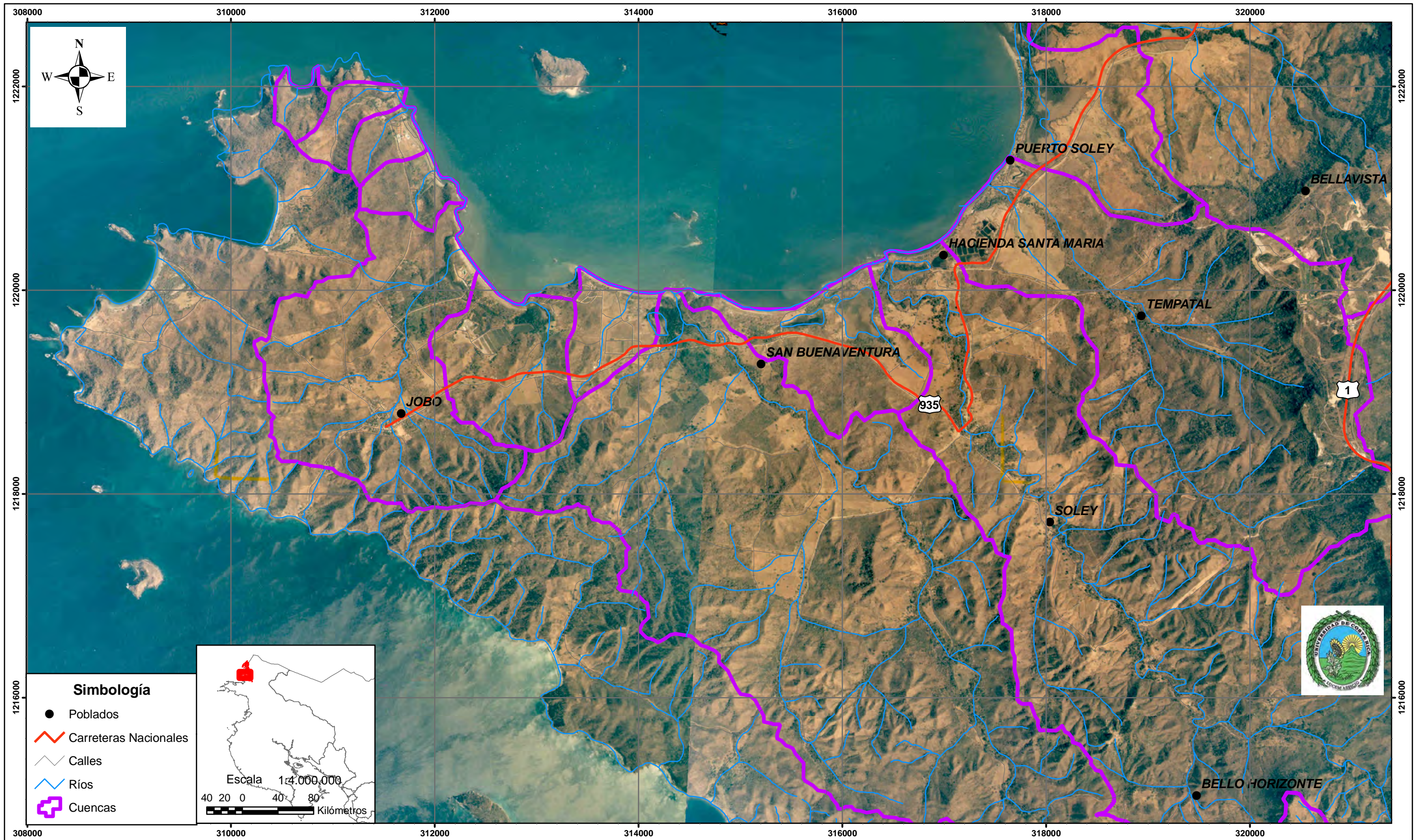
Escala 1:35.000
Proyección CRTM05

Fuente: Hojas 1:50 000 IGN EGOO

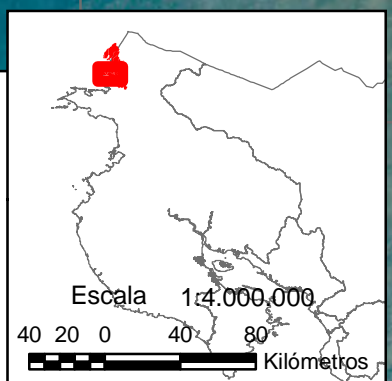
Curso Manejo de Recurso Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos

Tabla: Información de pozos de SENARA y otros pozos artesanales y de AyA recopilada en el campo.

Código de Pozo	Responsable	Profundidad total del pozo	Coordenadas Lambert		Niveles		Caudal l/s	Parámetros del acuífero	
			Este (x)	Norte (y)	Nivel estatico	Nivel Dinamico		Valor de transmisividad (m2/dia)	Conductividad hidráulica (m/dia)
BH-9	I.T.C.O	11,8	347400	334600	6,7	9,2	0,3	0,0	0,0
BH-8	I.T.C.O	4,5	347300	334950	1,8	3,9	0,3	15,4	0,0
BH-70	Maritta Alvarado V	60,0	349605	333364	9,5	24,6	2,9	20,0	0,0
BH-69	Maritta Alvarado V	25,0	362735	336842	3,3	10,8	0,0	88,0	5,0
BH-68	Maritta Alvarado V	35,0	362801	336894	3,6	12,0	2,0	88,0	3,5
BH-67	Maritta Alvarado V	25,0	362773	336854	3,2	9,9	2,8	220,0	5,0
BH-66	Maritta Alvarado V	41,0	362615	336842	10,9	0,0	0,0	213,0	9,7
BH-65	Maritta Alvarado V	35,0	362796	336845	3,9	11,6	4,7	246,0	10,0
BH-64	Maritta Alvarado V	35,0	362814	336795	2,6	7,5	4,5	402,0	17,0
BH-63	Maritta Alvarado V	120,0	362825	336842	2,5	12,3	4,5	433,0	8,3
BH-62	Maritta Alvarado V	35,0	362821	336889	3,1	14,7	3,6	72,0	2,8
BH-32	MCH	3,0	353460	333300	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
BH-31	MCH	18,0	347920	334350	3,7	8,7	0,8	0,0	0,0
BH-29	MCH	40,0	349800	334300	10,1	21,2	1,2	0,0	0,0
BH-28	MCH	36,0	353400	333700	3,3	6,6	3,0	0,0	0,0
BH-27	MCH	40,0	353400	332900	4,0	5,3	2,7	0,0	0,0
BH-25	MCH	30,0	350160	333340	8,5	21,0	0,6	0,0	0,0
BH-24	Galbi Club S.A	30,0	349880	333400	8,0	21,0	0,6	4,8	0,0
BH-23	Inversiones Sonjol	30,0	346924	333775	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
BH-21	Ecoplaya S.A	12,0	347900	334500	5,5	0,0	0,2	0,0	0,0
BH-20	Rancho Caballo Blanco S.A	85,0	357450	334500	31,9	38,0	3,2	51,8	0,0
BH-18	Persona de Costa Rica	100,0	371900	335400	24,0	24,0	4,0	0,0	0,0
BH-17	AYA	95,0	359700	336250	12,0	26,0	8,0	57,1	0,0
BH-16	Zeidy Calderon Umaña	40,0	347475	333180	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
BH-15	Jose Luis Tinoco Mora	51,0	359600	346500	12,0	35,0	1,0	0,0	0,0
BH-13	AyA	80,0	359650	336170	4,4	37,5	10,0	0,0	0,0
BH-10	I.T.C.O	9,2	347500	334600	3,5	7,6	0,6	15,3	0,0
AYA 96-14	AYA	28,0	353300	333200	5,6	17,2	4,0	34,5	0,0
AyA 07-08	AYA	60,0	353300	333200	3,8	33,1	5,8	19,6	0,0
AyA 04-07	AYA	40,0	354800	331200	8,4	14,7	5,0	79,5	0,0
AyA 00-5	AYA	21,0	353900	333800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pozo "contaminado" AyA	0,0	355132	331078	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pozo Artesanal Maria Loria	6,5	352762	332330	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pozo Artesanal de don Roger	4,8	353982	335236	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pozo Blanca	0,0	348792	333543	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pozo Artesanal Aleman Aleman	0,0	347816	333040	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pozo Artesanal Vargas Jiménez	0,0	347776	333062	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pozo Artesanal Cabezas Jiménez	0,0	347535	333070	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0

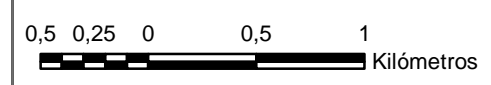


- Simbología**
- Poblados
 - Carreteras Nacionales
 - Calles
 - Ríos
 - Cuencas



Mapa 5:1 Fotografías aéreas de la zona de estudio.

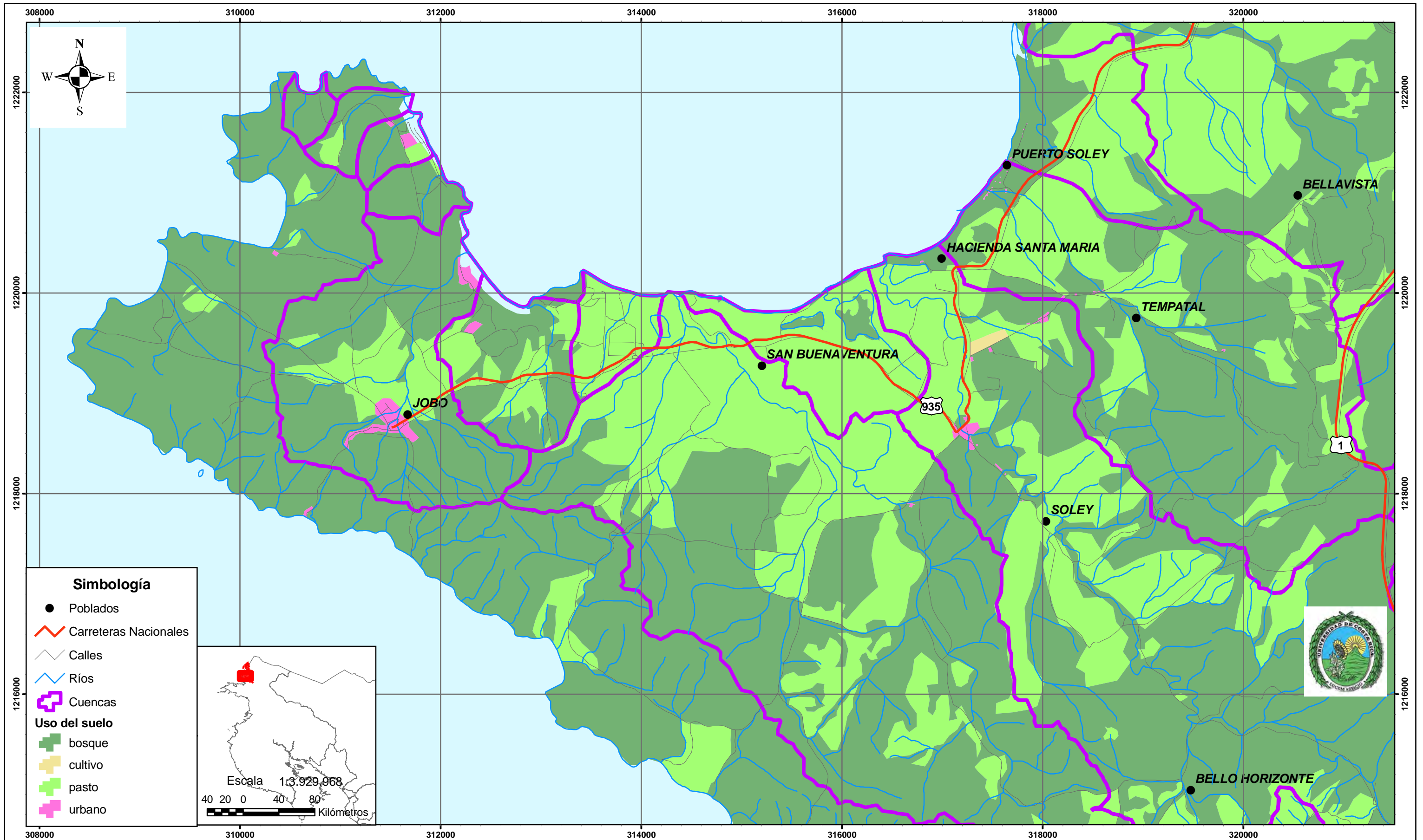
Estudio Hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz



Escala 1:35.000
Proyección CRTM05

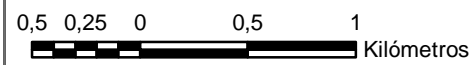
Fuente: Propia a partir de Fotos Terra 1:25 000, 1998. JSM

*Curso Manejo de Recurso Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*



Mapa 5:2 Uso del suelo de la zona de estudio.

