



**Universidad Nacional Autónoma de  
Nicaragua**  
**Centro para la Investigación en Recursos  
Acuáticos**



**Maestría Regional Centroamericana  
en Ciencias del Agua  
con Énfasis en Calidad de Agua**

**Título:**



***Zonificación Hidrogeológica para el Plan de Manejo de los  
Recursos Hídricos en la Subcuenca del Río Gil González.***

**Presentado por:           Ing. Maynor Ruiz Álvarez**

**Tutora:                       MSc. Yelba Flores Meza**

**Asesores:                   MSc. Thelma Salvatierra**

**MSc. Elizabeth Peña**

**Managua, Noviembre 2013.**

## **Dedicatoria**

**A mi familia por ser mis mejores amigos y nunca han faltado a su promesa de apoyarme siempre.**

**A Keira y Sofía Monserrat por las cosas maravillosas que me han permitido vivir a su lado y su apoyo en los momentos que no pude acompañarlas.**

**A Tobías Gabriel un ser extraordinario.**

## **Agradecimientos**

**A UNAN/Managua máxima casa de estudios del país por la oportunidad de formarme dentro de sus aulas y en el campo de la práctica.**

**A CIRA/UNAN-Managua máximo centro de investigación en recursos acuáticos por darme la oportunidad de aprender y poner en práctica los conocimientos adquiridos.**

**A su director fundador Profesor Salvador Montenegro por la confianza depositada en mi persona, por no dudar de mis capacidades.**

**A PhD. Katherine Vammen, subdirectora de CIRA/UNAN-Managua, por su confianza y apoyo siempre.**

**Al programa de maestría apoyados por RedCARA por la oportunidad de formarnos en temas relacionados a los recursos hídricos.**

**A mi maestra y amiga MSc. Yelba Flores por su confianza, sus aportes y sus ánimos de enseñarme siempre.**

**Al colectivo del Laboratorio de Hidrogeología por ser mis maestros y apoyarme siempre, han sido una escuela.**

**A MSc. Valeria Delgado, maestra y amiga por sus consejos y aportes en mi formación.**

**MSc. Thelma Salvatierra por su apoyo y confianza al incluir este trabajo dentro de su proyecto.**

**A mi equipo de asesores por sus oportunas críticas y recomendaciones.**

**A la Alcaldía de Belén y FUNDENIC por el apoyo en los trabajos de campo, en especial a la familia Ugarte de Mata de Caña por su apoyo en todas las actividades que involucraron esta investigación.**

**A Alan Gatica, María José Zamorio, Marcia Estrada, Dimas Gracias, Yamileth Levy y Manuel Arriola, por su compañerismo dentro y fuera del aula de clases.**

## INDICE

Dedicatoria .....	i
Agradecimientos.....	ii
INDICE.....	iii
Lista de Figuras .....	vii
Lista de Tablas.....	viii
Lista de Gráficos.....	ix
CAPITULO I .....	1
I.  INTRODUCCION .....	1
I.1.  Antecedentes .....	2
I.2.  Justificación.....	5
I.3.  Objetivos .....	6
I.3.1.  General .....	6
I.3.2.  Específicos .....	6
I.4.  Marco Teórico .....	6
I.5.  Ubicación del área de Estudio.....	9
I.6.  Características Climáticas .....	11
I.7.  Suelos.....	12
I.7.1.  Clasificación Taxonómica .....	12
I.7.2.  Uso Potencial del suelo .....	14
I.7.3.  Uso Actual del Suelo.....	15

I.8.	Geomorfología .....	17
I.9.	Geología .....	18
I.10.	Geología Estructural .....	21
I.11.	Definición de Provincias Hidrogeológicas .....	23
I.	CAPÍTULO II.....	26
II.	METODOLOGÍA .....	26
II.1.	Etapa Preliminar .....	26
II.2.	Etapa de Campo.....	27
II.2.1.	Geología y Geomorfología.....	27
II.2.2.	Hidrología.....	28
II.2.3.	Hidrogeología .....	29
II.3.	Etapa de Interpretación .....	34
II.3.1.	Balance Hídrico Superficial .....	34
II.3.1.1.	ETP por el Método de Thornthwaite .....	35
II.3.2.	Balance Hídrico Subterráneo .....	36
II.3.3.	Zonificación Hidrogeológica .....	37
II.	CAPITULO III.....	39
III.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	39
III.1.	Caracterización Climática .....	39
III.1.1.	Precipitaciones .....	39
III.1.2.	Temperatura.....	40
III.1.3.	Evapotranspiración .....	42
III.2.	Medio Físico .....	43
III.2.1.	Geomorfología .....	43
III.2.2.	Geología .....	47

III.2.3.	Principales Rasgos Estructurales.....	52
III.2.4.	Suelos.....	54
III.3.	Hidrología.....	58
III.3.1.	Características Morfológicas de la Cuenca .....	58
III.3.2.	Balance Hídrico Superficial .....	62
III.4.	Zonas de Recarga y Descarga.....	67
III.4.1.	Recarga Directa .....	68
III.4.2.	Recarga Artificial .....	69
III.4.3.	Descarga de Agua Subterránea .....	73
III.4.4.	Determinación de zonas de recarga utilizando isotopos $^{18}\text{O}$ y $^2\text{H}75$	
III.5.	Balance Hidrogeológico .....	83
III.5.1.	Reservas del Acuífero.....	86
III.5.2.	Disponibilidad de Agua en el Acuífero .....	86
III.6.	Hidrogeología.....	88
III.6.1.	Contexto Hidrogeológico.....	88
III.6.2.	Comportamiento Hidrogeológico de la Subcuenca Rio Gil González	88
	Medio Hidrogeológico .....	91
III.6.4.	Dinámica de Flujo.....	93
III.6.5.	Sistema Hidráulico del Acuífero Belén.....	96
	CAPITULO IV.....	101
IV.	Zonificación Hidrogeológica.....	101
IV.1.1.	Antecedentes de la Subcuenca Rio Gil González.....	101
IV.1.2.	Justificación de la Zonificación .....	101
IV.1.3.	Características Hidrogeológicas.....	102

IV.1.4. Análisis por zonas.....	103
IV.1.5. Estrategias de acción, para incluirlas a corto, mediano y largo plazo, en plan de Gestión Integral de la Subcuenca Río Gil González elaborado por FUNDENIC SOS .....	105
III.7.5.1. Iniciativas de Desarrollo relacionadas a Agua Potable.....	106
IV.1.6. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos .....	109
CAPITULO V.....	115
V. CONCLUSIONES .....	115
CAPITULO VI.....	118
VI. RECOMENDACIONES.....	118
CAPITULO VI.....	119
VII. BIBLIOGRAFIA.....	119
CAPITULO VII.....	122
VIII. ANEXOS.....	122

## Lista de Figuras

<b>Figura 1. Ubicación de la Subcuenca Rio Gil González.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2 Clasificación Climática de Nicaragua, según Koppen. INETER, 2000.</b>	<b>12</b>
<b>Figura 3 Mapa de Tipos de Suelos de Nicaragua. INETER, 2000 .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 4 Mapa de Uso Actual de Suelos. INETER, 2000. ....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 5 Geomorfología Regional de Nicaragua. INETER, 2000. ....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 6. Geología Regional de Nicaragua. INETER, 2000. ....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 7. Geología estructural de SW de Nicaragua. Cruden, 1989.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura. 8 Principales rasgos Geomorfológicos de la Subcuenca Rio Gil González. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura. 9 Mapa geológico de la Subcuenca Rio Gil González.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 10. Tipo de suelos dominantes dentro de la Subcuenca Río Gil González. Clasificación Taxonómica. ....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 11. Uso Actual de Suelos dentro de la Subcuenca Gil González. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 12. Red de drenaje del rio Gil González y sus principales tributario.</b>	<b>65</b>
<b>Figura 13. Zonas de infiltracion obtenidas a partir de Balance Hidrico de Suelos. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 14. Mapa Piezométrico y Red de Flujo. Acuífero de Belén .....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 15. Modelo Conceptual de la Subcuenca Rio Gil González.....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 16. Zonificación Hidrogeológica de la Subcuenca Rio Gil González.</b>	<b>108</b>



## Lista de Tablas

<b>Tabla 1. Valores promedio de precipitación de la estación Rivas. ....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 2. Valores promedios de temperatura obtenidos en la estación Rivas.</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 3. Principales Microcuencas de la Subcuenca Río Gil González. ....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 4. Parámetros morfológicos de la subcuenca Río Gil González. ....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 5. Evapotranspiración por el Método de Thornthwaite. Datos meteorológicos de la Estación Rivas, período 1967-2009. ....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 6. Valores obtenidos del Balance Hídrico de Thornthwaite. ....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 7. Tipos de suelos y su comportamiento durante las pruebas de infiltración. ....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 8. Valores de infiltración obtenidos para cada una de las microcuencas a partir de BHS. ....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 9. Consumo de agua por hectáreas de caña sembradas. ....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 10. Valores utilizados en la ecuación de Balance Hídrico Subterráneo.</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 11. Variaciones del gradiente hidráulico en la subcuenca Río Gil González. ....</b>	<b>96</b>
<b>Tabla 12. Valores de Transmisividad y Conductividad Hidráulica Acuífero Rivas-Nandaime. ....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 13. Propuesta de Estrategias dentro del Plan de Manejo de los Recursos Hídricos. ....</b>	<b>111</b>

## Lista de Gráficos

Gráfico 1. Comparación del acumulado de Precipitación Estaciones Rivas y CASUR. 1967-2009 y 1957-2008. ....	41
Gráfico 2. Comportamiento de la Temperatura en Estación Rivas (Período 1968-2010).....	42
Gráfico 3. Variación de la ETP durante el período 1968-2012.. ....	43
Gráfico 4. Caudales Tributarios Gil González. Septiembre 2010-Septiembre 2011. ....	62
Gráfico 5. Comportamiento de los parámetros del Balance Hídrico de Thornthwaite.....	66
Gráfico 6. Evapotranspiración real modelo matemático CropWat 8.0.. ....	74
Gráfico 7. Recta altitudinal local obtenida para $\delta^{18}\text{O}$ de manantiales.....	78
Gráfico 8. Diagrama de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ , Línea Meteorológica de Nicaragua OIEA (1998). ....	79
Gráfico 9. Determinación de las zonas de recarga a partir de Efecto de Altitud vs Contenido Isotópico de $\delta^{18}\text{O}$ .....	80
Gráfico 10. Relación C.E / $\delta^{18}\text{O}$ , los valores de C.E. ....	83
Gráfico 11. Perfil Hidrogeológico de la Subcuenca Río Gil González. ....	97

# **CAPITULO I**

## **I. INTRODUCCION**

Nicaragua atraviesa problemas de disponibilidad y calidad en los recursos hídricos en algunas zonas, debido al mal manejo de los recursos hay algunos sectores que no tienen acceso al abastecimiento de agua de calidad, si lo tienen, en muchas ocasiones no cumplen los requerimientos de calidad establecidos.

Debido al déficit en la oferta de aguas superficiales y la deforestación extensiva que han sufrido las cuencas en los últimos años, se ha incrementado significativamente la explotación de las aguas subterráneas, para diferentes usos.

Este aprovechamiento de agua, con poca o sin ninguna evaluación y control de uso, ha generado una serie de impactos ambientales negativos. El conocimiento a detalle del medio físico y del potencial hídrico en la subcuenca del Río Gil González, ha provocado un inadecuado manejo de los recursos hídricos.

Los principales problemas observados son: la reducción de los caudales de los ríos debido a la deforestación en verano, altas tasas de sedimentación en las partes bajas de la subcuenca en la época lluviosa, contaminación y degradación de la calidad de las aguas y dificultades de acceso al recurso agua (CIRA-UNAN, 2006).

Los aspectos físicos naturales como suelos, geología, geomorfología, hidrología e hidrogeología, base para el conocimiento del potencial hídrico de la subcuenca, han sido poco estudiados. Se cuenta con información a nivel regional, que describe las generalidades de estos aspectos, pero a nivel de detalle no se cuenta con datos que permitan realizar una evaluación del estado de los recursos hídricos.