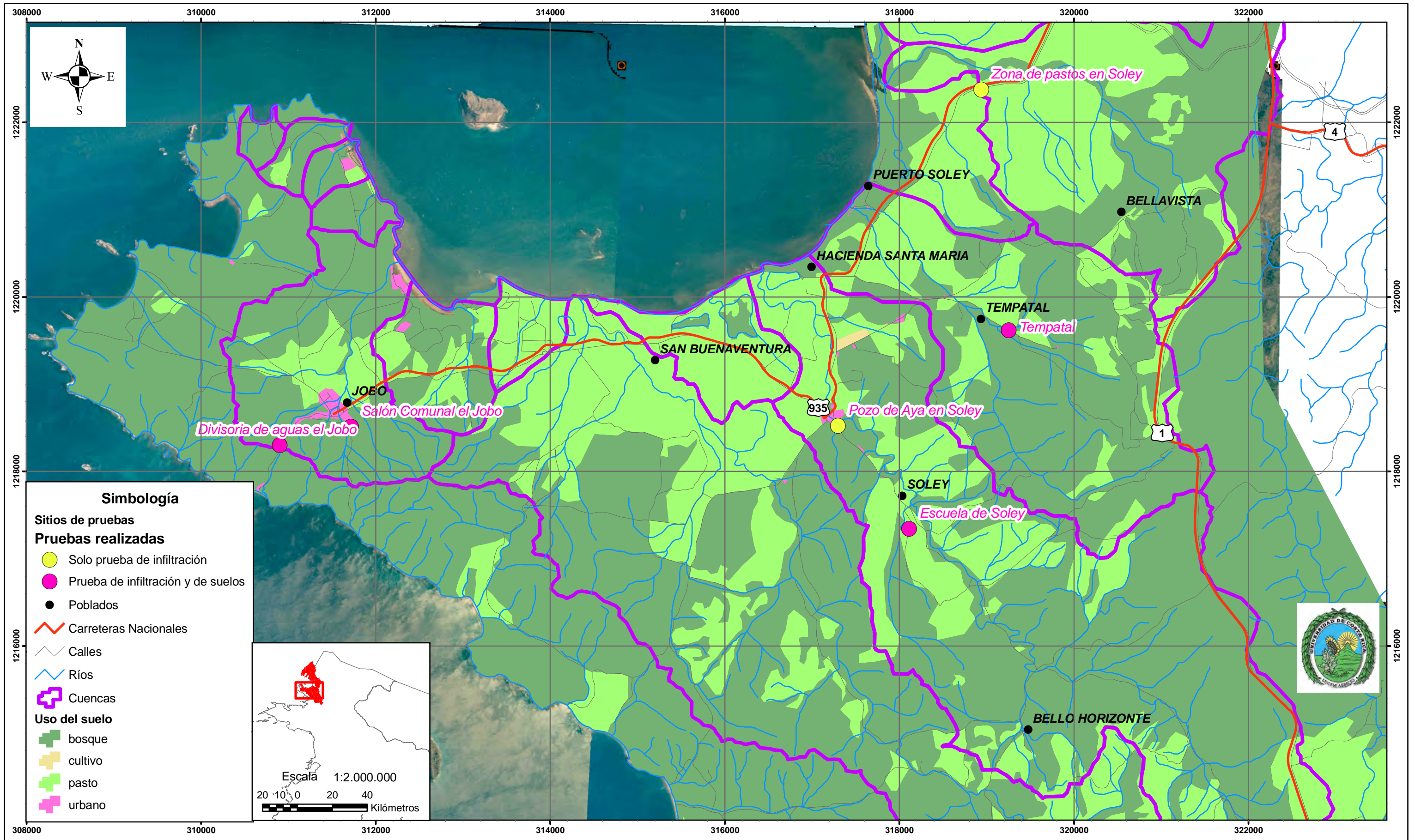
Estudio Hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz



Escala 1:35.000
Proyección CRTM05

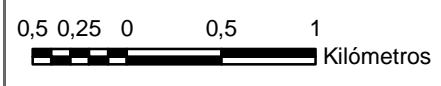
Fuente: Propia a partir de Fotos Terra 1:25 000, 1998. JSM

*Curso Manejo de Recurso Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*



Mapa 5:2 Pruebas realizadas en el campo de análisis de suelos e infiltración.

Estudio Hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz



Escala 1:40.000
Proyección CRTM05

Fuente: Propia a partir de Fotos Terra 1:25 000, 1998. JSM

*Curso Manejo de Recurso Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*



Tabla -8. Resultados para la prueba de infiltración en la zona de la Divisoria de aguas el Jobo

Tiempo (min)	h (cm)	$\Delta t(\text{min})$	$\Delta h(\text{min})$	Tasa (cms/min)
0	7,5			
1	8,5	1	1,00	1
2	9,4	0,9	1,00	0,9
3	10,13	0,73	1,00	0,73
6	12,6	0,7	1,00	0,7
7	13,3	0,7	1,00	0,7
9	14,7	1,4	2,00	0,7
11	15,9	1,2	2,00	0,6
13	17,1	1,2	2,00	0,6
15	18,1	1	2,00	0,5
20	20,5	2,4	5,00	0,48
25	22,5	2	5,00	0,4

Gráfico -2. Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo aplicada en la divisoria de Aguas el Jobo.

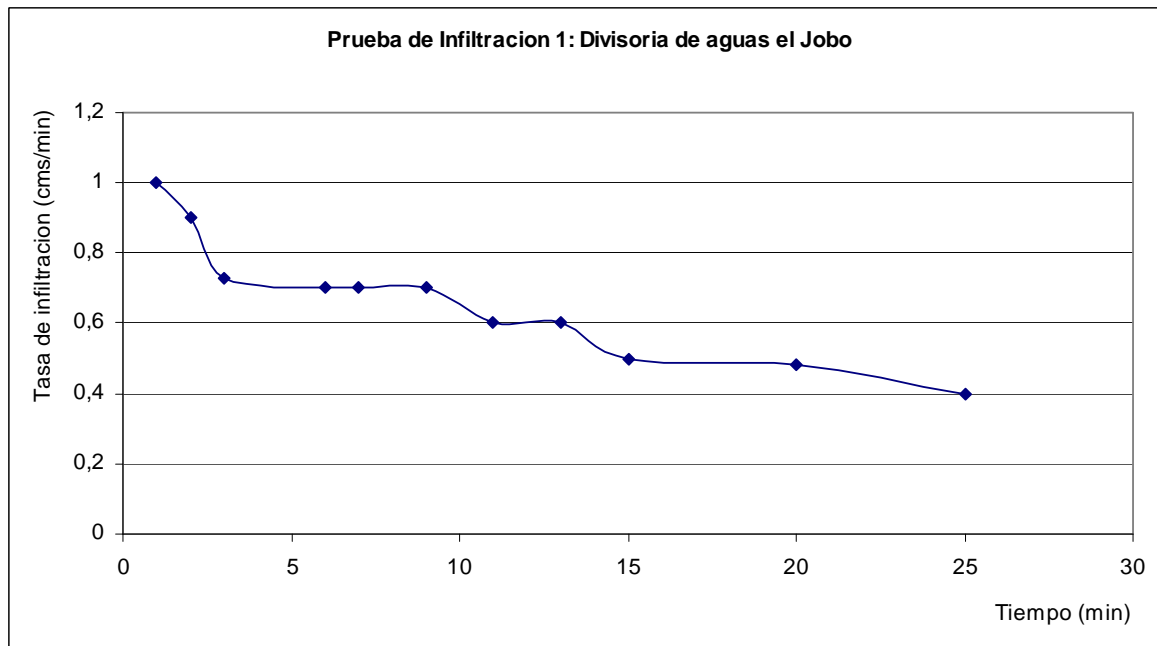




Tabla -9. Resultados para la prueba de infiltración en la zona de salón comunal el Jobo

Tiempo (min)	h (cm)	Δt (min)	Δh (min)	Tasa (cms/min)
0	7,5			
1	8,6	1,1	1	1,1
2	9,5	0,9	1	0,9
3	10,4	0,9	1	0,9
4	11	0,6	1	0,6
5	11,8	0,8	1	0,8
6	12,4	0,6	1	0,6
7	13,1	0,7	1	0,7
8	13,8	0,7	1	0,7
9	14,4	0,6	1	0,6
10	15	0,6	1	0,6
12	16,1	1,1	2	0,55
14	17,2	1,1	2	0,55
15	17,6	0,4	1	0,4
20	19,8	2,2	5	0,44
25	21,5	1,7	5	0,34
30	23	1,5	5	0,3
35	24,3	1,3	5	0,26
40	25,3	1	5	0,2

Gráfico -3. Resultados para la prueba de infiltración en el salón comunal el Jobo

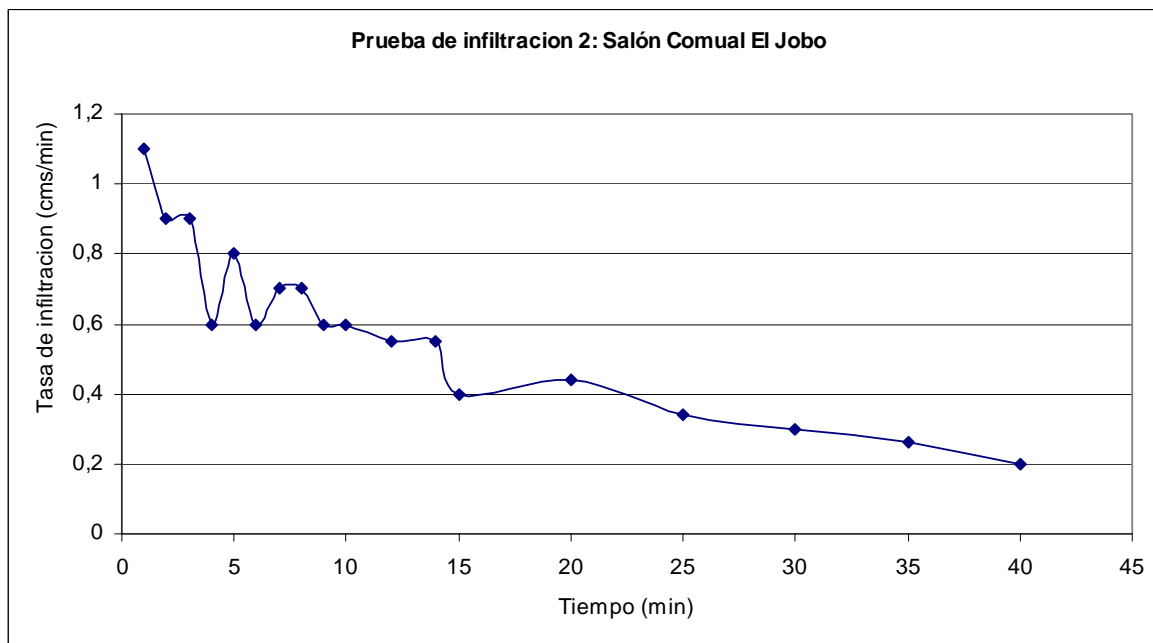




Tabla -10. Resultados para la prueba de infiltración para la zona de Tempatal

Tiempo (min)	h (cm)	Δt (min)	Δh (min)	Tasa (cms/min)
0	6,5			
1	6,9	0,4	1	0,4
2	7,4	0,5	1	0,5
3	7,8	0,4	1	0,4
4	8,1	0,3	1	0,3
5	8,4	0,3	1	0,3
7	9,1	0,7	2	0,35
9	9,7	0,6	2	0,3
11	10,3	0,6	2	0,3
13	11	0,7	2	0,35
15	11,5	0,5	2	0,25
20	12,9	1,4	5	0,28
25	14,3	1,4	5	0,28
30	15,3	1	5	0,2
35	16,5	1,2	5	0,24
40	17,5	1	5	0,2
45	18,5	1	5	0,2

Gráfico -4. Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo en la zona de Tempatal

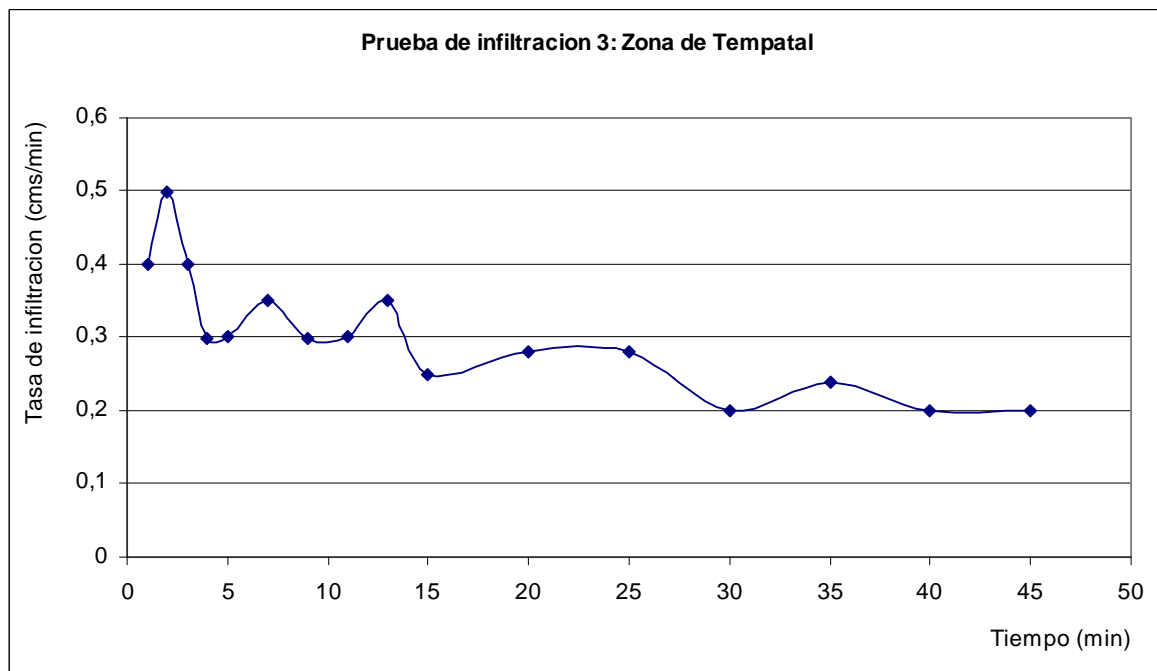




Tabla -11. Resultados para la prueba de infiltración para la zona de Pastos en Soley

Tiempo (min)	h (cm)	$\Delta t(\text{min})$	$\Delta h(\text{min})$	Tasa (cms/min)
1	10,7			
2	10,7	0	1	0
3	10,7	0	1	0
4	10,7	0	1	0
5	10,7	0	1	0
7	10,7	0	2	0
9	10,7	0	2	0
10	10,7	0	1	0
15	10,6	0,1	5	0,02
20	10,6	0	5	0
25	10,6	0	5	0
30	10,6	0	5	0
40	10,4	0,2	10	0,02
50	10,4	0	10	0
60	10,4	0	10	0

Gráfico -5. Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo en la zona de Pastos en Soley.

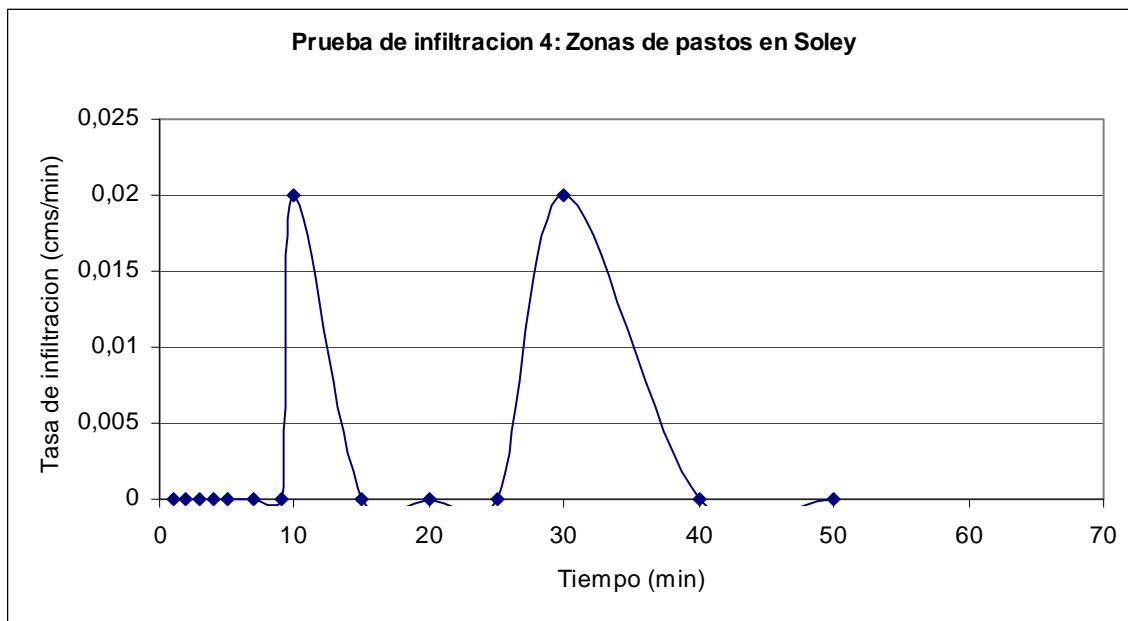




Tabla -12. Resultados para la prueba de infiltración para la zona del Pozo de AyA en Soley.

Tiempo (min)	h (cm)	Δt (min)	Δh (min)	Tasa (cms/min)
1	8,2			
2	8,4	0,2	1	0,2
3	8,4	0	1	0
4	8,5	0,1	1	0,1
5	8,7	0,2	1	0,2
7	8,9	0,2	2	0,1
9	9,3	0,4	2	0,2
10	9,4	0,1	1	0,1
15	9,8	0,4	5	0,08
20	10,3	0,5	5	0,1
25	10,6	0,3	5	0,06
30	11,1	0,5	5	0,1
40	11,8	0,7	10	0,07
50	12,6	0,8	10	0,08

Gráfico -6. Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo en la zona del pozo de AyA en Soley.

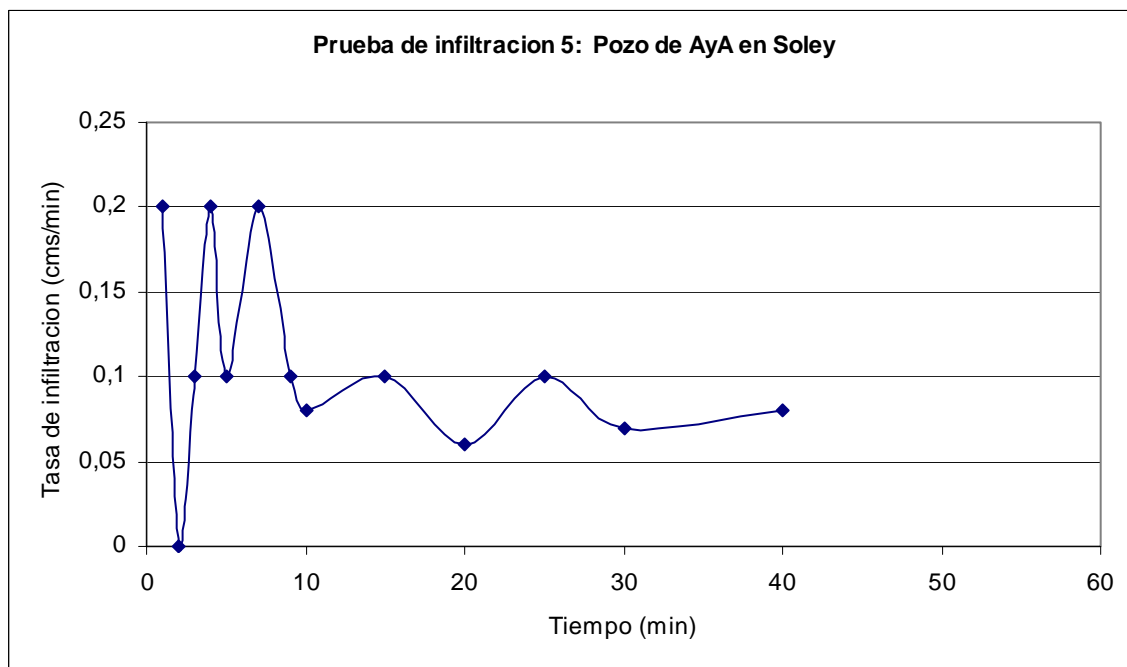




Tabla -13. Resultados para la prueba de infiltración para la zona de la Escuela de Soley.

Tiempo (min)	h (cm)	Δt (min)	Δh (min)
1	10,5		
2	10,5	1	0
3	10,5	1	0
4	10,5	1	0
5	10,7	1	0,2
7	10,8	2	0,05
9	10,9	2	0,05
10	10,9	1	0
15	11,1	5	0,04
20	11,4	5	0,06
25	11,7	5	0,06
30	12	5	0,06
40	12,4	10	0,04
50	13	10	0,06

Gráfico -7. Resultados para la prueba de infiltración en doble anillo en la zona de la Escuela de Soley.

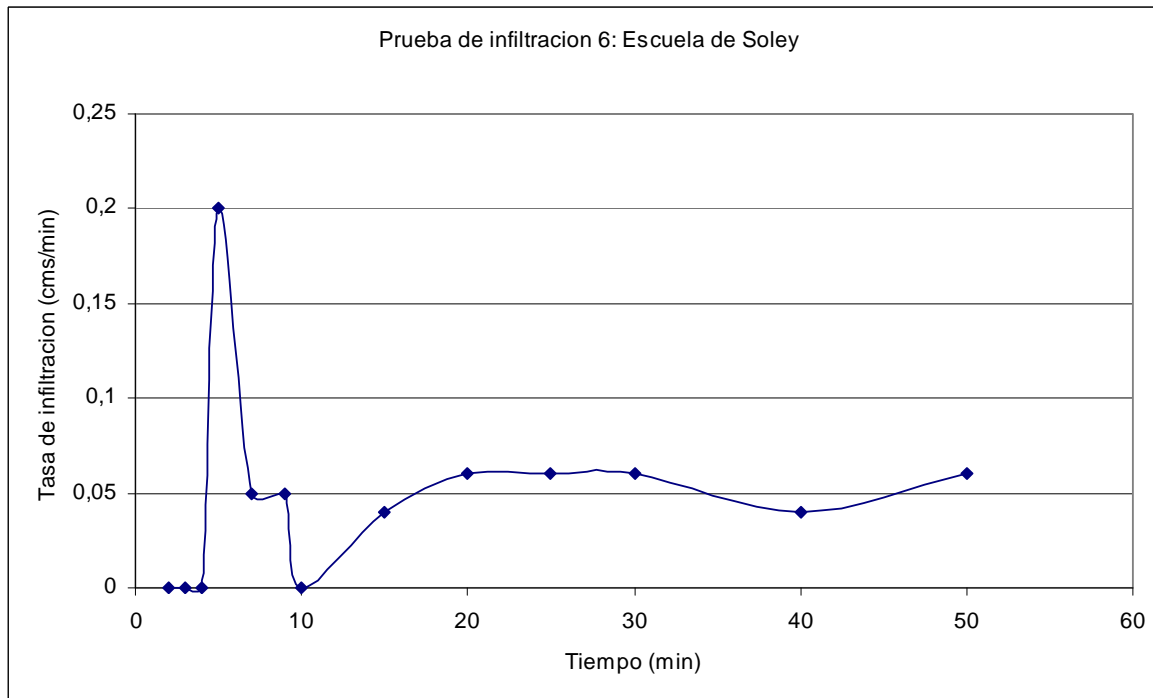




Tabla -14. Resumen de resultados para las pruebas de infiltración.