La subcuenca del Río Gil González forma parte de la Cuenca 69, drena hacia el Lago Cocibolca, este último definido por la Ley 620 (Ley General de Aguas Nacionales), como la Reserva de Agua Potable Prioritaria para Nicaragua, tiene gran importancia para el desarrollo sostenible de los municipios de Belén, Potosí y Buenos Aires, sin embargo las acciones realizadas por la población en gran medida afecta las condiciones de los recursos hídricos.

Se realizaron estudios hidrogeológicos a detalle que incluyen, geología, inventario de uso actual de suelos, aforo de ríos, encuestas de caudales de extracción y uso de agua a los pobladores y pruebas de infiltración. El objetivo es valorar las características claves de la subcuenca, para determinar su potencial.

Los productos de este estudio están dirigidos al planteamiento de estrategias de uso sostenible de las reservas de agua subterránea, para el desarrollo de la economía local y regional, que deriva en beneficio directo a los diferentes actores sociales del área. Los resultados pueden servir de herramienta para la toma de decisiones a corto y mediano plazo.

## **I.1. Antecedentes**

El conocimiento de las condiciones de los recursos hídricos en el país se encuentra poco desarrollado, temas específico como cambio climático, contaminación, preservación y conservación siempre están muy vinculadas con los recursos hídricos.

Durante los años setenta, el Servicio Geológico Nacional, realizo el “*Estudio Geológico de Pacífico de Nicaragua*”, en el cual se describen de manera regional las principales formaciones geológicas y donde se incluye el área de la subcuenca Río Gil González, este informe fue preparado por J. Kuang, 1971.

La mayor parte del arroz y caña de azúcar se cultiva bajo riego utilizando las aguas superficiales de pequeñas presas, bombas ubicadas a las orillas del río

Gil González y pozos perforados, con un caudal utilizado de aproximadamente 60,6 MMCA (Tahal Consulting, 1977).

En la subcuenca del Río Gil González, desde los años cincuenta, la agricultura ha sido la actividad económica más importante, especialmente en la parte media y baja, próxima a los municipios de Potosí y Buenos Aires. El cultivo de mayor importancia son las musáceas (plátanos), seguido por el arroz, caña de azúcar, granos básicos (maíz y frijol) y sorgo. El área total sembrada entonces era de 1300 manzanas (Inifom, 1996)

J. Krasny, 1998, realizó la “*Caracterización Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Pacífica de Nicaragua*”, este trabajo incluye el acuífero de Nandaime de forma general, sin la subdivisión a acuíferos locales. En este trabajo se asigna valores de conductividad hidráulica ( $K= 4.17$  m/d), transmisividad ( $T= 500$  m<sup>2</sup>/d) y almacenamiento específico ( $S_s= 0.30$ ).

Datos que también pueden ser utilizados para tener una idea del medio hidrogeológico son los aportados durante el estudio “*Disponibilidad y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos del Acuífero de Nandaime*”, donde se obtuvo valores de Conductividad Hidráulica ( $K=1$  a 40 m/d), Transmisividad ( $T=120$  a 1300 m<sup>2</sup>/d), Capacidad Específica (3 a 46 m<sup>3</sup>/h/m) y caudales de extracción promedio de 8 a 341 m<sup>3</sup>/h (Peña, 2004).

UNA-GTZ (2003) elaboró Mapas de Uso Actual y Uso Potencial de Suelos dentro de la subcuenca con fines de ordenamiento en el uso del suelo.

En 2008, (AMUR, 2008) dentro del proyecto “*Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, promovido por Asociación de Municipios de Rivas “AMUR”*”, en coordinación con la Municipalidad Regional del Condado de Hollines-deL’Outaouais(Canadá),DECOSUR/IDR-UE, MASRENACE/GYZ/APDEL/DANIDA, se evaluaron las capacidades de uso de suelos y los conflictos de uso, mediante la confrontación con el uso actual.

Esta investigación permitió definir cinco categorías de conflictos de suelo, desde baja hasta muy alta. De acuerdo con estos resultados, un poco más de un tercio del territorio municipal de Belén (34.46 %) presenta conflictos de uso de la tierra que van de alto a muy alto, principalmente en la parte más escarpada del municipio; por tanto, es en estas áreas que se deben implementar medidas para la restauración y conservación de los ecosistemas, tales como la declaración de áreas protegidas, reforestación, manejo de la regeneración natural, entre otras (Acuña, 2008)

De todos los estudios realizados dentro de la subcuenca, no se ha tomado en cuenta hasta ahora, la parte hidrogeológica. Se cuenta con un estudio hidrológico realizado por CIRAUNAN en el periodo 2005–2006. Este proyecto realizó el estudio hidroquímico, bacteriológico y potencial de aguas superficiales. En la actualidad se está desarrollando un proyecto de calidad y disponibilidad del agua subterránea y superficial en la subcuenca del Río Gil González, lo que permitirá tener información precisa del volumen de agua disponible y su calidad para los diferentes usos.

CIRA/UNAN realizó en 2005 el monitoreo del caudal del río Gil González, reportando una disminución del caudal de 96% del caudal inicial para el mes de Noviembre. Esto se deba a la extracción de agua sobre el cauce del río, a través de las norias y por la sequía reportada para este año de medición.

Actualmente FUNDENIC- SOS y las alcaldías de los municipios dentro de la subcuenca Río Gil González, realizan el “*Plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de los Municipios de Belén, Potosí y Buenos Aires*”, este proyecto contempló el inventario de los recursos hídricos de los municipios, así como una aproximación de consumo de agua por rubro obteniéndose un valor de 168.38 MMCA.

A pesar de los esfuerzos por disminuir el deterioro de la subcuenca, los cambios de uso de suelo y deforestación, la falta de agua para fines domésticos y de producción obligó a la alcaldía del municipio de Belén a iniciar

un “*Plan de Desarrollo Municipal*”. El trabajo se realiza con el apoyo de la cooperación alemana a través de DED y GTZ, MARENA, INTA y CASUR, inserto en el Proyecto MASRENACE. Los resultados son la creación de zonas de conservación, zonas de uso agropecuario y la reforestación de 800 hectáreas en la parte alta de la subcuenca, la determinación de estas zonas fue posible a partir de los datos generados en el estudio de CIRA-UNAN (2006).

## **I.2. Justificación**

La reciente concepción de la planificación hidrológica es compleja y difícil de asimilar, incluso su desarrollo normativo no está completo, por esta razón, el procedimiento más adecuado para su realización es a partir de distintos enfoques y perspectivas de la misma.

En la Subcuenca Río Gil González las actividades económicas principales son la agricultura y ganadería, para satisfacer la demanda de agua para los cultivos, principalmente caña de azúcar, musáceas y arroz, se han perforado pozos para riego y se han colocado bombas para extracción de agua desde el río, lo que afectado de forma significativa la disponibilidad y calidad del agua.

Un instrumento básico del ordenamiento, es la zonificación hidrogeológica; atendiendo a las características hidrogeológicas, con base a la estructura geológica de los terrenos y la composición de las rocas.

Es de gran importancia realizar la zonificación hidrogeológica que permita a los gobiernos municipales regular aéreas de uso específico dentro de la subcuenca. Partiendo de las condiciones actuales de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos.

La información generada por este proyecto de investigación, permitirá a las alcaldías contar con una herramienta de planificación dentro de las zonas establecidas, manteniendo o mejorando las condiciones de recarga actual, con énfasis en el uso potencial de suelo. El objetivo final es la conservación de áreas de recarga y manejo sostenible de los recursos hídricos, lo que permite

el desarrollo económico local y el mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores de estos municipios.

### **I.3. Objetivos**

#### **I.3.1. General**

- **Establecer la zonificación Hidrogeológica en la Subcuenca Río Gil González.**

#### **I.3.2. Específicos**

- **Esquematizar el modelo hidrogeológico conceptual de la Subcuenca Río Gil González.**
- **Caracterizar hidrogeológicamente la Subcuenca del Río Gil González.**
- **Delimitar áreas de recarga, descarga y almacenamiento.**
- **Estimar el potencial hídrico de la subcuenca Río Gil González.**
- **Determinar las Zonas Hidrogeológicas para el plan de manejo apropiado que regule el uso de suelo y agua.**

### **I.4. Marco Teórico**

#### **1.4.1 Generalidades**

Las investigaciones de los recursos hídricos, permiten definir con una mejor precisión los funcionamientos hidráulicos e hidrogeológicos de los acuíferos.

La disponibilidad del agua subterránea de una determinada área, se cuantifica en base a las condiciones meteorológicas, hidrológicas, edafológicas, geológicas, hidráulicas, geofísicas e hidrogeológicas.



Las variaciones estacionales del ciclo hidrológico son determinantes para la disponibilidad de las aguas superficiales y la recarga de los acuíferos dentro de una cuenca.

La zonificación se realizó en la proporción del terreno de la subcuenca de acuerdo a las diferentes unidades hidrogeológicas, y más concretamente, la correspondiente a unidades permeables. La información relativa a cada uno de los factores considerados fue estructurada y almacenada en un SIG.

La recopilación, análisis y digitalización de la información relativa a los factores se describe más adelante. En principio se adoptaran lo siguientes criterios:

- Suelo: este factor define la zona no saturada, caracterizada por una significativa actividad biológica, para efectos prácticos pueden considerarse espesores de hasta dos metros, los aspectos de mayor influencia son; contenido y tipo de arcilla, granulometría.
- Características litológicas: la información relativa a este factor sirve para describir la influencia del terreno en las condiciones de flujo de agua y transporte de contaminantes. A fin de evitar problemas de redundancia, los rangos deberán referirse a la influencia directa en los parámetros hidráulicos, permeabilidad, almacenamiento, en dicha porción del acuífero.
- Profundidad del nivel del agua: la profundidad se referido al nivel del acuífero libre o al techo del acuífero en el caso de tratarse de un acuífero confinado. En caso de existir alguna duda sobre la continuidad o la naturaleza de los niveles, se considera como acuífero libre.
- Régimen hidráulico del acuífero: se distinguen si es un acuífero libre, confinado o semiconfinado.

La asignación de rangos de zonificación y valores numéricos correspondientes a cada uno de los factores, tipos de suelos, uso de suelos, profundidad del

nivel del agua, características geológicas y estructurales, volúmenes de infiltración por microcuencas, y pendiente, en la que se basa la elaboración de las figuras temáticas, es de gran relevancia. Una vez digitalizada y procesada la información, con arreglo a los criterios metodológicos utilizados, se elaboraron figuras temáticas a escala 1:20 000.

### **Zonificación Hidrogeológica:**

El desarrollo de una metodología para la zonificación hidrogeológica de una cuenca o acuífero no ha sido desarrollada como tal, sin embargo se requiere llevar a cabo una combinación, coordinación y vinculación entre las diferentes tareas a realizar en especialidades como: geología, estratigrafía, análisis estructural, hidrogeología, hidroquímica, geofísica y teledetección que aporten la suficiente información para definir aspectos relativos a la determinación de la estructura geológica, las características petrofísicas, el funcionamiento hidrodinámico, las características hidroquímicas, isotópicas y ambientales y, finalmente, la definición del modelo geológico e hidrogeológico.

El estudio del recurso hídrico subterráneo se realiza a través de la delimitación de unidades hidrogeológicas, donde se identifican cuencas y subcuencas geológicas (que en conjunto son zonas hidrogeológicas homogéneas), con características litológicas, estructurales y geomorfológicas similares y que además, presentan un comportamiento hidrogeológico homogéneo reconocible espacialmente.

La definición de estas unidades está basada principalmente en la información que brindan los siguientes temas y sus características:

- Cuencas y subcuencas: Regionales y locales en zonas costeras.
- Geología: Características hidrogeológicas y principales y generales de las rocas como sedimentarias, volcánicas, intrusivas; edad geológica, tamaños de clastos y otras.

- Geomorfología: Montañas, valles, intramontanos, valles abiertos, planicies costeras, estuarios, colinas, etc.
- Geografía: Zonas costeras, franjas litorales, montañas, elevaciones, población, uso del suelo y otras.
- Hidrogeología: Características de flujo, almacenamiento, pozos y vulnerabilidad natural de acuíferos.

## **I.5. Ubicación del área de Estudio**

La subcuenca del Río Gil González se localiza en el flanco oeste del Lago Cocibolca, pertenece a la cuenca del Río San Juan (Cuenca 69), que es una de las más importantes del país por su extensión y potencial hidrológico y contiene los Grandes Lagos nicaragüenses Cocibolca y Xolotlán.

Geográficamente pertenece al departamento de Rivas, y es compartida por los municipios de Belén, Potosí y Buenos Aires. Cuenta con una área total de 68.43Km<sup>2</sup>, y un perímetro aproximado de 56.41 km, con relieve de plano a ondulado, alcanzando la mayor elevación 348 m.s.n.m en las zonas más elevadas de la subcuenca, hasta descender a los 34 m.s.n.m en el Lago Cocibolca (Figura1).

Del total de área de la subcuenca, 55.51km<sup>2</sup> pertenecen al municipio de Belén, abarcando las mayores microcuencas que alimentan al río Gil González, Potosí cuenta con 9.71 km<sup>2</sup> y Buenos Aires 3.21 km<sup>2</sup>. Debido a la intervención en la subcuenca donde se ha modificado el drenaje natural, desde el municipio de Buenos Aires, la delimitación de la subcuenca se ha simplificado a la elevación de las curvas de nivel de los mapas topográficos 1:50,000 de INETER, 2004.

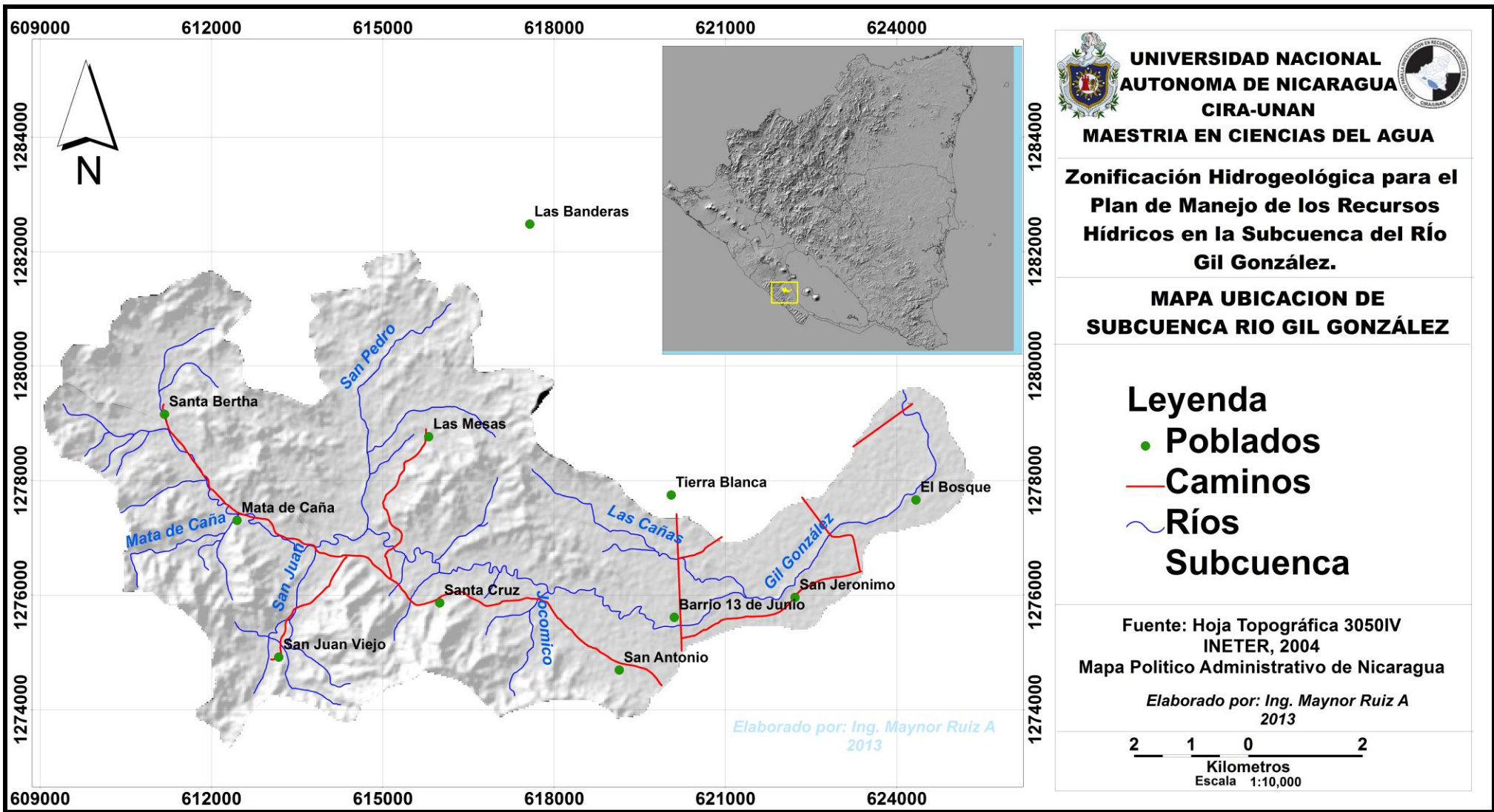


Figura 1. Ubicación de la Subcuenca Río Gil González

## I.6. Características Climáticas

El clima del área de estudio, de acuerdo a la clasificación de Köppen Modificado se conoce como de Sabana Tropical (**AW1**), característica de una región seca, con precipitaciones moderadas y una marcada estacionalidad lluviosa y seca, temperatura promedio 26.9 °C y 1395.85 mm de lluvia por año (INETER, 2003).

La precipitación promedio en la subcuenca es de 1328 milímetros por año, generalmente la mayor frecuencia de ocurrencia de las precipitaciones es registrada en horas de la tarde, producto de la formación de sistemas convectivos locales y la influencia del arrastre de humedad, provocado por el viento tanto desde el océano Pacífico como del lago de Nicaragua (INETER, 2003).

Durante el período lluvioso de Mayo a Octubre, hay una disminución de la precipitación en Julio y Agosto, llamado "*Canícula*"; el mes lluvioso es Septiembre, en el cual se registra un acumulado promedio de 299.78 mm, seguido de Octubre con 293.50 mm, para el período 1970-2000.

De manera interanual pueden notarse algunas diferencias significativas, en los años más lluviosos están enmarcados dentro del fenómeno El Niño y los más secos durante el evento La Niña. La Tabla 1 muestra los valores promedios de la estación meteorológica principal Rivas, que se encuentra a 15 km al sur del límite de la cuenca, es la más completa del área por lo tanto se utilizarán los datos de esta.

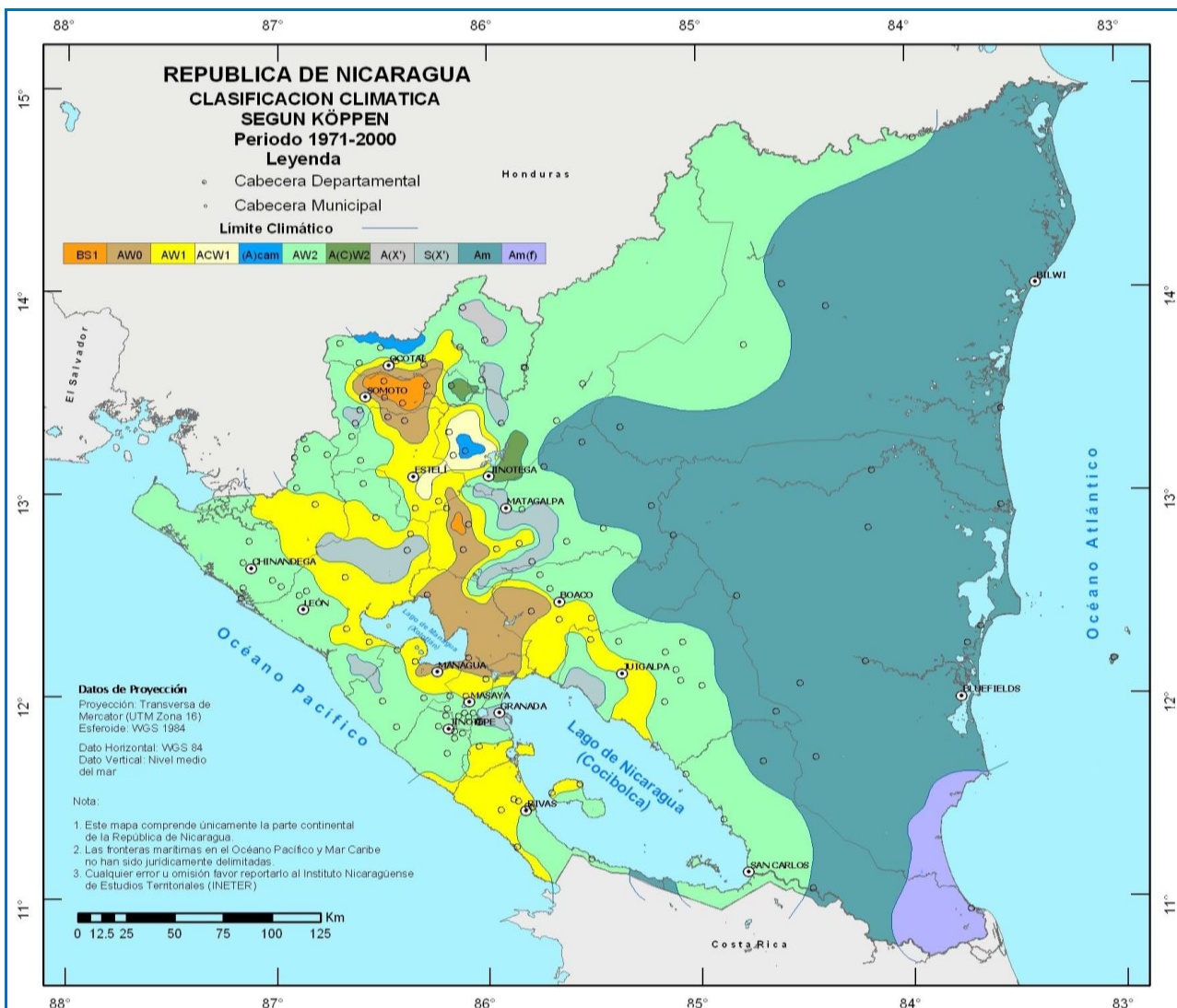


Figura 2 Clasificación Climática de Nicaragua, según Köppen. INETER, 2000.

## I.7. Suelos

### I.7.1. Clasificación Taxonómica

Los suelos del municipio de Belén han sido caracterizados por técnicos de la Universidad Nacional Agraria. La mayor parte de la subcuenca del Río Gil González está cubierta por suelos arcillosos clasificados como Suelos Alfisoles: Series San Rafael y Serie Rivas, Suelos Vertisoles y Entisoles.

Serie San Rafael; son suelos moderadamente profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, arcillosos, rojizos, que se derivan de estratos de poco espesor de lutitas tobáceas. Se encuentran en lomas que forman una serie de cordilleras bajas paralelas a la costa, están asociados con suelos vérticos y Vertisoles que se encuentran en las depresiones y bajuras (Rodríguez *et al*, 2003).