Sitio	infiltración (cm/min)	Infiltración (mm/día)
Divisoria de aguas el Jobo	0,4	5760
Salón Comunal del Jobo	0,2	2880
Tempatal	0,2	2880
Pastos en Soley	0,01	144
Pozo de AyA en Soley	0,08	1152
Escuela de Soley	0,05	720

Como se puede observar todos estos valores son bastante bajos. Muchos de ellos se ven directamente afectados además de por los efectos de la compactación de los suelos por actividades ganaderas dadas en los sitios.

Así mismo por las condiciones naturales del suelo, producto del material y el proceso de formación de la arcilla que se genera ahí, se dan este tipo de condiciones de poca infiltración. Es recomendable tomar un valor de infiltración de promedio de unos 1200 mm/día para la realización del estudio.

4.3.3 Análisis de suelos

4.3.3.1 Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo es una constante característica de cada suelo y depende fundamentalmente de la textura, cantidad de materia orgánica y grado de compactación de éste. En el suelo provisto de un buen drenaje interno, la máxima capacidad de almacenamiento de agua está representada por la capacidad de campo.

4.3.3.2 Punto de marchitez permanente (PMP)

Se conoce como tal al porcentaje o nivel de humedad del suelo al cual las plantas se marchitan en forma permanente. Si el suelo no recibe nuevos aportes de agua, la evaporación desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya hasta llegar a un nivel en el que las raíces ya no pueden extraer agua del suelo.

Tabla -15. Datos de retención de humedad de las pruebas de laboratorio.

Muestra N°	Descripción	Capacidad de campo (CC)	Punto de marchitez permanente (PMP)	(%) A. Útil
1	Tacotal	40.33	22.81	17.52
2	Comunal El Jobo	41.07	23.19	17.88
3	Parte aguas El Jobo	40.85	21.56	19.29
4	Escuela Soley	39.97	21.18	18.79

Fuente: Esta pruebas fueron realizadas en el INTA.



Tabla -16. Resultados de análisis químico de suelos

Muestra Nº	cmol(+)/ l					mg/ l				
	pH	Al	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe
1	6.1	0.15	16.7	3.4	0.86	2	1.8	7	3	16
2	6.2	0.15	12.9	2.6	1.55	35	8.3	2	2	14
3	6.2	0.15	11.8	2.4	1.23	7	2.3	6	5	28
4	5.9	0.15	13.9	2.9	0.97	12	2.7	6	2	32

Fuente: Estas pruebas fueron realizadas en el INTA.

Para efectos del balance hídrico se tomará una capacidad de campo de 22% y un punto de marchitez de 18%.

Se observa de esos datos que el suelo retiene muy poca agua, característico de esta zona.

4.3.4 Evapotranspiración

Evapotranspiración es el resultado del proceso por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, y directamente, o a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor.

El término sólo es aplicable correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación. Ante la ausencia de vegetación, sólo se puede hablar de evaporación.

La evapotranspiración (ET) es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Incluye tanto la evaporación de agua en forma sólida como líquida directamente del suelo o desde las superficies vegetales vivas o muertas (rocío, escarcha, lluvia interceptada por la vegetación), como las pérdidas de agua a través de las superficies vegetales, particularmente las hojas.

La evapotranspiración depende, entre otros, de dos factores muy variables y difíciles de medir: el contenido de humedad de suelo y el desarrollo vegetal de la planta. Por esta razón Thornthwaite (1948) introdujo el término de evapotranspiración potencial o pérdidas por evapotranspiración, en el doble supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo permanentemente completa.

Thornthwaite (1948) propone la fórmula:

$$e = 16 \times (10 \times tm/l)^a (X)$$

e: evapotranspiración mensual sin ajustar en mm (mm/mes)

tm: temperatura media mensual en ° C

I : índice de calor anual I = Sumatorio (i_j) ; j = 1, ..., 12



(que se calcula sumando los doce índices de calor mensual).

$$i_j = (tm_j/5)^{1,514} \quad (10)$$

a: parámetro que se calcula a partir de I según la expresión:

$$a = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239 \quad (X)$$

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado será preciso corregir la ETP sin ajustar "e" mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP sin ajustar para obtener la ETP según Thornthwaite (mm/mes) final:

$$ETP_{Tho} = e \times L \quad (\text{mm/mes}) \quad (X)$$

e: evapotranspiración mensual sin ajustar en mm

L: factor de corrección del número de días del mes (Nd_i) y la duración astronómica del día N_i - horas de sol:

$$L_i = Nd_i/30 \times N_i/12 \quad (X)$$

Método de Turc: Turc propuso un método sencillo, basado en la temperatura y la precipitación.

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (X)$$

Donde:

Etr: evapotranspiración real en mm/año

P: precipitación en mm/año

L: $300 + 25t + 0.05t^3$

T: temperatura media anual en °C.

Método de Holdridge: Según Holdridge, la evapotranspiración potencial (ETP), se calcula de la siguiente manera:

$$ETP = KB^\circ$$



Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial.

B° = biotemperatura media anual, mensual o diaria.

K = es una constante, que toma los valores siguientes:

$$K_{\text{anual}} = 58,93$$

De los datos obtenidos de las estaciones del I.M.N ubicadas en Santa Rosa, fue posible generar el grafico de evapotranspiración, calculado por tres métodos, Turc, Holdridge y Thornthwaite corregido.

Gráfico -8. Temperatura para la estación Santa Rosa del I.M.N.

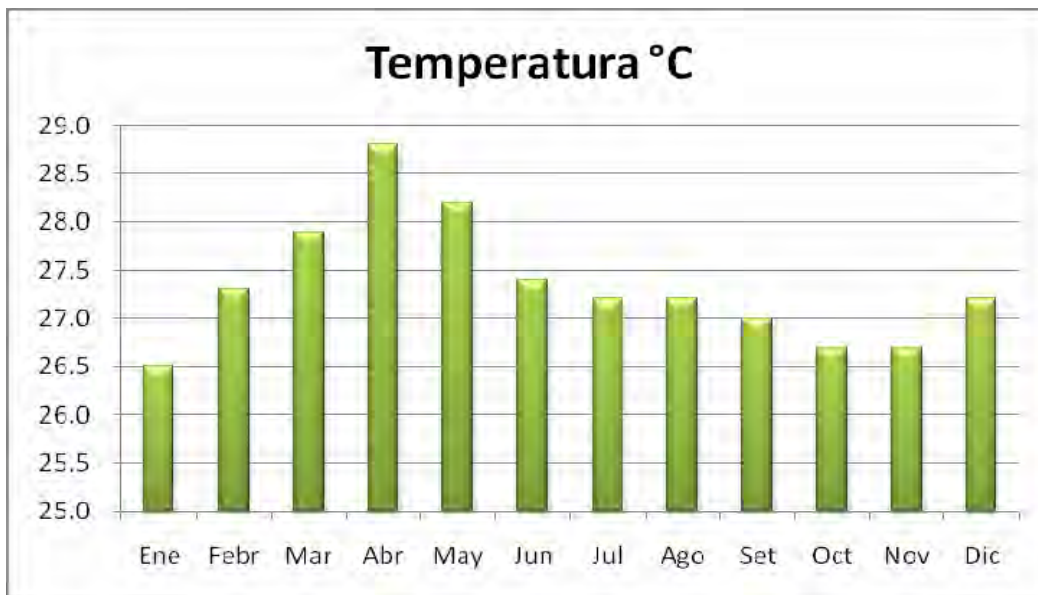




Gráfico -9. Evapotranspiración potencial calculada por distintos métodos.

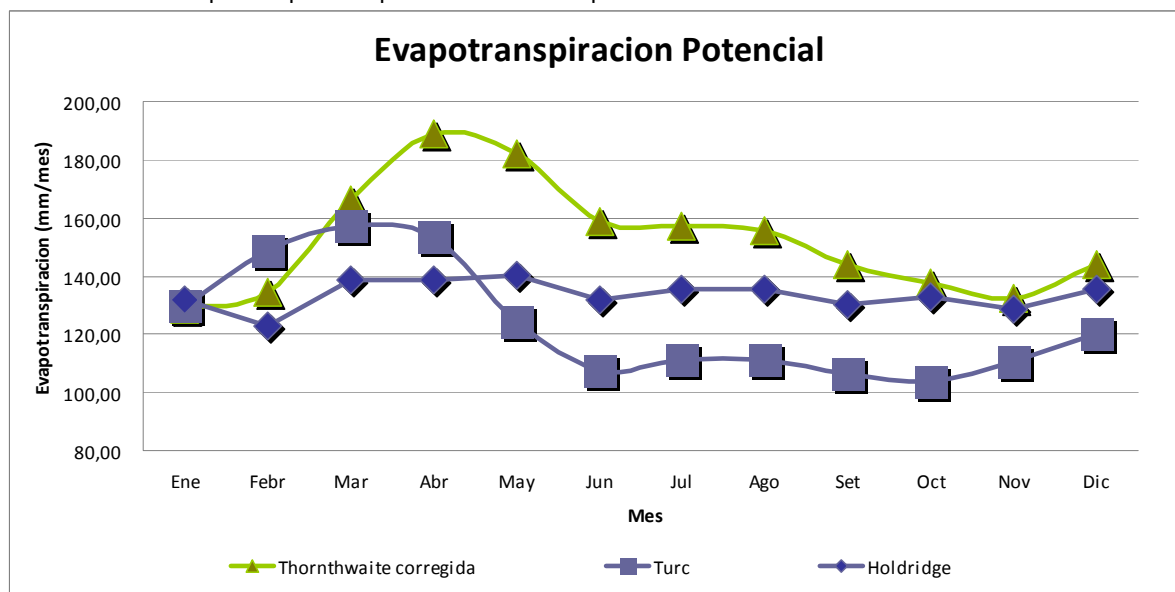


Tabla -17. Resultados de evapotranspiración.

Mes	Evapotranspiración		
	Thornthwaite corregida	Turc	Holdridge
Ene	128,4	129,5	131,9
Febr	134,4	148,9	122,7
Mar	166,0	156,9	138,9
Abr	188,7	153,3	138,7
May	181,8	124,3	140,4
Jun	158,9	107,3	132,0
Jul	157,2	111,1	135,4
Ago	155,7	111,1	135,4
Set	144,1	106,2	130,0
Oct	137,8	103,6	132,9
Nov	132,4	110,6	128,6
Dic	144,1	120,4	135,4
Total	1829,4	1483,0	1602,2

Con base en las figuras anteriores puede afirmarse que el método de Thornthwaite y Turc para el cálculo de la evapotranspiración potencial de la zona en estudio son los que más se ajustan ya que en los meses de menor precipitación presenta los valores más altos de evapotranspiración, lo cual concuerda con lo esperado.



4.3.5 Balance hídrico de suelos

En este punto es posible realizar el balance hídrico de suelos para la zona pues se disponen de todos los datos necesarios para el mismo.

Algunos elementos que se deben destacar es que:

- Se utilizará la evapotranspiración del método de Holdridge pues es la de intermedio entre los resultados obtenidos.
- Se realizará un solo balance hídrico para toda la formación.
- Se utilizará la hoja electrónica propuesta por Schosinsky.
- Se considerará el suelo como de tipo de pastos, pues es el que más se acerca a las condiciones que se presentan en campo además de que el bosque característico es caducifolio y está bastante intervenido.
- Para el cálculo de los factores por pendiente se utilizará un valor de mayor a 7%, según cuan se observa en el mapa de pendientes.
- La precipitación de referencia será la que se da en la estación Santa Rosa, dado que es la estación más cercana a la zona de estudio, como se observó se le aplicará la del año 1974, pues es la que corresponde de forma más cercana con un año normal.
- La profundidad radicular para bosques caducifolios y pastos, se tomará como 750 mm.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Punta Descartes
Fecha: Mayo de 2010
Textura de Suelo: Arcilloso - Limoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

1200,00

Kp [0.01%]

0,06

Kv [0.01%]

0,19

Kfc [0.01%]

0,98525

I [0.01%] =

1

DS (g/cm³):

1,35

PR (mm)

750,00

HSi (mm)

222,00

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

0,12

por peso

(%)

(mm)

CC 22,00 222,75

PM 18,00 182,25

(CC-PM) 4,00 40,50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1,40	0,80	0,00	1,00	236,70	219,10	51,80	151,70	832,90	133,20	14,00	17,90	1660,50
Ret [mm]	1,40	0,80	0,00	1,00	28,40	26,29	6,22	18,20	99,95	15,98	5,00	5,00	208,25
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	208,30	192,81	45,58	133,50	732,95	117,22	9,00	12,90	1452,25
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP (mm)	131,90	122,70	138,90	138,70	140,40	132,00	135,40	135,40	130,00	132,90	128,60	135,40	1602,30
HSi (mm)	182,25	182,25	182,25	182,25	182,25	222,75	222,75	200,63	222,75	222,00	222,75	182,25	
C1	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,32	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,41	1,00	0,59	0,00	0,00	
HD (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	208,30	233,31	86,08	151,88	773,45	156,97	49,50	12,90	
ETR (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	140,40	132,00	67,70	95,25	130,00	105,94	49,50	12,90	733,68
HSf (mm)	182,25	182,25	182,25	182,25	222,75	222,75	200,63	222,75	222,75	222,75	182,25	182,25	
DCC (mm)	40,50	40,50	40,50	40,50	0,00	0,00	22,12	0,00	0,00	0,00	40,50	40,50	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	27,40	60,81	0,00	16,13	602,95	10,53	0,00	0,00	717,82
NR (mm)	172,40	163,20	179,40	179,20	0,00	0,00	89,82	40,15	0,00	26,96	119,60	163,00	1133,73



Como se observa, ciertamente existe un enorme déficit hídrico en la zona, y esto queda manifestado dentro del balance hídrico. Se observa para el año que se modeló que solamente en cinco de los meses del año hay recarga potencial, y que en los siete meses restantes existe déficit hídrico.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Hidrogeología del área de estudio

En función de la geología estudiada, se puede definir que en la zona de estudio se pueden diferenciar dos unidades hidrogeológicas:

- Unidad hidrogeológica en las rocas sedimentarias de la Formación Descartes: esta unidad constituye el acuífero principal y se desarrolla en las rocas sedimentarias de la Formación Descartes. Debido a su composición (intercalación de lutitas y areniscas, muy meteorizadas), se puede decir que este acuífero es de baja permeabilidad (entre 3,5 y 10 m/d, según la información de los pozos) y que presenta un bajo potencial desde el punto de vista hidrogeológico.
- El caudal promedio que se capta en los pozos que aprovechan este acuífero es de 4 l/s. La porosidad en las rocas es secundaria por fisuras, posiblemente generadas por la meteorización física y la misma estratificación. El acuífero es de tipo libre y los niveles estáticos pueden oscilar entre 3 y 10m según la época del año. Para la zona de estudio se estima en más de 5m de profundidad.
- Unidad hidrogeológica en los sedimentos coluvio aluviales: De acuerdo con la dinámica fluvial el ambiente es de baja energía y por lo tanto predominan los materiales arenosos y finos, de muy baja permeabilidad.

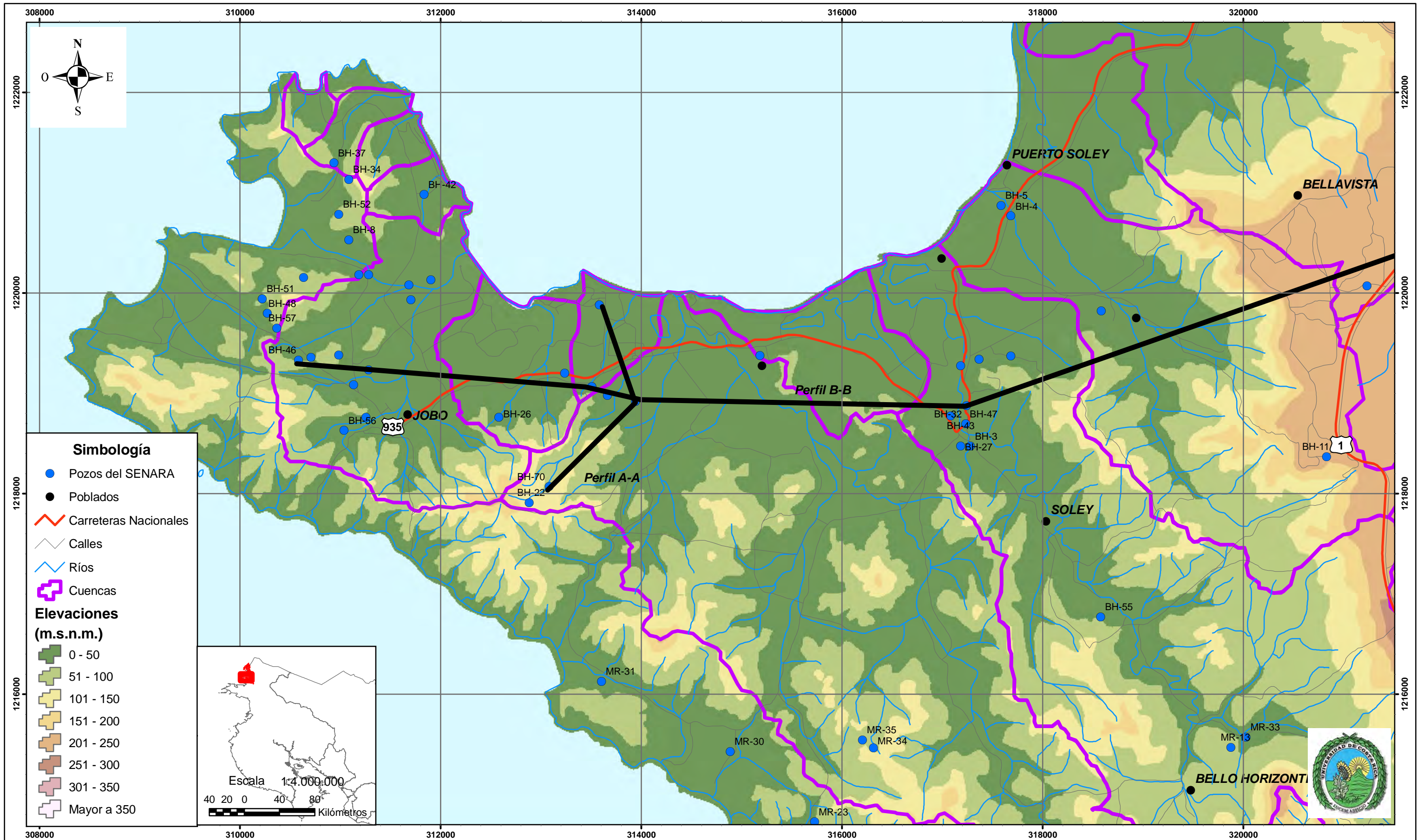
De acuerdo con el mapa de ubicación de pozos (o de elementos hidrogeológicos), la mayoría de los pozos están captando a la unidad en los sedimentos de la Formación Descartes.

Se presenta el mapa de líneas equipotenciales, en el cual se puede observar que la dirección del flujo de agua subterránea se da en dirección NE – NNW, en dirección al mar.

5.2 Modelo hidrogeológico conceptual

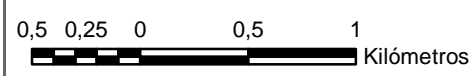
La zona de estudio está conformada por dos unidades hidrogeológicas principales, una en las rocas sedimentarias de la Formación Descartes, que constituye el acuífero principal, con una profundidad entre 5 y 10m metros, siempre por encima del nivel del mar. Este acuífero es de tipo libre o freático (figura 29 y 30).

Geológicamente corresponde con areniscas y lutitas intercaladas en estratos centimétricos, con cemento calcáreo, plegadas y de muy baja permeabilidad, donde se desarrolla un acuífero fisurado de bajo potencial. La permeabilidad de los suelos es baja con valores de 3,5 a 10 m/día. Por esta misma razón, el almacenamiento se considera bajo.



Mapa 5.3: Trazado de perfiles para modelo hidrogeológico.

Estudio Hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz



Escala 1:35.000
Proyección CRTM05

Fuente: Hojas 1:50 000 IGN
EGOO

*Curso Manejo de Recurso Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*

La recarga a las aguas subterráneas es muy baja, debido a la poca extensión de la cuenca, pero se da primordialmente de forma directa y también proveniente de las zonas más altas o serranías hacia el E-SSE de la zona de estudio.

Los abanicos coluvio aluviales, que constituyen la otra unidad hidrogeológica, se pueden considerar de bajo régimen de caudal, ya que, predominan los sedimentos finos y en menor proporción las gravas y arenas, pero en general presentan problemas mayores pues son de poco espesor.

Tal como se observó durante la gira de campo en el mes de mayo, los ríos de la zona están bastante secos, lo que es un indicativo de que el flujo base del acuífero es mínimo y sin la capacidad para mantener un flujo permanente.

La dirección del flujo de agua subterránea se da en dirección NE – NNW, en dirección al mar.

Figura -29. Perfil hidrogeológico A-A'.