La mayoría de los suelos tienen profundidades de 60 a 70 cm, pero algunas áreas tienen profundidad de 20 a 30 cm., casi todos los suelos que han sido usados para cultivos han perdido mucho de la capa superficial por erosión. Estos suelos ocupan la mayor parte de la subcuenca del Río Gil González, desarrollándose en las microcuencas de la parte alta y media (Acuña, 2008)

Serie Rivas; consiste de suelos profundos a superficiales, bien drenados, pardo oscuros con un subsuelo pardo amarillento oscuro. Se derivan de areniscas y lutitas. Las profundidades de los suelos varían de 25 a más de 90 cm., pero son más comunes las profundidades entre 40 y 60 cm (Acuña, 2008)

Serie Buenos Aires; consiste de suelos francos a franco arcillosos, en pendientes entre 0 y 8 %, profundos, bien drenados, con permeabilidad moderada, capacidad de humedad disponible moderadamente alta y una zona radicular profunda; se derivan de ceniza volcánica reciente que descansa sobre sedimentos más viejos. Puede distinguirse en la parte alta y media del río San Pedro-Las Mesas y las Cañas en las microcuencas del norte, esta serie ocupan el 53.29% del área de la subcuenca (Melgar, 2000).

Suelos Vertisoles en el área de Buenos Aires y Potosí, en la parte media y baja de la cuenca, consisten de arcillas negras y pesadas; son profundos y moderadamente profundos, algo pobremente drenados a pobremente drenados que se han derivado de materiales básicos como ceniza volcánica, toba y basalto, son extensos en el área del Pacífico, especialmente cerca de la costa en las planicies amplias y casi planas, cubren el 17.94 % del área de la subcuenca (Acuña, 2008).

Los suelos aluviales consisten de depósitos de materiales estratificados recientes lavados de las tierras altas adyacentes, de ceniza volcánica, basalto, tobas y areniscas, y que son depositados por los ríos en las tierras bajas.

Estos suelos generalmente se encuentran en áreas angostas y alargadas, y tienen mucha variación en drenaje y textura en distancias cortas, en general son zonas planas. Los depósitos coluviales son los que caen por derrumbe y se acumulan al pie de las zonas escarpadas. Están distribuidos en la parte media de la subcuenca cubriendo el 4.86% del área (Rodríguez, 2003).

### **I.7.2. Uso Potencial del suelo**

El suelo está sujeto a ciertas prescripciones de uso, estas se basan en el criterio de la utilización de la tierra de la manera más rentable, evitando su erodabilidad y empobrecimiento. En la parte alta de la subcuenca (zona de Mata de Caña, San Marcos y Cantimplora), los suelos son aptos para la ganadería silvopastoril, ya que son apropiados para bosques más pasto y bosques de regeneración natural (Rodríguez, 2003).

Los suelos de la parte central son aptos para los cultivos propios de la zona como: maíz, sorgo, tabaco, caña de azúcar, yuca, mangos, aguacates, musáceas, hortalizas, papaya y pastos.

En la zona de Las Mesas y San Antonio de Jocomico, son apropiados para cultivos de plátanos y frutales como la papaya y granadilla. En la zona perimetral a la carretera Panamericana y parte baja de la subcuenca, los suelos son aptos para el cultivo de arroz, sorgo, caña de azúcar y pastos (CIRA-UNAN, 2006).



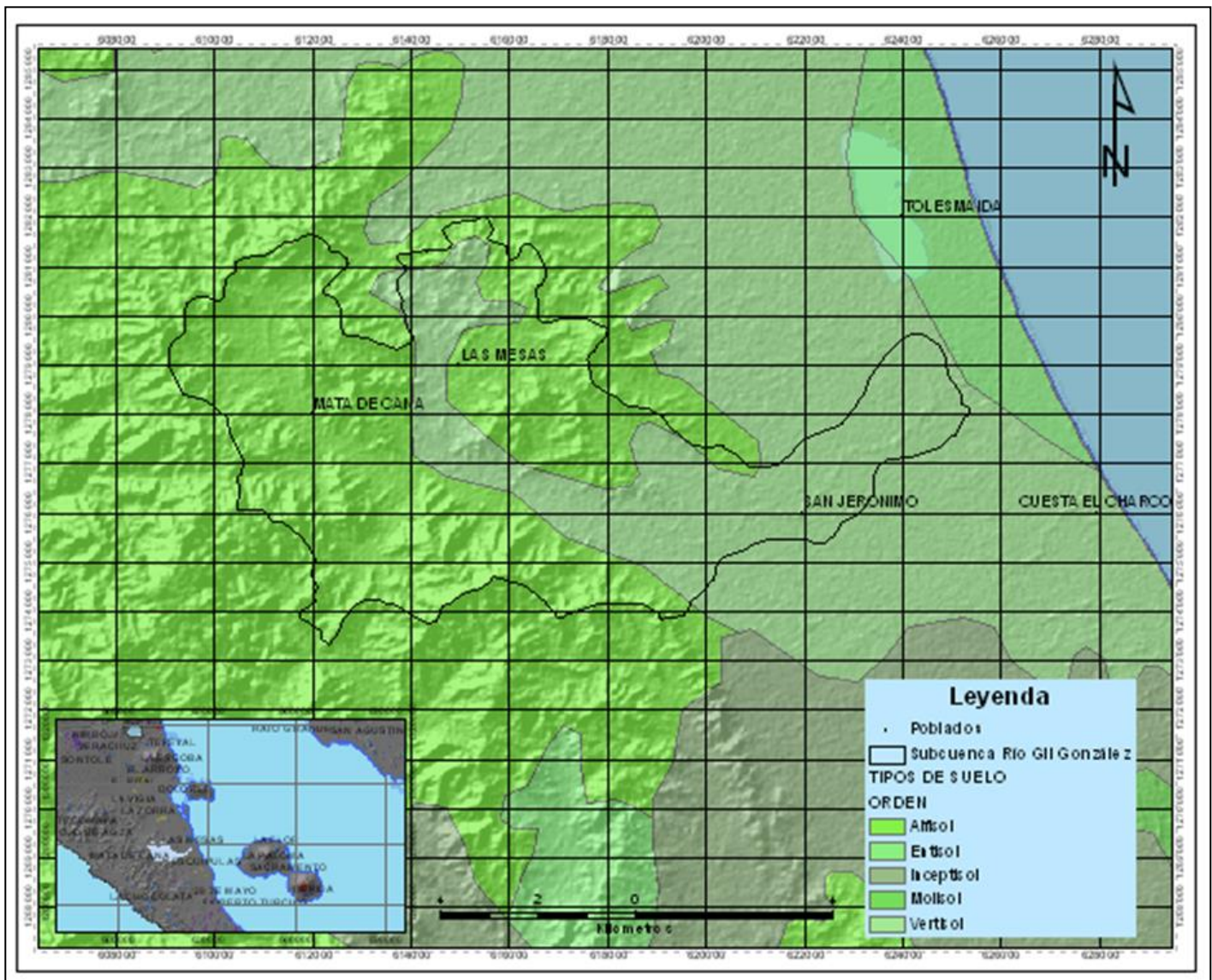


Figura 3 Mapa de Tipos de Suelos de Nicaragua. INETER, 2000

### I.7.3. Uso Actual del Suelo

El 50% del área de la subcuenca es utilizada para actividades agropecuarias tales como; cultivo de arroz y plátano, pastoreo de ganado, cultivo de frutas comerciales como la papaya y granadilla (NFP-Facility, 2004).

La utilización de suelo para cobertura boscosa es del 30%, ya que parte de la zona está siendo fuertemente intervenida por organismos que promueven la reforestación



## I.8. Geomorfología

El municipio de Belén, donde se desarrolla principalmente la subcuenca del río Gil González, está conformado por un relieve montañoso con fuertes pendientes y valles ondulados a planos.

Geomorfológicamente el área de Rivas puede dividirse en;

### a) Las planicies de Rivas.

La Planicie de Rivas es una área de relieve bajo de 7 a 20 Km de ancho bordeando el margen occidental del Lago de Nicaragua. El cambio del terreno hacia el terreno rugoso de la Sierra de Brito marca el contacto aproximado de otra formación geológica.

### b) La Sierra de Brito.

La Sierra de Brito se extiende desde la costa Pacífica hasta unos 6 a 20 Km hacia el oeste, presentando un relieve de 0 a 400 m.s.n.m, es una serranía de tendencia NW-SE interceptada por valles de ríos de orientación NE-SW.

La subcuenca del Río Gil González está conformada por sistemas montañosos de origen tectónico en rocas sedimentarias, con relieve predominante ondulado, desembocando en una amplia planicie. Se pueden distinguir en el área tres tipos de relieve:

**Montañas:** de elevación considerable que alcanzan hasta de 300 m.s.n.m, el relieve es abrupto debido a los materiales sedimentarios resistentes que forman estos terrenos. Se distinguen los cerros Montaña San Cristóbal y La Virgen entre las mayores alturas. Colinas de corte suave, definidas igualmente por la litología del entorno, alcanzan elevaciones medias de hasta 200 m.s.n.m, se aprecian mesetas con relieve plano. El rango de elevación está entre 100 m.s.n.m hasta 300 m.s.n.m.

**Colinas:** fueron originadas por eventos volcánicos asociados al volcán Mombacho que depositó materiales piroclásticos del tipo ignimbritas o tobas soldadas,



generalmente se ubican al pie de las montañas o aisladas entre los valles, pueden ser redondeadas y escarpadas, con pendientes que varían entre 15 a 50%.

**Terrazas:** por lo general son de origen aluvial o volcánico sedimentario asociadas a transporte de masas en períodos de altas precipitaciones, se localizan en los valles, laderas o partes altas de los cerros, sobre los cauces de ríos y quebradas, presenta topografía plana ondulada y pendientes de 2 a 15%.

**Valles:** el río Gil González corre sobre un valle de considerable extensión que puede alcanzar más de un kilómetro de amplitud. Los materiales rocosos primarios se meteorizan y se desprenden de su ubicación original, para luego ser arrastrados por las corrientes o el viento, los que depositados en las áreas planas formando los valles.

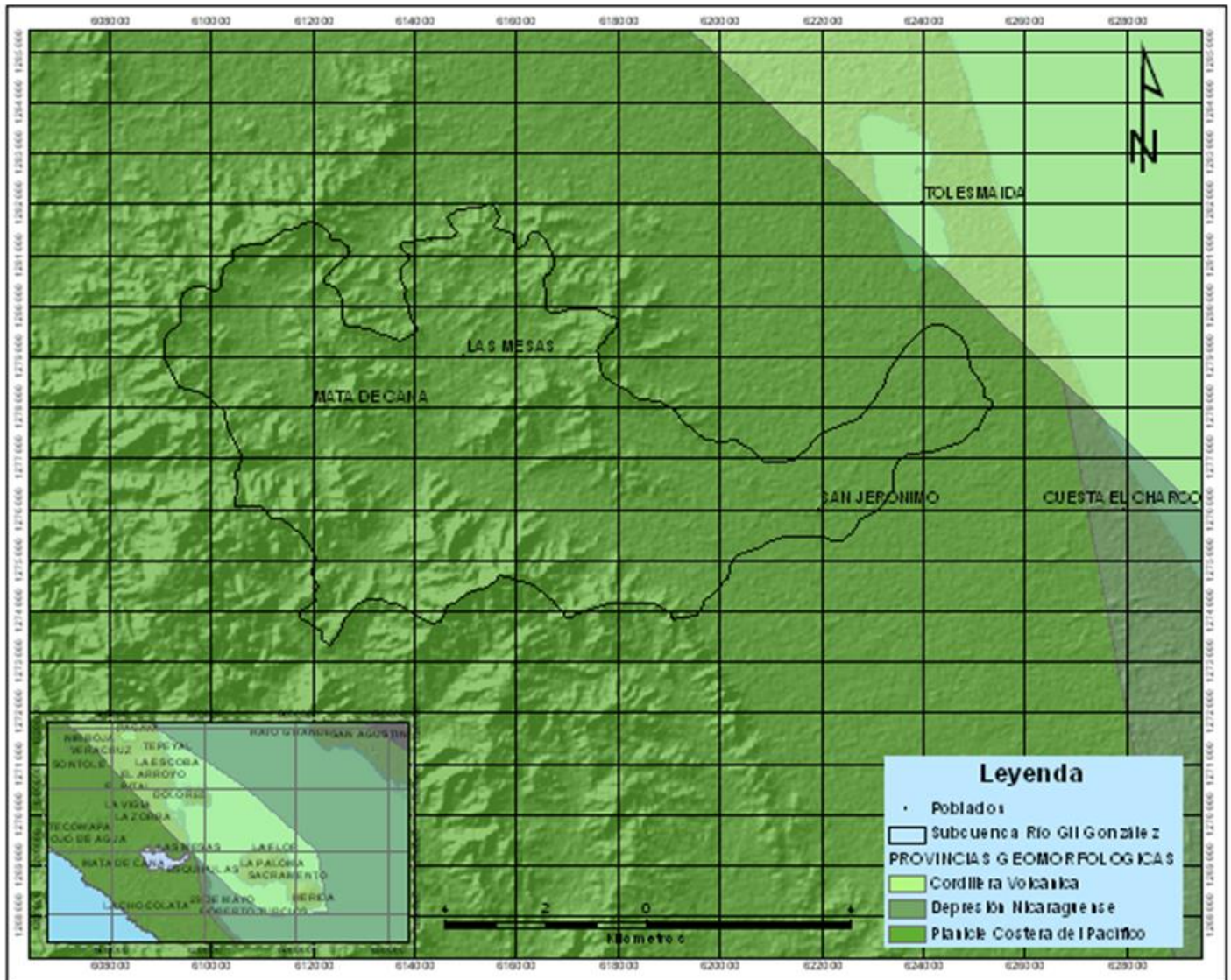
## **I.9. Geología**

McBirney and William (1965) Paz Rivera (1964), dividieron geológicamente Nicaragua en cinco provincias; Planicies Costeras del Pacífico, Depresión Nicaragüense, Provincia Geológica Central y la Planicie Costera del Atlántico, también se incluye la provincia de Nueva Segovia.