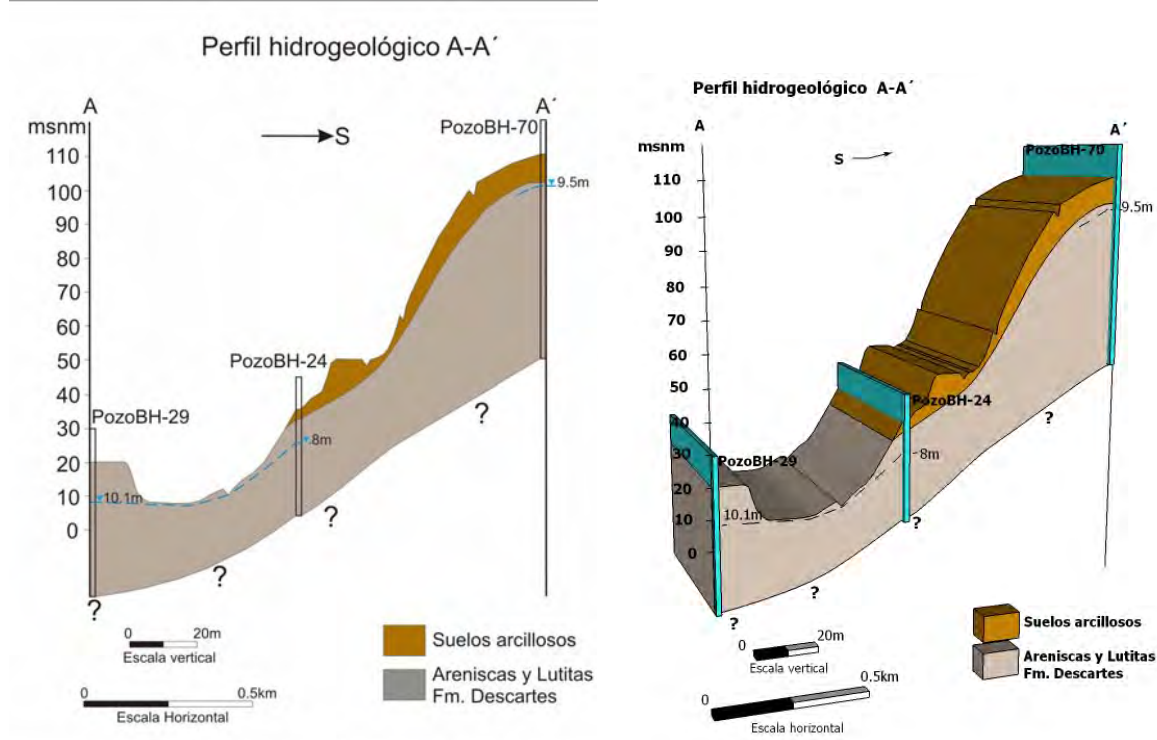
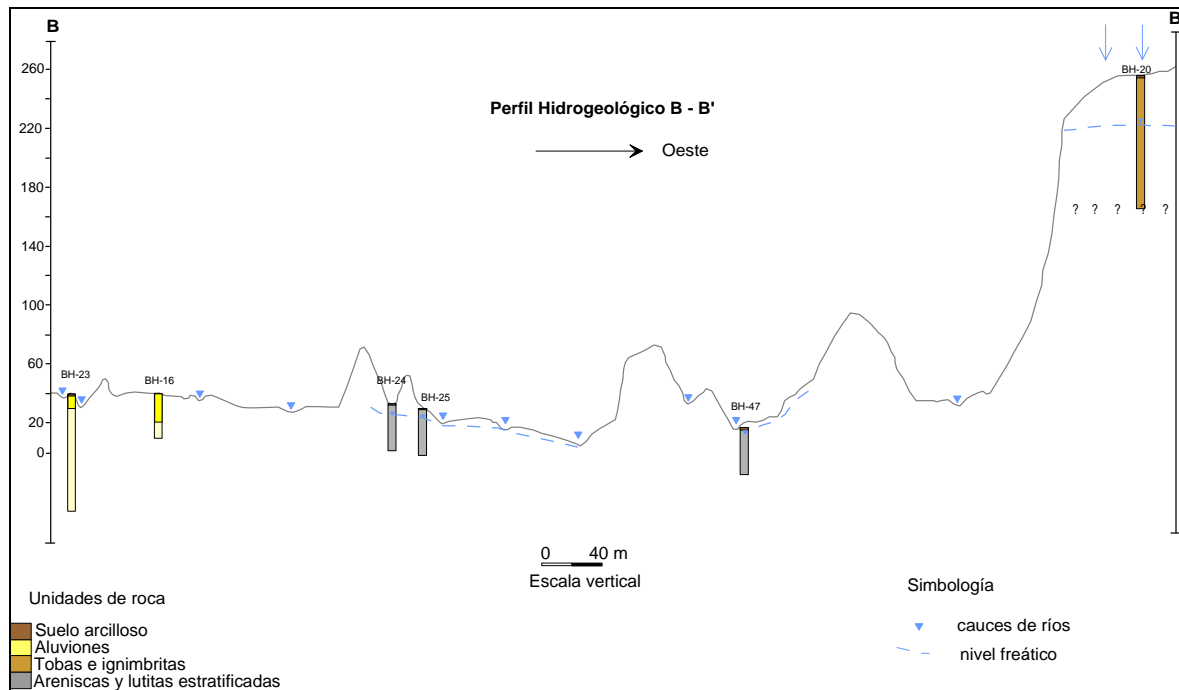


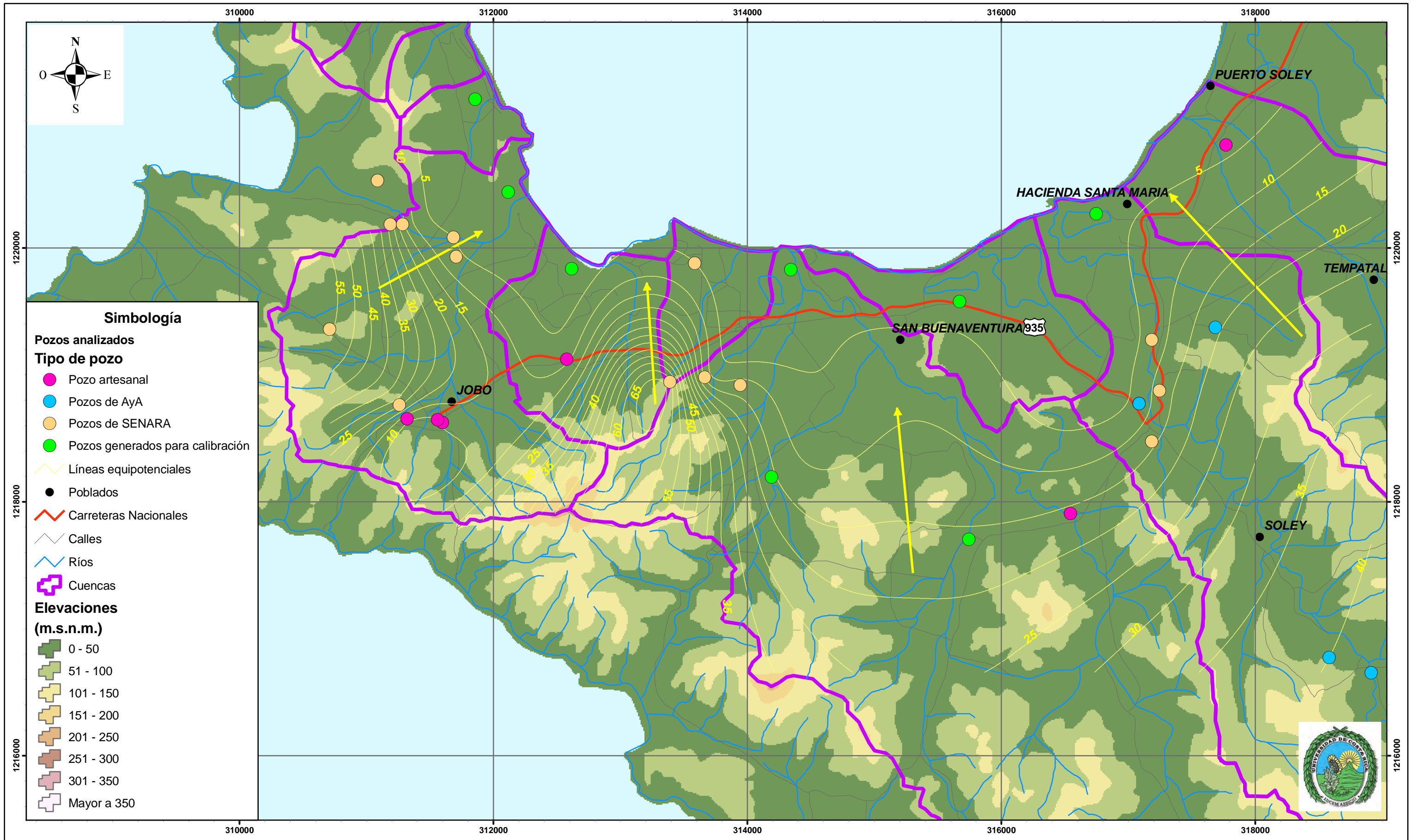


Figura -30. Perfil Hidrogeológico B-B.



Para evaluar las condiciones del sitio se presenta un mapa de isotrasmisividades, en donde predominan las que tienen valores de entre 15 y 20 m²/día.

Estos valores son bastante bajos, y ciertamente a partir de una serie de pruebas de bombeo realizadas es conveniente decir que la capacidad del acuífero para extracción de agua subterránea es muy baja.



Simbología

Pozos analizados

Tipo de pozo

- Pozo artesanal
- Pozos de AyA
- Pozos de SENARA
- Pozos generados para calibración

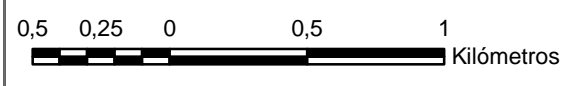
- Líneas equipotenciales
- Poblados
- Carreteras Nacionales
- Calles
- Ríos
- Cuencas

Elevaciones (m.s.n.m.)

- 0 - 50
- 51 - 100
- 101 - 150
- 151 - 200
- 201 - 250
- 251 - 300
- 301 - 350
- Mayor a 350

Mapa 6: Líneas equipotenciales

Estudio Hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz

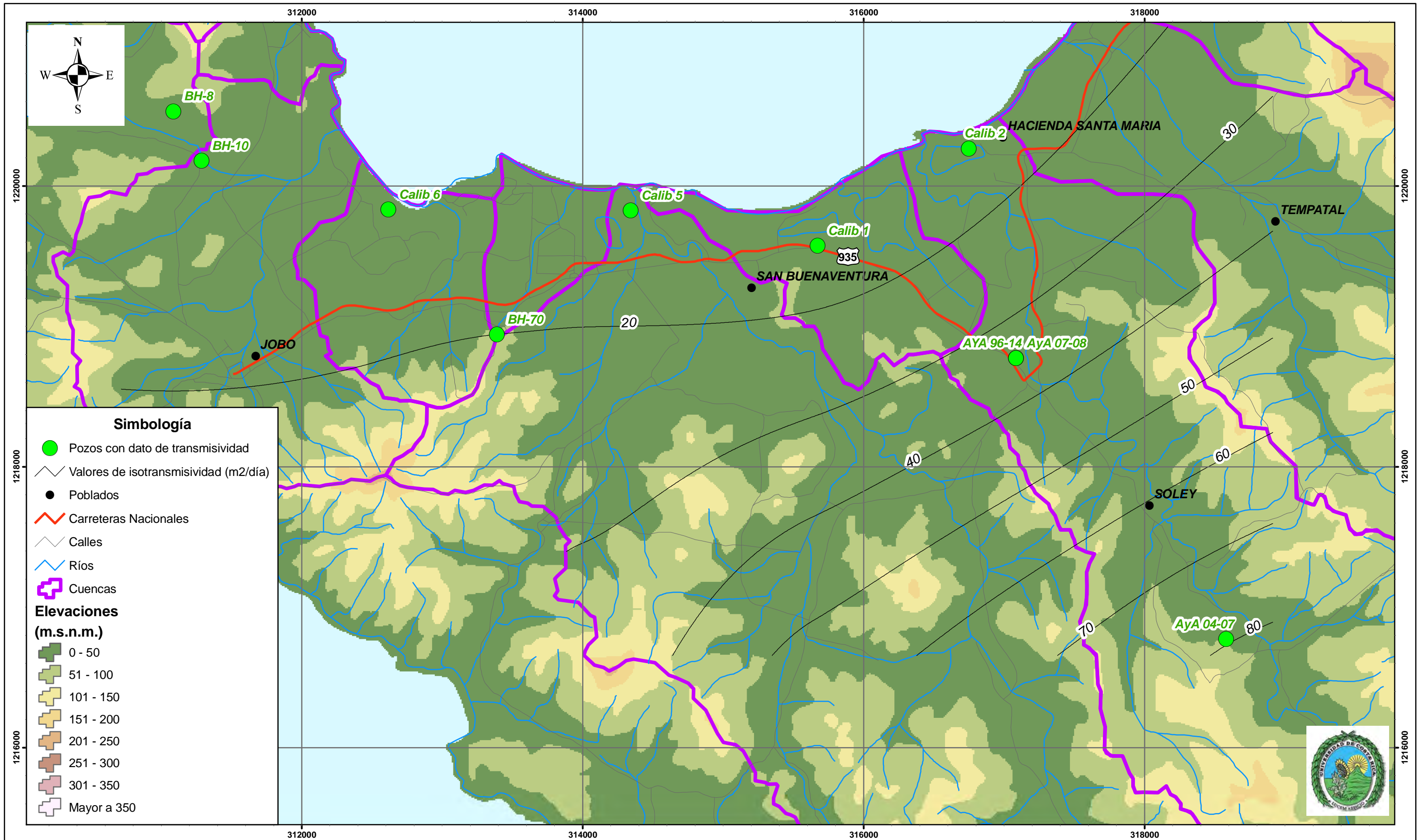


Escala 1:27.500
Proyección CRTM 05

Fuente: Hojas 1:50 000 IGN
El Autor

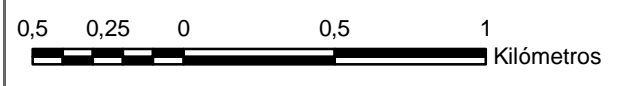
*Curso Manejo de Recurso Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*





Mapa 6.2: Valores de isotransmisividad

Estudio hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz



Escala 1:25.000
Proyección CRTM 05

Fuente: Hojas 1:50 000 IGN
El Autor

*Curso Manejo de Recurso Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*



5.3 Vulnerabilidad del acuífero

Se presenta como dato de entrada para la vulnerabilidad del acuífero el mapa de espesor de la zona no saturada, el cual permite determinar en función de los modelos planteados, una de las variables para el análisis.

Para evaluar la posibilidad de contaminación en los pozos ubicados en Puerto Soley se deben considerar los principios del transporte de contaminantes en los sistemas acuíferos subterráneos. Para ello es indispensable contar con los siguientes parámetros claves para determinar la vulnerabilidad a la contaminación microbiológica.

- Tipo de Acuífero:

Es el grado de confinamiento y el carácter de los acuíferos. En este caso el acuífero es de carácter sedimentario, y se define como acuífero semiconfinado. Esto por la presencia de arcillas entre la superficie y los 5m de profundidad, seguido de un “de areniscas” que se considera como rocas sedimentarias compactas de la Formación Descartes donde se encuentra el acuífero. Debido a que el acuífero se considera semiconfinado se asigna un valor de 0.3.

- Cobertura del Acuífero:

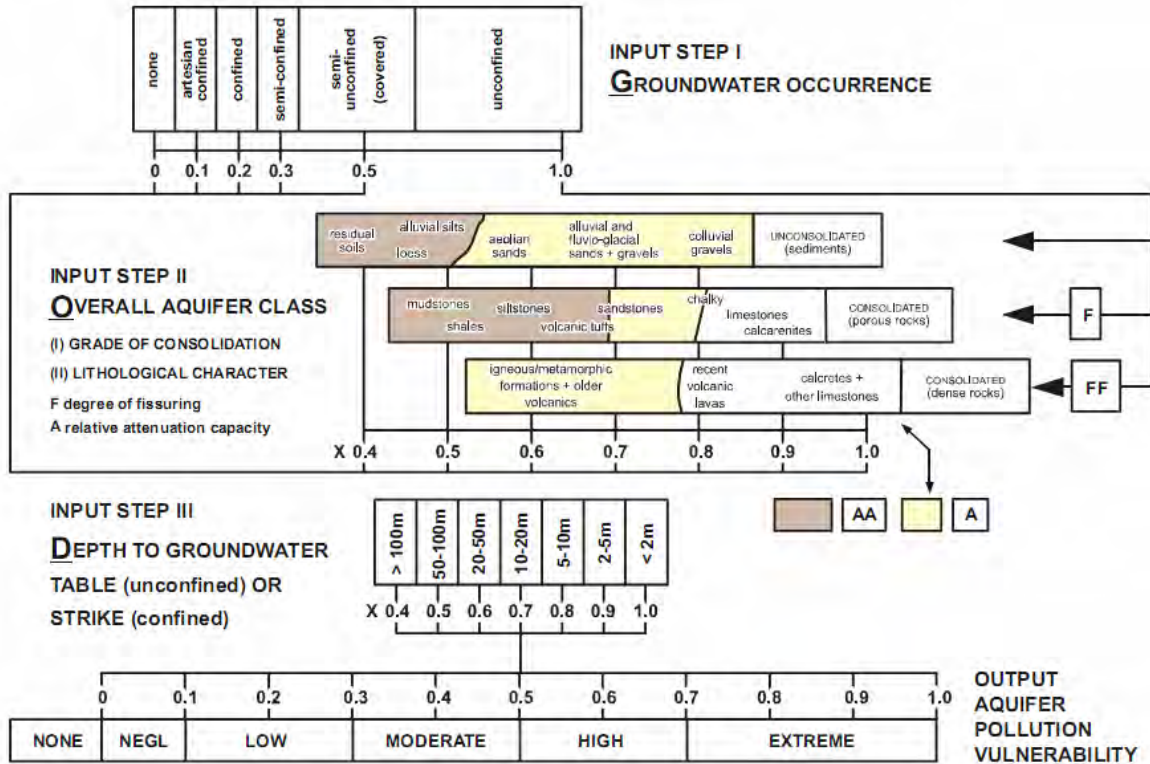
La cobertura se compone de arcillas superficiales. Las arcillas tienen una permeabilidad muy baja y se le otorga un grado de 0.4 según la metodología.

- Profundidad del acuífero:

El espesor de la zona no saturada varía entre 5m (nivel estático) y 14m (nivel dinámico), por lo tanto se le otorga un promedio de 9.5m bajo la superficie. Aquí se asigna un valor de 0.8.

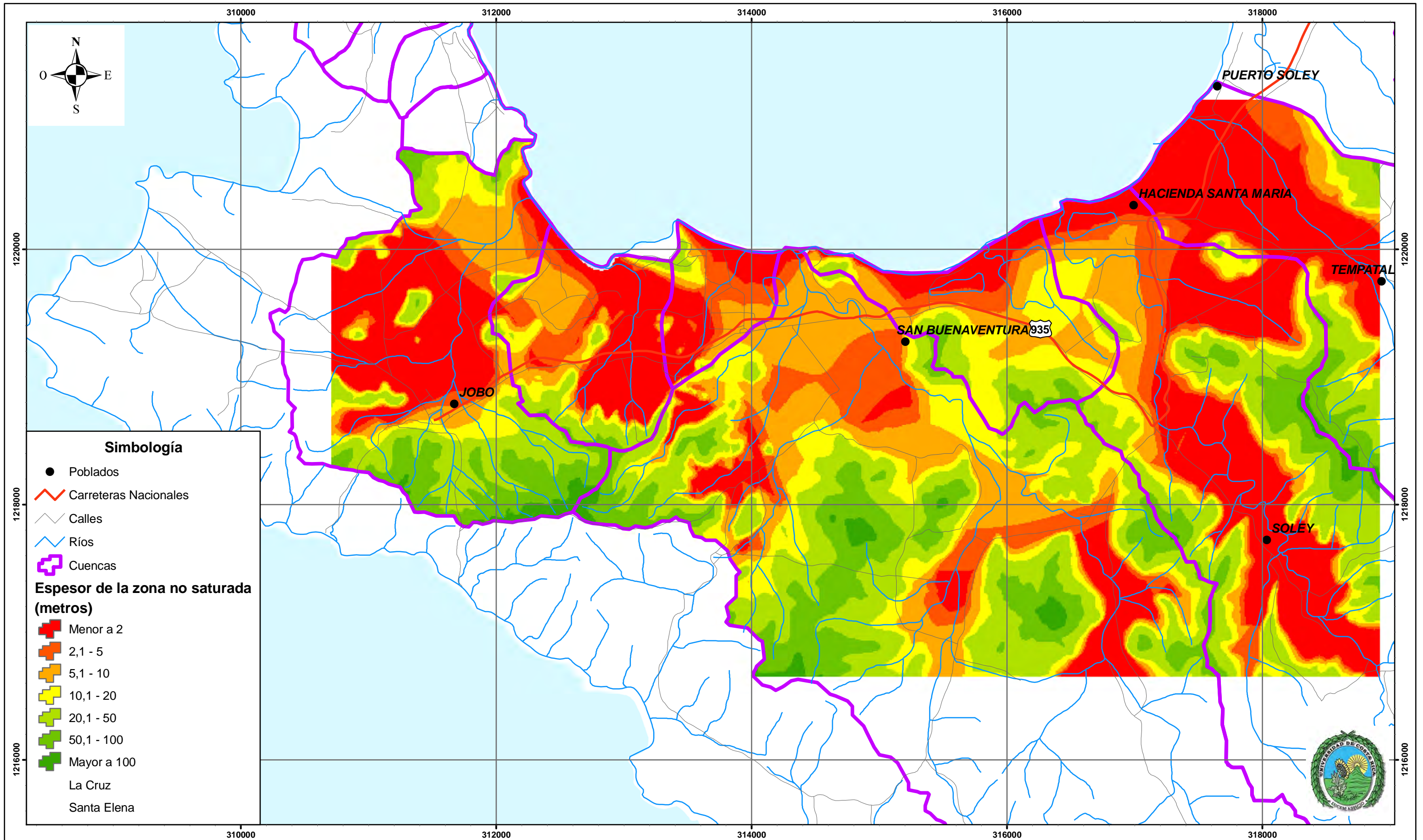


Figura -31. Modelo metodológico conceptual del método GOD.



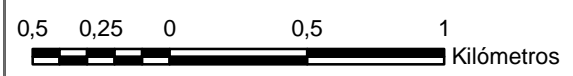
Tomando en cuenta los parámetros mencionados es posible establecer un criterio de vulnerabilidad para el caso en estudio; éste se refiere al sistema GOD para la evaluación del índice de vulnerabilidad del acuífero (Foster, 1988). La escala de vulnerabilidad indica las siguientes posibilidades: ninguna, baja, moderada, alta y extrema.

La multiplicación de estos factores genera un valor de 0.096 que representa una vulnerabilidad **muy baja** a la contaminación de acuífero.



Mapa 7: Espesor de la zona no saturada.

Estudio Hidrogeológico de Bahía Salinas, La Cruz



Escala 1:27.500
Proyección CRTM 05

Fuente: Hojas 1:50 000 IGN
Los autores

*Curso Manejo de Recurso Hídricos
Maestría Académica en Hidrogeología
y Manejo de Recursos Hídricos*



5.4 Análisis de calidad de aguas

En enero del 2009, la empresa Hidrotica realizo prueba de bombeo, químicas y bacteriológicas al pozo que está fuera de servicio dentro de las características determinadas por esta empresa, se estima una profundidad de 34.5m, con nivel estático a 3.53m, nivel dinámico de 7.5m, con un caudal según la prueba de bombeo de 2.7 L/s, los resultados de las pruebas químicas y bacteriológicas del mismo se resumen a continuación:

Tabla -18. Análisis químico de estudio de la empresa Hidrotica.

Análisis	Resultado Promedio
pH	6.87
Turbidez	61.8 NTU
Color (Pt/Co)	1.8
Conductividad Eléctrica	993 uS/cm
Sólidos Totales	620 mg/L
Sólidos Disueltos	600 mg/L
Sólidos Suspendidos	20 mg/L
Alcalinidad (FF expresado como CaCO ₃)	< 1 mg/L
Alcalinidad Total (RM expresado como CaCO ₃)	387 mg/L
Dureza Total (expresado como CaCO ₃)	282 mg/L
Dureza de Carbonatos (expresado como CaCO ₃)	282 mg/L
Dureza de No-Carbonatos (expresado como CaCO ₃)	< 1 mg/L
Calcio (Ca)	74.4 mg/L
Magnesio (Mg)	23.3 mg/L
Cloruros (Cl)	46.1 mg/L
Sulfatos (SO ₄)	50.6 mg/L
Sílice (SiO ₂)	57.1 mg/L
Amonio (NH ₄)	1.40 mg/L
Hierro (Fe)	6.30 mg/L

Estos resultados catalogan el agua analizada como de muy alta turbidez, conductividad eléctrica y amonio esto según lo establecidos en el decreto ejecutivo 32327-S.

Tabla -19. Análisis bacteriológico del pozo de AyA que se dejó de utilizar.

Análisis	Coliformes Totales (N.M.P./dL)	Coliformes Fecales (N.M.P./dL)
Agua de Pozo	<1	<1

Donde N.M.P./dL: Numero más Probable.



Este resultado da como conclusión que en la muestra analizada NO EXISTEN coliformes, por lo tanto se considera con coliformes igual a cero y microbiológicamente potable según el decreto ejecutivo 32327-S.