La subcuenca Río Gil González se encuentra dentro de la provincia Planicie Costera del Pacífico donde existe un predominio de rocas sedimentarias de edad Cretáceo Superior al Plioceno, rocas volcánicas del Terciario y sedimentos recientes, pertenecientes a las Formaciones Rivas (Kr), Brito (Teb) y rocas volcánicas del Grupo Las Sierras. Paz Rivera (1964), Williams (1965), Parson Corp. (1971), Kuang (1971).

Las formaciones Rivas y Brito están compuestas de materiales sedimentarios detríticos, principalmente areniscas y lutitas. Las rocas se encuentran depositadas en una secuencia que alcanzan un espesor de 9,840 m., (Kuang, 1971).

Las rocas de la formación Rivas se encuentran a escasos metros debajo de la superficie del terreno, sepultada por depósitos coluviales, aluvial, fluvial y lacustre, cuyo espesor total no es mayor de 6 m (Tahal, 1977)



**Figura 5 Geomorfología Regional de Nicaragua. INETER, 2000.**

La formación Las Sierras de materiales volcánicos, y los sedimentos actuales agrupados en formaciones aluviales cuaternarias, se encuentran principalmente en los cauces y partes bajas de los ríos y los sedimentos fluvio-lacustre a la orilla del lago Cocibolca.

A continuación una breve descripción de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

**Formación Rivas (Kr)**, (2,100 m) es la base de la secuencia sedimentaria que forma la columna litología del área pacífica de Nicaragua y consiste de areniscas tobáceas,

margas, calizas y areniscas siendo sobreyacida por la Formación Brito, su contacto no ha sido determinado, por el momento se cree que son concordantes.

Para la separación de estas dos formaciones se ha tomado en cuenta la morfología y características litológicas de los niveles inferiores. La división se ha tomado como un aglomerado y brechas volcánicas de 50 m de espesor observadas en el cuadrángulo de Peñas Blancas y cerca del Peñas Blancas tobas vítreas de 10 m de espesor, (Kuang, 1971)

Así mismo (William, 1971) cree tentativamente que la Capa Sapoá (calizas arrecifales), está comprendida entre la parte inferior de la Formación Brito y la parte superior de la Formación Rivas, en aparente discordancia (?) con esta, se trata de una secuencia local de 50 m.

**Formación Brito (Teb)**, de edad Eoceno y 2,570 m de espesor consiste de areniscas y lutitas calcáreas, calizas y grawacas, se encuentra en discordancia con la Formación Masachapa, observándose un conglomerado basal entre estas, cuyos clastos son mayormente calcáreos y en menor proporción andesita, (Kuang, 1971). Sin embargo (Weinberg, 1992) señala que la discordancia angular reportada por la (ParsonCorp., 1971) 2 Km al Sur de Samaria, es interpretada por él como una discordancia erosional.

**Grupo Las Sierras (TQps)**, formado por una gran variedad de materiales pertenecientes a erupciones piroclásticas con 650 m de espesor, se encuentra interdigitada con la formación El Salto, de acuerdo a esto se le asignado la edad de Plio-Pleistoceno.

Las manifestaciones volcánicas más recientes del área corresponden a las lavas y piroclastos cuaternarios. (QvI, Qv), correlacionadas con la actividad del volcán Mombacho, de edad Plio- Pleistoceno y los volcanes Maderas y Concepción de la Isla de Ometepe.



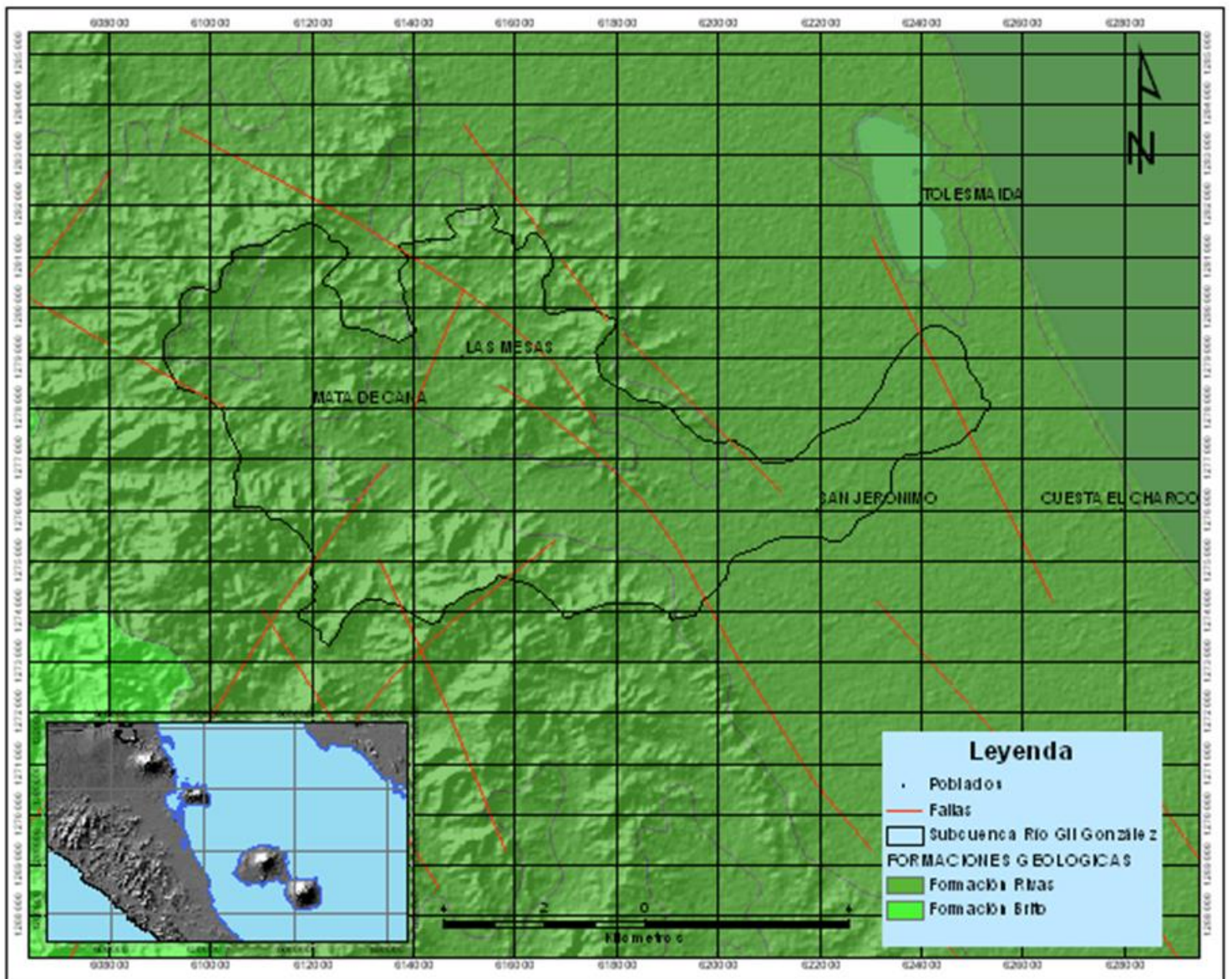


Figura 6. Geología Regional de Nicaragua. INETER, 2000.

### I.10. Geología Estructural

Los estudios para la búsqueda de hidrocarburos en la Costa del Pacífico son numerosos, tanto costa adentro como costa afuera, mediante ellos se han reconocido diferentes estructuras de interés, como lo son el Anticlinal de Rivas, Zoppis (1958), M.F Karin (1963), (Paz, 1964), que presenta una orientación NW-SE, localizándose su centro en las cercanías de la ciudad de Rivas,

considerándosele como parte de una gran estructura anticlinal regional, que se prolonga hacia el NW, Karin (1963).

La subcuenca está bajo la influencia de esta estructura anticlinal, la cual atraviesa por Pueblo Nuevo, al SW, donde es cubierta por los sedimentos aluviales y sigue con dirección NW hasta ser desviado hacia el NE por un sistema de fallas.

McBirney and Williams (1965) dividieron la evolución neotectónica de Nicaragua Occidental en tres fases principales de deformación, posteriormente Weinberg (1992) amplió el estudio de estas, sugiriendo que el anticlinal de Rivas se formó durante la primera fase de deformación, durante el Mioceno Tardío y el Plioceno Temprano.

Cruden, 1988, sugiere que las rocas sedimentarias del pacífico nicaragüense sufrieron dos tipos de deformación; a) Deformación Dúctil y b) Deformación Rígida. La deformación Dúctil fue originada por una compresión regional, originando pliegues asimétricos suaves a gran y pequeña escala, los pliegues tectónicos de los sedimentos compactos y litificados usualmente presentan fallas y fracturas a pequeña escala, principalmente en la charnela de los pliegues.

La deformación Rígida asociada a un cambio en el ángulo de subducción de la placa Cocos por debajo de la placa Caribe, originó pequeñas fallas y fracturas que generalmente distorsionan y desplazan los estratos, son fallas normales de orientación N-S, se pueden distinguir tres principales juegos de diaclasamiento, en orden de importancia decreciente; N-S, NW-SE, ENE-WSW, a ESE-WNW y NE-SW.

Weinberg (1992), afirma que las diaclasas observadas en los afloramientos de las rocas sedimentarias de la Planicie Costera del Pacífico muestran el mismo patrón regular, tal como los dos conjuntos perpendiculares de diaclasas dilatacionales que generalmente se acompañan de dos o tres conjuntos de diaclasas de cizallas, las que son perpendiculares a los planos de estratificación y los dos conjuntos dilatacionales generalmente se orientan perpendiculares a los ejes de los anticlinales. Estos anticlinales presentan amplias zonas de charnela, con planos sub-horizontales y ligeramente ondulados con amplitudes bajas de 1-3 m.



Los sistemas de fallas de dirección NE-SW, NW-SE y E-W, son los más dominante ya que se presenta en toda el área, así mismo la dirección de las fracturas en los sedimentos muestra esta dirección preferencialmente y se presentan rellenas por  $\text{CaCO}_3$  (Rojas B., 2009).

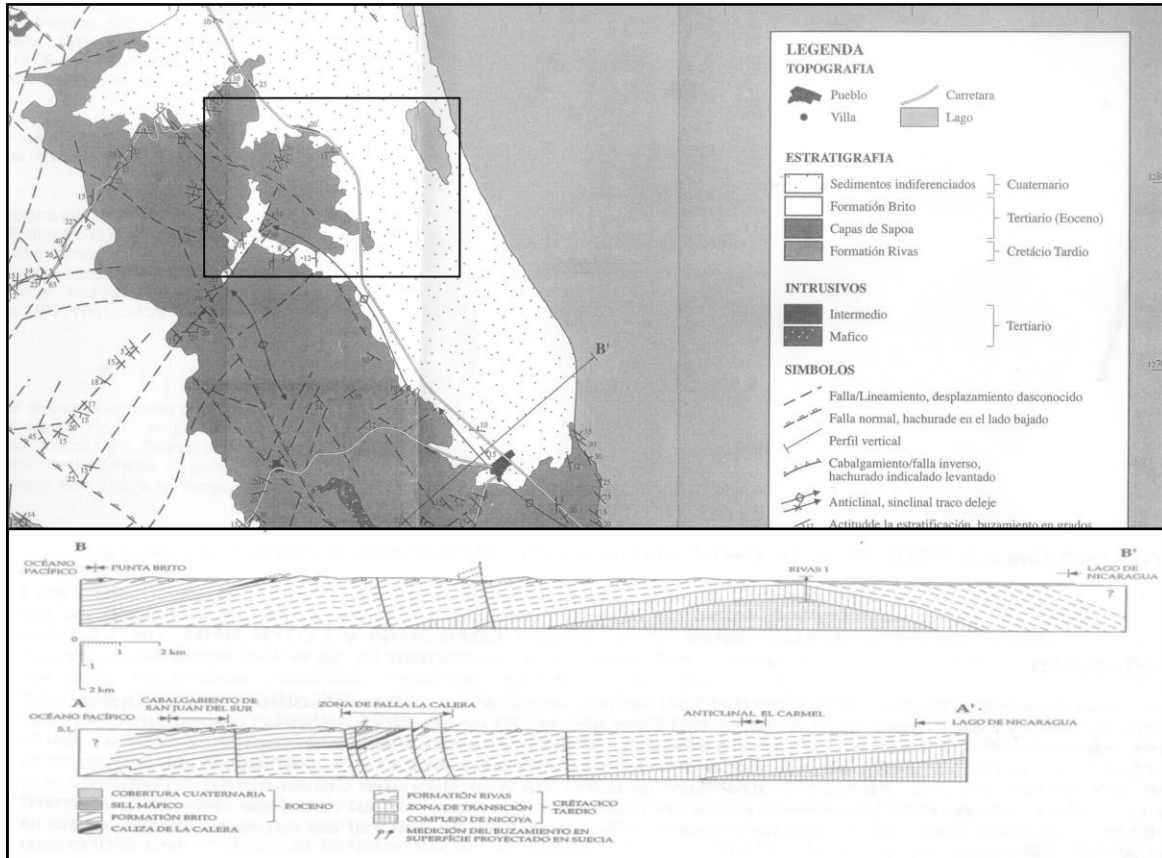


Figura 7. Geología estructural de SW de Nicaragua. Cruden, 1989.

## I.11. Definición de Provincias Hidrogeológicas

De acuerdo a la denominación utilizada por INETER, (Krasny, 1998), el territorio nicaragüense se divide en tres provincias hidrogeológicas:

- Provincia Pacífica.
- Provincia Central.
- Provincia Atlántica.

En el Figura Hidrogeológica del Pacífico de Nicaragua a escala 1:250, 000, (Krasny, 1998) se presenta la subdivisión de la Provincia Pacífica en:

- Subprovincia Rivas-Tamarindo.
- Subprovincia del Graben Nicaragüense.

Dispuestas a sí en base al carácter prevaleciente del medio hidrogeológico, transmisividad y direcciones dominantes de flujo.

**Subprovincia Rivas-Tamarindo;** se extiende a lo largo del océano Pacífico desde la frontera meridional de Nicaragua hasta Corinto al Norte. Se trata de una faja donde afloran las rocas volcánico-sedimentarias del Cretácico (Formación Rivas) y del Terciario (las Formaciones Brito, Masachapa, El Fraile y El Tamarindo) que constituyen la unidad de propiedades hidrogeológica semejantes (Krasny, 1998)

**Subprovincia El Graben Nicaragüense;** representada por la unidad hidrogeológica más importante no solo de la zona pacífica de Nicaragua, aquí en la mayoría del área la demanda de agua para usos potables, industriales y riego se satisface con agua subterránea. Los límites son , al suroeste entre el Grupo de Acuíferos Principales y las Subprovincia Rivas-Tamarindo y al Norte de Corinto hasta la costa Península de Cosigüina, al noroeste el límite aproximado entre el Grupo de Acuíferos Principales y el Grupo Coyol, siguiendo de forma general la supuesta falla noreste del graben nicaragüense (Krasny, 1998)

De forma muy general se puede decir que en Nicaragua los acuíferos conocidos se encuentran los rellenos cuaternarios no consolidados (volcanoclásticos, sedimentarios aluviales, lacustre, y aluvionales). Dada su naturaleza, ellos son mucho más productivos que lo acuíferos que muy localmente se conocen en formaciones no cuaternarias, terciarias volcánicas y terciarias sedimentarias consolidadas.

Los límites del acuífero de Belén, denominado así por desarrollarse principalmente en este municipio, se definen en la parte Noreste y Sureste, a partir de líneas de flujos, en dirección al Lago de Nicaragua, debido a la ausencia de barreras

geológicas. Al Oeste se delimita por las Serranías de Brito, las rocas pertenecientes a la unidad Arcosa (Kra) son las formación geológica que sirve de barrera, que a su vez son la divisoria de aguas de los acuíferos costeros del Pacífico.

Al Este se toma como límite el Lago de Nicaragua, su zona de descarga y al SW con las rocas plegadas de la Formación Rivas, más específico con las unidades Arcosa (Kra) y Lutitas (Krl), (Figura 7).

El nivel de agua se encuentra a escasos metros, en la zona del Humedal de Ñocarime y el Lago de Nicaragua. En las Serranías de Brito puede alcanzar hasta los 100 m.s.n.m.

## **CAPÍTULO II**

### **II. METODOLOGÍA**

Se entiende por zonificación hidrogeológica, la división del área de una cuenca en sub áreas o zonas geográficas caracterizadas por presentar similares características hidrogeológicas, basada en la caracterización de la recarga, geología, tipo de suelos, hidroquímica y parámetros hidráulicos al momento de transmitir agua.

El principal objetivo de una zonificación, es servir como una herramienta para planificar el uso y manejo sostenible de una cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos, dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.

Para formular la zonificación se utilizó información climática, de suelos (capacidad máxima de retención unitaria, tipo de suelos) y de usos del suelo (profundidad radical), condiciones geológicas, características químicas presentes en el agua del acuífero y en aspectos hidrogeológicos.

Todo estudio inicia con el planteamiento de un modelo conceptual que permita determinar la dinámica hidráulica de una cuenca o de un acuífero, calcular el balance hídrico subterráneo, abatimientos y zonas de recarga.

Para realizar el modelo conceptual de la subcuenca y el acuífero, se llevaran a cabo las siguientes etapas de trabajo:

#### **II.1. Etapa Preliminar**

Consistió en la obtención de información secundaria, relacionada a actividades de gabinete: recopilación bibliográfica en las Alcaldías, CIRA-UNAN, visita a instituciones gubernamentales como INETER, MAGFOR, INTA, ENACAL, MARENA e información electrónica.

Se recopiló información de tipo de cultivos, datos meteorológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, hidráulicos y geológicos. Esta información fue fundamental para la

interpretación del modelo conceptual del acuífero, así como la definición de las aéreas para el trabajo de campo.

En base a los mapas de la zona de estudio, mapas geomorfológicos de escala regional y semiregional, fotografías aéreas, imágenes satelitales e interpretación de mapas de elevación elaborados en ArcGis, se definieron las áreas con igual similitud en la forma del relieve, pendientes y tipos de rocas.

Datos de climatología sirvieron para la realización del Balance Hídrico por el método de Thornthwaite. Este método es el que comúnmente se aplica en Hidrogeología para el cálculo de infiltración de lluvia útil, que se ha considerado como esencial de los recursos renovables de un acuífero.

## **II.2. Etapa de Campo**

La etapa de campo correspondió a la obtención de una base de datos actualizada, para interpretar el modelo conceptual de la subcuenca y comparar la información ya existente del área con la recopilada en campo, logrando determinar el comportamiento del agua subterránea a través del tiempo.

### **II.2.1. Geología y Geomorfología**

Esta etapa inicio con un reconocimiento geológico del área dentro de la subcuenca, lo que permitió conocer las unidades geológicas que forman el medio hidrogeológico del acuífero. En este reconocimiento se definieron tipos de roca, color y textura, inclinación, fracturamiento, densidad y dirección de estas, espesor de las unidades geológicas.

El conocimiento de la geología del acuífero es indispensable para la formulación del modelo hidrogeológico conceptual. Se partió de los mapas geológicos existentes (escala regional); de información secundaria como fotografías aéreas, imágenes satelitales y de radar. Luego se realizaron los estudios geológicos a escala semidetallada o a detallada (escalas 1:20,000) con caracterizó la litológica,

estratigrafía, geología estructural y permeabilidad de cada una de las unidades identificadas.

En este caso por tratarse de medios fracturados, el trabajo de campo incluyó un levantamiento detallado de datos estructurales, tomando además de la disposición estructural (rumbo y buzamiento) de cada discontinuidad estructural y otros parámetros necesarios como: Densidad de fracturamiento, Continuidad, etc.

Paralelo a esta actividad se comprobaran las unidades geomorfológicas previamente definidas en la interpretación de fotos aéreas, imágenes satelitales y mapas existentes.

### **II.2.2. Hidrología**

Para la medición de las velocidades de las corrientes de un río se emplean los medidores de corrientes o molinetes que pueden ser de eje vertical u horizontal, en ciertos casos se usan flotadores y trazadores como sales, colorantes e isótopos entre otros (IDEAM, 1999)

En los ríos se mide en forma indirecta por el método de vadeo, teniendo en cuenta que:

$$Q [m^3/s] = V [m/s] \times A [m^2]$$

**Donde:**

**Q [m<sup>3</sup>/s]:** Caudal que atraviesa la sección de aforo.

**V [m/s]:** Velocidad del flujo de agua en la sección de aforo.

**A [m<sup>2</sup>]:** Área de la sección de aforo.

Esto se hace a través de verticales referidas a las márgenes en las que se mide profundidad y velocidad. Se determinan áreas parciales y velocidades medias en las áreas parciales con las cuales se obtienen caudales parciales, cuya sumatoria arroja el caudal total.

Fueron establecidas ocho estaciones de aforo a lo largo del río Gil González y dos de sus principales tributarios, durante el período 2010-2011. Se realizaron aforos mensuales con el fin de obtener los volúmenes de esorrentía y flujo base.

### **II.2.3. Hidrogeología**

Esta etapa inició con la determinación de la dinámica del acuífero a partir de la definición del tipo de acuífero. Según la presión del agua y las relaciones de conductividad hidráulica acuífero - capa sobreyacente se dividen en: Acuíferos Libres, Confinados, Semiconfinado. Según las características de las rocas en; Acuicludo, Acuíardo y Acuífugo. La determinación se realizara a través del conocimiento del medio geológico y las características de permeabilidad observadas en el campo, así como la recopilación de datos existentes de pruebas de bombeo, litología de pozos y datos de características hidráulicas del acuífero.



**Foto 1. Medición de la relación aguas superficiales y aguas subterráneas, mediante el uso de un minipiezómetro.**

#### **II.2.3.1. Inventario de fuentes de agua subterránea**

El inventario de puntos de agua subterránea consiste en levantar la información debe contener registros sobre los pozos, norias, humedales, manantiales y los

aflorescimientos de agua. Esta información, junto con la hidrología, geología y geofísica permitirá entender el sistema de flujo en la zona de estudio.