Como parte del estudio realizado en la gira a la comunidad del Jobo y Puerto Soley, se realizo pruebas físicas y químicas a varios de los pozos a los que se obtuvo acceso, entre ellos el pozo del A y A, pozos artesanales de diferentes vecinos de estas comunidades y al pozo que se encuentra fuera de funcionamiento.

Tabla -20. Análisis fisicoquímico de algunos de los pozos artesanales mediante análisis de campo.

Código de Pozo	Parámetros del acuífero				
	CE (μ .S/cm)	PH	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	NO3-N (mg/L)
Pozo AyA	833	6.95	345		4.6
Pozo "contaminado"	785	7.45	270	225	
Pozo Blanca (presidenta)	734	6.50			
Pozo Artesanal Alemán Alemán	235	6.77			
Pozo Artesanal Vargas Jiménez	265	6.77			
Pozo Artesanal Cabezas Jiménez	232	6.66			
Pozo artesanal Coronado Coronado	237				

De la información observada anteriormente los valores de pH están dentro de la norma, estando el pozo de Blanca justo en el límite inferior, el parámetro de conductividad eléctrica se encuentra muy por encima del valor admisible en el pozo perforado por el AyA, el pozo contaminado y el de Doña Blanca, estando más de 300 μ .S/cm de lo aceptable, esto sin embargo es posible atribuirlo a los materiales encontrados en la zona de estudio los cuales aportan iones al agua aumentando la conductividad eléctrica. En el pozo del AyA, se midió NO3-N (como nitrógeno), para el cual el límite es 10 mg/L (EPA); sin embargo cuando se mide nitratos como nitrógeno el límite es 50mg/L; por lo que 4.6 es casi el valor recomendado para nitratos, según reglamento.

Adicional a esta información, fue posible obtener datos químicos de varios de los pozos registrados en el SENARA los cuales al igual que la mayoría de los pozos analizados anteriormente presentan altas CE así como bajo contenido de magnesio en los BH-32 y BH-70, lo cual se atribuye a características meramente geológicas de la zona en estudio.

Tabla -21. Análisis fisicoquímico de algunos de los pozos registrados en senara que contaban con estos parátros en su expediente. Fuente: SENARA, 2010.

Código de Pozo	PH	Color	Turbidez (ut)	CE (μ.S/cm)	ST (mg/l)	Dureza total (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NH4 (mg/l)	Fe (mg/l)
BH-29	6.67	<5	1	1404	772	452.00	141.00	24.00	116.00	69.00	<0.10	0.10
BH-31	6.60	<5	1	1440	936	475.00	136.00	33.00	213.00	34.10	0.11	0.20
BH-32	8.33			700		243.40	87.20	6.20	28.00	39.80		0.12
BH-70	7.00	5	<1			5.10	1.90	0.08				0.01

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Aspectos generales

- Se reportan 276 abonados en la ASADA: 110 en Soley y 137 en El Jobo. En esta última comunidad, en algunos días se tienen que abastecer mediante un cisterna.
- Uno de los principales problemas que tienen al respecto es la falta de medidores, ya que, incluso se dan casos en los cuales tienen hasta cinco familias en un medidor. Tienen una tarifa fija de 4905 colones.
- Actualmente solo un pozo está operando, mismo que perforó hace varios años el AYA y que se localiza cerca del Salón Comunal de Soley. El caudal que reporta dicho pozo es de alrededor de 1l/s, y esta cantidad de agua no es suficiente para abastecer la población.
- La cantidad de agua requerida como mínimo para que se pueda abastecer la población de abonados según estimaciones con un consumo de 250 l/hab/día y un promedio de 5 personas por vivienda es de 5 l/s.
- En el caso de El Jobo, los hoteles que operan en la zona aportan algo de agua en las noches pero ésta no llega a todas las casas.
- Otra problemática que apuntan es que han vuelto al uso de huecos o letrinas, debido a la falta de agua, y estas en muchos casos se colocan cerca de pozos.
- Existen algunos problemas de propensión a contaminación en algunos pozos artesanales.





6.2 Conclusiones del apartado de hidrogeología

- La transmisividad del pozo de AyA que opera actualmente es baja, ya que, el pozo recupera relativamente lento, con 0,50 l, baja alrededor de 10m
- Sin embargo, una recomendación es que se podrían conectar los dos pozos y hacer la limpieza para evaluar su condición.
- Ciertamente este pozo cuenta con gran interferencia de pozos cercanos, lo cual le presenta problemas operativos.
- El otro pozo aledaño al BH47 (distancia de 10,21m), tiene una profundidad de 40m (está captando el mismo acuífero)
- El pozo se podría abatir más, alrededor de 27 m más, según lo observado en el campo. Para ello hubiese sido importante realizar una prueba de bombeo a caudal variable en el campo, pero no fue posible porque el personal de la ASADA no asistió el día que la prueba se iba a realizar.
- Geológicamente el área está constituida por dos unidades principales, la más antigua corresponde con la Unidad de lutitas y areniscas, asociadas con la Formación Descartes y la Unidad de Depósitos coluvio aluviales.
- En la zona de estudio se desarrollan dos acuíferos principales, uno de los cuales se presenta en las rocas de la Formación Descartes. Este es el acuífero principal de tipo libre y constituye un acuífero de bajo potencial debido a las bajas permeabilidades que presenta. El otro acuífero se da en los depósitos recientes coluvio aluviales, sin embargo, este último no es aprovechado por las comunidades aledañas.
- La recarga principal de estos acuíferos se da por infiltración directa y también desde las zonas más altas o serranías hacia el E-SSE de la zona de estudio.
- La dirección predominante del flujo de agua subterránea es dirección NE – NNW, en dirección al mar.
- De acuerdo con la información de pozos, los niveles estáticos para ambos acuíferos son muy someros, situación por la cual deberán prever la implementación de medidas de protección con el fin de evitar su eventual contaminación.



- Existe una zona que se podría estudiar más a fondo, y esta es la zona que se ubica según el mapa de pendientes en San Buenaventura, en donde se identifica un sitio poco explotado, procedente de una de las cuencas grandes de la punta descartes, y que al mismo tiempo tiene una importante zona de depósito aluvial, la cual presentaría en principio condiciones para su explotación mediante pozos, pero se debe analizar con mayor profundidad esta opción.

6.3 Geofísica

- Los SEVs 1 y 2 presentan una correlación geofísica adecuada, y demuestra por medio de la resistividad eléctrica que en general, en el sitio frente a la escuela de pueblo el Jobo, existen 3 capas geológicas distintas, la primera puede tener un espesor promedio de 6m y corresponde a depósitos finos coluvio-aluvionales; la segunda tiene un espesor de 66m en promedio y pertenece a areniscas y lutitas de la formación Descartes para finalmente tener una tercera capa de Basamento.
- Las primeras dos capas parecen encontrarse saturadas de agua, sin embargo las bajas resistividades también se adjudican a la mineralogía y geoquímica de las rocas vulcano-sedimentarias presentes en la zona.

6.4 Intrusión salina

- No se presenta amenaza de contaminación por intrusión salina, puesto que los pozos analizados se ubican a 1600m de la costa. Por lo general los estudios de intrusión salina se realizan para pozos a perforarse en a una distancia menor de 1000m. La cuña de intrusión para el pozo de Puerto Soley se calcula a unos 369m bajo el nivel de la superficie y en el sitio de la Escuela del Jobo se ubica a unos 840m bajo el nivel del mar.

6.5 Análisis químico

- Implementar la utilización de filtros de arena lo cual ayudara a disminuir la turbidez en los pozos que no cumplen con la norma con el fin de limpiar el agua y hacerla lo más potable posible.
- Dar un adecuado mantenimiento al sistema de filtración que se vaya a implementar.
- Identificar las posibles fuentes de contaminación a los pozos como lo son tanques sépticos, establos, etc., y proponer medidas de manejo alternas que eviten una potencial contaminación a los pozos.
- Con base a las mediciones realizadas en campo es posible afirmar que el pozo “contaminado” posee parámetros de conductividad eléctrica muy elevados, lo cual puede atribuirse a la formación de la zona en estudio ya que el mismo está muy lejos de la cuña de intrusión.



- Se recomienda hacer estudio de parámetros químicos y físicos de todos los pozos que pueden abastecer estas poblaciones con frecuencia.

7. BIBLIOGRAFÍA

ALFARO MARTÍNEZ, ERICK. 1998. Influencia de los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical sobre los patrones de precipitaciones en Centroamérica. Informe para optar por el grado de Doctor en Oceanografía. Universidad de Concepción. Chile.

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.-115 págs. Univ. De Costa Rica [Tesis Lic.].

BERGOEING, Jean Pierre, 2007. Geomorfología de Costa Rica. Librería Francesa, San José.

BERGOING, J. P., 1982: Dataciones radiométricas de algunas muestras de Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional. Informe semestral, enero-diciembre, 28, p. 71-86, San José.

DENGO, G., 1962: Estudio Geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica.-112 págs. IGN, San José.

FLORES, K., 2003: Propuesta Tectonoestratigráfica de la Región Septentrional del Golfo de Nicoya, Costa Rica.-176 págs. Univ. De Costa Rica [Tesis Lic.].

GOBIERNO DE COSTA RICA, Instituto Meteorológico Nacional 2009. Atlas Climatológico Interactivo, <http://www.imn.ac.cr/educacion/atlas/index.html> (consultado 21/06/2009)

GOBIERNO DE COSTA RICA, Instituto Meteorológico Nacional. Datos climáticos 1961-1980. http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/altas_clima/atlas%20clima.html (consultado 21/06/2009)

GOBIERNO DE COSTA RICA, Instituto Meteorológico Nacional, Datos climáticos al 2007 – Promedios de 12 años – Estaciones meteorológicas



http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=LinksInfoClimatica
(consultado 21/06/2009)

GOBIERNO DE COSTA RICA, Instituto Meteorológico Nacional, 1992. Catastro de series de Brillo Solar medidas en Costa Rica.

GOBIERNO DE COSTA RICA, Instituto Meteorológico Nacional, 1986. Catastro de series de precipitaciones medidas en Costa Rica. IMN,

MUÑOZ MOYA, ANA CECILIA. 2001. Distribución espacio – temporal del viento y del potencial de energía eólica en Costa Rica. Informe del proyecto final para optar por el grado de Licenciatura en Meteorología. Universidad de Costa Rica. San José.

PROYECTO ESTADO DE LA NACIÓN, 2002. ,8º Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2001. San José.

OROZCO O. ERICK GERARDO. 2007. “Zonificación Climática de Costa Rica para la gestión de infraestructura vial”. Proyecto de graduación para optar por el grado de Lic. en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica,

SCHOSINSKY N, GUNTHER, 2006. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central, 34-35: 13-30.

SOTO, G., ARREDONDO, S., VARGAS A (2008): Geología de la península Descartes (Costa Rica), una visión hidrogeológica. En: Memoria Programa y Resúmenes IX Congreso Geológico de América Central, 02-04 Julio 2008. San José, Costa Rica.

TOURNON, J., ALVARADO, G., 1997: Carte Géologique du Costa Rica: notice explicative; Mapa Geológico de Costa Rica.-1ª ed.-Ed. Tecnológica de Costa Rica.

UNESCO, 2007, Balance Hídrico Superficial de Costa Rica, 1970-2002 (Documento Técnico No. 10, Programa Hidrológico Internacional para Latinoamérica y el Caribe, 2007). <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001563/156338s.pdf> (consultado 22/06/2009)



WEYL, R., 1969: Magmatische Forderphasen und Gesteinschemismus in Costa Rica (Mittelamerika). N. JI. Geol. Palaont. Mh, p. 42446.

ZARATE HERNÁNDEZ, ELADIO. 1977. Principales sistemas de vientos que afectan a Costa Rica y sus relaciones con la precipitación. Informe del proyecto final para optar por el grado de Licenciatura en Meteorología. Universidad de Costa Rica. San José.