Este trabajo se inició con la recolección de información secundaria existente en las entidades ambientales, públicas e instituciones de investigación de la zona. Posteriormente se realizaron recorridos de campo para investigar la existencia de nuevos puntos y verificar las condiciones de los identificados en el análisis de la información secundaria, todos estos se ubicaron en el mapa geológico.

### **II.2.3.2. Mapas Piezométricos y Redes de Flujo**

Se realizó un inventario de pozos que consistió en la medición de niveles estáticos del agua, en las estaciones de verano e invierno; y parámetros fisicoquímicos de campo (conductividad eléctrica, pH, temperatura); que ayudan a entender la dinámica del acuífero. De igual forma se realizó inventario de uso y consumo para cuantificar la extracción existente en el acuífero.

La información de uso y consumo, así como datos de profundidad del pozo, caudal extraído, usos del agua, tipo de pozo, protección del pozo, tiempo de construcción del pozo, se realizó a través de encuestas a los diferentes actores sociales, que hacen uso del recurso hídrico subterráneo.

Los niveles estáticos de agua y la elevación del terreno, obtenida por GPS, permitió crear la figura de la superficie piezométrica o isopiezas y figuras de redes de flujo de la estación de invierno. Se consideró la topografía del terreno para la elaboración de superficies piezométricas.

### **II.2.3.3. Relación Agua Subterránea-Agua Superficial**

Para un mejor entendimiento de la interacción de las aguas subterráneas y superficiales, así como el caudal de entrada de agua al acuífero 11 minipiezómetros y 10 Seepages.



Los 11 minipiezómetros a una profundidad de promedio de 2.5 m, estas pruebas se basaron en la extracción de una cantidad conocida de agua durante un período de tiempo, con el efecto del descenso del nivel de agua en el minipiezómetro donde esta se realiza y posterior a estos observar el nivel al cual llega el nivel del agua dentro del tubo.

Se utiliza la siguiente ecuación: de la Ley de Darcy (Darcy, 1856)

$$Q/A = K (dh/dl).$$

$$i = (dh/dl)$$

Donde:

*i*: Gradiente Hidráulico

*dh*: Diferencia de altura entre el agua a nivel del río y agua dentro del tubo piezométrico.

*dl*: longitud de la rejilla del piezómetro.

El signo del valor obtenido indicara si el acuífero es quien aporta al río o viceversa.

Las 10 pruebas Seepages se realizaron en los mismos sitios donde se colocaron los minipiezómetros, esta prueba consiste en la introducción de un cámara abierta de 17 cm de radio y 30 cm de alto, con un tubo en la parte superior donde se coloca una bolsa plástica sujeta con una banda plástica para asegurar que no se suelte (USGS, 2006)

Se utiliza la siguiente ecuación: de la Ley de Darcy (Darcy, 1856)

$$Q/A = K (dh/dl).$$

Se calcula Q/A de la siguiente manera:

$$\frac{Q}{A} = \frac{\text{Volumen que filtro dentro o fuera de la Bolsa}}{\text{Tiempo elapsado por area trnasversal del medidor}}$$

De una manera más directa a partir de los datos de campo se obtiene:

$$Q = \frac{(Vf - Vo)}{tA}$$

Donde:

**Q**= Flujo de aporte o descarga del rio al acuífero o viceversa.

**Vo**= Volumen Inicial de agua dentro de la bolsa.

**Vf**= Volumen Final de agua dentro de la bolsa.

**t**= Tiempo de duración de la prueba.

**A**= Área transversal de la cámara.



Foto 2. Prueba Seepage para determinar la dinámica del acuífero con los ríos.

#### II.2.4. Pruebas de Infiltración

Se realizaron pruebas de infiltración para determinar la recarga al acuífero. Los sitios se seleccionaron de acuerdo al tipo y uso de los suelos. Se utilizó el método de doble cilindro o infiltrometros, con una duración de 6 a 8 horas. En total se ejecutaron 28 ensayos. Con la información generada en las pruebas de infiltración se calculó el coeficiente de infiltración para la determinación de la recarga potencial.

Para poder obtener datos de infiltración se utilizará el Balance Hídrico de Suelos (BHS) que permite conocer la cantidad de agua que infiltra dentro del acuífero a través de la precipitación. Los parámetros que se evalúan son;

- Precipitación media mensual (mm).
- Coeficiente de Infiltración ( $C_f$ ) =  $0,88 C$ , y  $C = K_p + K_v + K_{fc}$  (Metodología: “Schosinsky, G. y Losilla, M., 2000, Modelo analítico para determinar la infiltración con base a la lluvia mensual”). (Shosinsky G., M. Losilla, 2000)
- Capacidad de Infiltración ( $F_c$ ): Pruebas de campo o tablas de propiedades físicas de suelos.
- Capacidad de campo de suelos (promedio típico): Pruebas de laboratorio o tablas de propiedades físicas de suelos: Amisial y Jegat, Banco de Programas, CIDIAT u otras.
- Punto de marchitez de suelos (promedio típico): Pruebas de laboratorio o tablas de propiedades físicas de suelos.
- Evapotranspiración potencial media mensual (Método de Hargreaves).

Posteriormente se procedió a zonificar la subcuenca por aéreas de recarga, el criterio utilizado fue comparar los valores de las pruebas en las microcuencas, posteriormente se categorizó la recarga y se organizaron zonas de acuerdo a similitudes en cuanto a porcentajes de infiltración, respecto a la precipitación total en la subcuenca.

## **II.2.5. Isótopos**

Los contenidos de los isótopos estables pesados de oxígeno ( $^{18}\text{O}$ ) y deuterio ( $^2\text{H}$  o  $\text{D}$ ) son utilizados como trazadores del origen de las aguas subterráneas dado que sus contenidos se consideran conservativos una vez que el agua ha entrado en el acuífero, es decir, sus contenidos (por ejemplo; relación  $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ ) no se ven afectados por las interacciones del agua con la matriz del acuífero (G.Mook, P. Fritz and J.Ch.Fontes, 1980). Por esto, las concentraciones de isótopos estables se utilizan para determinar el origen de la recarga, ya sea éste de agua de lluvia, de un río o un lago.

Durante el período lluvioso se recolectaron 21 muestras de agua para análisis de isotopos estables,  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$ , que incluyen ríos, manantiales, pozos (excavados), canales de riego, lagunas y el lago Cocibolca, con el fin de determinar zonas de recarga, la relación entre las aguas subterráneas y superficiales. Este análisis ayuda a determinar si el agua subterránea descarga directamente al lago Cocibolca a través de la laguna de Ñocarime.

La campaña de muestreo se realizó a finales del período lluvioso (Noviembre), las muestras se colectaron en las horas más frescas del día en recipientes herméticos de polietileno de alta densidad (HDPE) de 50 ml; los parámetros de campo conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, temperatura, fueron medidos simultáneamente.

### **II.3. Etapa de Interpretación**

En esta etapa se elaboró el modelo conceptual, que consiste en la identificación de las unidades hidroestratigráficas, las condiciones de fronteras, la dinámica del acuífero y las condiciones de explotación. Se generó una base de datos procesados de forma automatizada en Office, sistemas de información geográficos (ArcGis 9.2) y Surfer.

Con toda la información obtenida se calculó el balance hídrico superficial y subterráneo, para la evaluación de la disponibilidad de agua dentro de la cuenca y el acuífero.

#### **II.3.1. Balance Hídrico Superficial**

Las técnicas del balance hídrico, uno de los principales objetivos en hidrología, son un medio para solucionar importantes problemas hidrológicos teóricos y prácticos. A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre.

El cálculo de balances hídricos "medios" de una cuenca para un ciclo anual completo (año hidrológico), que es, la forma frecuente de calcular el balance hídrico, proporciona información inicial sobre los recursos de agua de la cuenca.

La ecuación, del balance hídrico de una cuenca, para un período de tiempo largo, se puede expresar así:

$$P - Q - E = 0$$

En la ecuación del balance hídrico todos los elementos del balance son valores medios de la cuenca.

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada, ETP calculada a partir de Thornthwaite, podemos estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año.

### **II.3.1.1. ETP por el Método de Thornthwaite**

El método de Thornthwaite, (Thornthwaite, 1948) fue desarrollado a partir de datos de precipitación y escorrentía para diversas cuencas de drenaje. El resultado es básicamente una relación empírica entre la ETP y la temperatura del aire. A pesar de la simplicidad y las limitaciones obvias del método, funciona bien para las regiones húmedas.

Thornthwaite y Mather, (Thornthwaite and Mather, 1995), quienes conocieron que la radiación solar y la turbulencia atmosférica son factores de importancia en la ETR, han establecido que el problema de desarrollar una fórmula para la ETP permanece aún sin resolver. Los métodos que incluyen flujo de vapor y balance de calor requieren datos meteorológicos que, o no son medidos o son observados en pocos puntos, muy espaciados.

Por el contrario, la fórmula empírica de Thornthwaite puede ser usada para cualquier zona en la cual se registran la Temperatura máxima y Temperatura mínima diarias.

La fórmula de Thornthwaite es la siguiente:

$$ETP = 16 (10T/I)^a$$

**Donde:**

**ETP:** evapotranspiración en mm.

**I:** índice calórico, constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales  $i$ , donde  $i$  es función de la temperatura media normal mensual [ $i: (t/5)^{1,514}$ ].

**T:** temperatura media mensual (no normal) en °C

**a:** exponente empírico, función de **I**

$$\underline{a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49239}$$

Se procede finalmente a corregir el valor de ETP en base a la duración del mes y longitud del día. Para ello, entrando con la latitud de la estación y el mes correspondiente se obtiene un factor que, multiplicado por ETP mensual da la evapotranspiración ajustada.

Para calcular el balance hídrico medio anual de una localidad, se consideran la evapotranspiración potencial ajustada y la precipitación.

Para esto se utilizó el cálculo mensual de las diferencias entre precipitación y evapotranspiración, las diferencias, positivas o negativas, se consideran como déficit o almacenamiento.

### **II.3.2. Balance Hídrico Subterráneo**

La recarga natural de un acuífero puede darse por precipitación, por aguas superficiales, es decir, a través de ríos y lagos, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de acueducto o alcantarillado o por infiltraciones de embalses y depósitos.

La determinación de la recarga es fundamental para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual y su correcta estimación es una de las claves para el

buen manejo y sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo. En general la recarga por lluvia es la más importante, mientras que la recarga producida por ríos es importante en climas poco lluviosos y la debida a fugas en redes de acueducto y alcantarillado es de gran importancia en zonas urbanas.

***Entradas de agua = Salidas de agua del acuífero ± Diferencia en el almacenamiento.***

$$R_p = ExP - R_{ret} + FIB + Q_{Prof.} + R_r \pm Q_{trasv} \pm \Delta S$$

**Donde:**

- R<sub>p</sub> = Recarga potencial.
- ExP = Extracciones por pozos y captaciones de manantiales.
- R<sub>ret</sub> = Recarga de retorno.
- FIB = Flujo base y descarga libre de manantiales.
- Q<sub>Prof.</sub> = Flujo profundo.
- Q<sub>trasv</sub> = Flujo de trasvase.
- R<sub>r</sub> = Recarga rechazada.

Se considera que la infiltración del agua, está de acuerdo al tipo de suelo y de cultivo (recarga directa), retorno de riego, recarga lateral y extracción de pozos. Para el cálculo de la recarga se utilizaran datos de precipitación y evapotranspiración potencial de tres estaciones cercanas: Nandaime, Rivas y CASUR, para el año hidrológico 2010-2011. Se comprueba la recarga potencial con la obtenida usando la norma histórica de precipitación del período 1994-2004. Este valor se toma como recarga potencial promedio.

Se elaboraron gráficos y figuras temáticos a escala 1:11 000. La figura del mapa hidrogeológico resume la información geológica, sistemas de fallas, puntos de basamentos, perfil hidrogeológico, piezometría, rangos de profundidades del agua y las características hidráulicas de la subcuenca.

### **II.3.3. Zonificación Hidrogeológica**

Para formular la zonificación se utilizó información climática, de suelos (capacidad máxima de retención unitaria, tipo de suelos) y de usos del suelo (profundidad

radical), condiciones geológicas, características químicas presentes en el agua del acuífero y en aspectos hidrogeológicos.

El principal objetivo de una zonificación fue la división del área de la subcuenca en sub áreas o zonas geográficas caracterizadas por presentar similares características hidrogeológicas, basada en la caracterización de la recarga, geología, tipo de suelos, hidroquímica y parámetros hidráulicos al momento de transmitir agua.



## **CAPITULO III**

### **III. RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **III.1. Caracterización Climática**

Dentro de la subcuenca Río Gil González no existen estaciones meteorológicas que permitan poder contar con datos de precipitación y temperatura cercanos a la realidad del área, sin embargo existe una estación meteorológica cercana al Ingenio Benjamín Zeledón- CASUR, 10 al NE del límite sur de la subcuenca, la que cuenta con registros continuos; la base de datos es de 1994 a 2005, la que puede ser de utilidad en la valoración de antecedentes.

Así mismo, existen otras estaciones meteorológicas cercanas que cuentan con datos de registros son; Estación La Virgen, ubicada a 16 km al SE de la subcuenca, Estación Tola ubicada a 22 km al SW, Estación San Juan del Sur a 25 Km al SW.

La estación Rivas, que se encuentra a 15 km al sur del límite de la subcuenca, cuenta con registros más completos del área por lo tanto se utilizaron los datos de esta para los cálculos de balance hídrico. La estación Rivas cuenta con registro continuos desde 1967 a 2009.

##### **III.1.1. Precipitaciones**

La Tabla No.1 muestra los valores promedios de la estación meteorológica Rivas. El mes con más días de lluvia es Septiembre, en el cual se registra un acumulado promedio de 288.1 mm, seguido de Octubre con 291.3 mm. Al comparar los datos de las estaciones meteorológicas Rivas y CASUR, se puede observar, que las variaciones son mínimas a pesar que los períodos de comparación son diferentes (Gráfico 1).

**Tabla 1. Valores promedio de precipitación de la estación Rivas.**

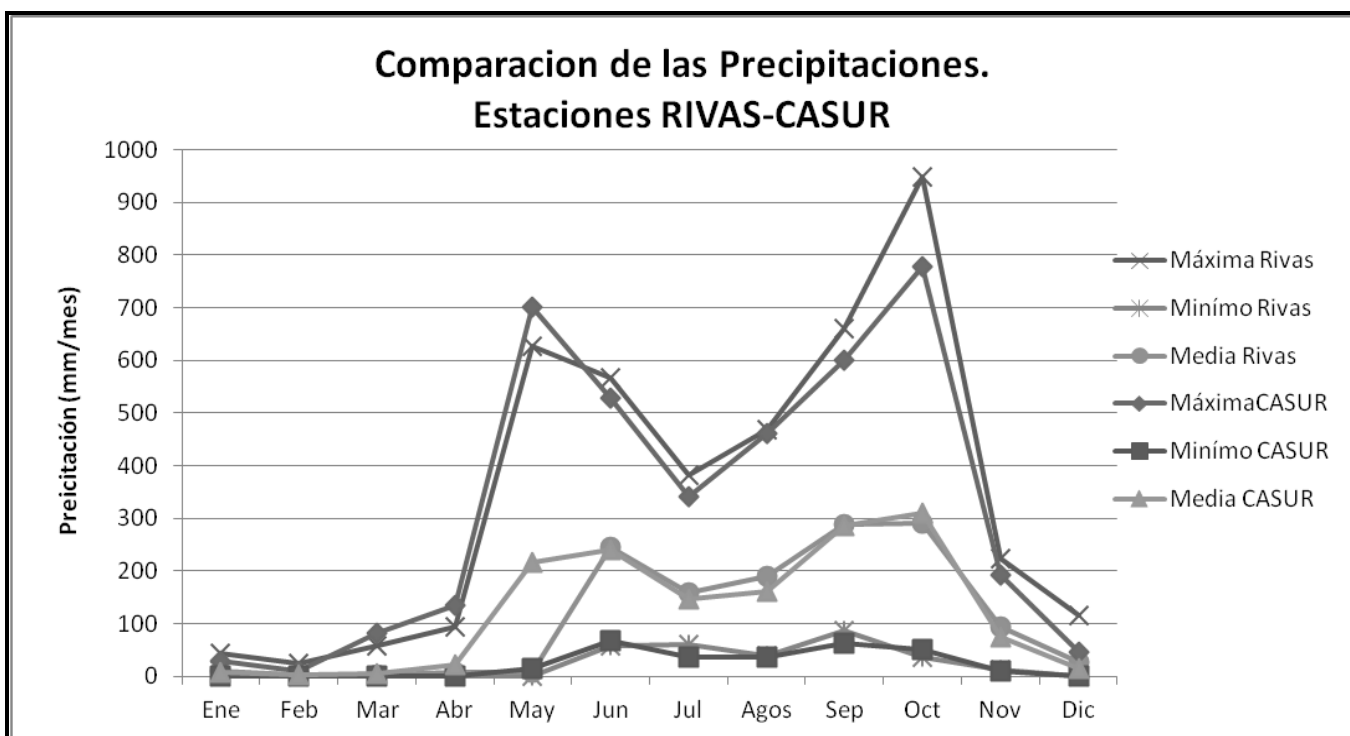
Estación/Período	Ene	Feb	Mar.	Abr	Mayo	Jun	Julio	Ags.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Acm. Anual
CASUR 94/04	13.9	2.1	1.8	10.2	175	236.1	150.5	177.9	302	343.5	115.1	15.81	1543.9
Rivas 94/04	15.9	4.7	1.9	6.4	165.4	212.8	155.9	162.9	313.2	296.3	120.6	22.31	1478.5
Rivas 69/04	10.1	3.8	3.8	8.7	167.7	236.4	157.3	184.8	291	273.5	94.5	27.64	1459.1
Rivas 71/04 NH	11.5	4.1	2.5	10	161.8	242.2	148.2	191.4	292.9	260.7	95.5	29.4	1450.3
Media	12.8	3.8	2.5	8.8	167.5	231.9	153	179.2	299.8	293.5	106.4	23.79	1482.9

El acumulado promedio anual de precipitación es de 1327.9 mm para la estación Rivas en el período 1967-2009 y 1485.7 mm para la estación CASUR en el período de 1957-2008, las precipitaciones generalmente no superan los 300 mm por mes. Estos valores son excedidos durante los eventos extremos asociados al fenómeno del Niño (INETER, 2003). Durante todo el año se registran precipitaciones, debido a la influencia de los vientos, que arrastran la brisa del Lago de Nicaragua. Esta situación aporta ligeras lluvias en el Istmo de Rivas en los meses de verano (Tabla 1).

### **III.1.2. Temperatura**

Próxima, a la Subcuenca Río Gil González, se encuentra la Estación Meteorológica Rivas que cuenta con datos climáticos completos de precipitación desde 1967 hasta 2009 y de temperatura de 1971 a 2000, lo que permite conocer los promedios de precipitación y temperatura, cuyos valores oscilan entre 1328 mm y 27 °C, respectivamente.

Las variaciones de temperatura media son mínimas, predominando temperaturas altas en los meses de Marzo y Abril, y menores en Diciembre y Enero (Gráfico 2).



**Gráfico 1. Comparación del acumulado de Precipitación Estaciones Rivas y CASUR. 1967-2009 y 1957-2008.**

En cuanto a la temperatura solamente la estación Rivas cuenta con datos de este parámetro climático, la variación es baja y se presenta de manera estacional, predominando las temperaturas altas en verano (Marzo y Abril) y las menores en Diciembre y Enero, coincidiendo con las variaciones globales (Tabla 2).

**Tabla 2. Valores promedios de temperatura obtenidos en la estación Rivas.**

Parámetro	Período	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
Media	68/04	26.2	26.3	27.6	28.6	28.4	27.3	26.9	27.4	26.8	26.8	26.6	26.3	27.1
Media	94/04	26.2	26.3	27.6	28.5	28.3	27.2	26.9	27.2	26.7	26.5	26.4	26.4	27.1
Maxima	94/04	28.0	27.5	29.3	30.2	29.3	28.1	27.6	27.8	27.6	27.1	26.9	27.6	27.4
Minima	94/04	25.0	24.2	26.6	27.8	27.0	26.6	26.5	26.5	25.4	25.6	25.8	25.4	26.5
Maxima	68/04	28.0	27.5	29.4	30.3	30.6	28.2	28.1	28.0	28.1	28.2	27.6	27.6	28.1
Minima	68/04	24.0	24.2	26.3	27.1	27.0	25.9	25.6	25.8	25.1	25.6	25.3	25.1	26.0

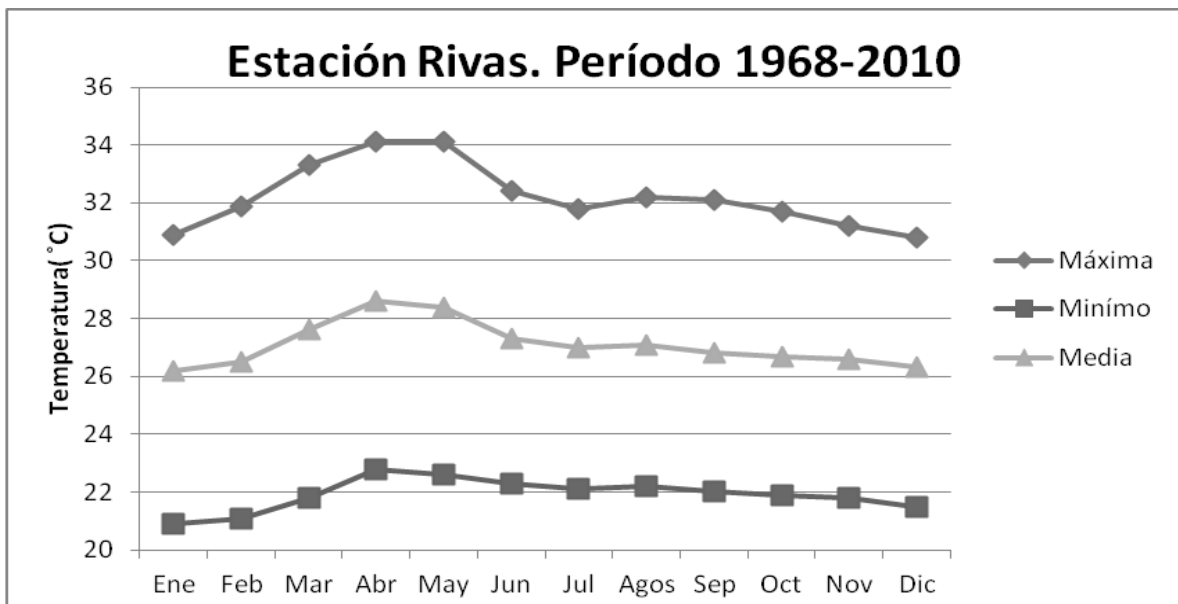


Gráfico 2. Comportamiento de la Temperatura en Estación Rivas (Período 1968-2010).

### III.1.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración es el término común que denota la pérdida de humedad a través del suelo y por la transpiración de las plantas, es decir; es la suma de todas las pérdidas de agua, sea cual fuere el factor que ha actuado (Thornthwaite, 1948).

La evapotranspiración se calculó a través del método Thornthwaite (Thornthwaite, 1948), utilizando los registros de temperatura de las estaciones ubicadas en Rivas correspondiente al período de 1968-2010.

La evapotranspiración potencial para el período 1968-2012 fue de 1739.2 mm, en el gráfico 3 se puede observar que los meses con más alta tasa de evapotranspiración son; Abril, Junio y Julio. Esto se debe a la incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre de forma perpendicular en estos meses, el resto del año se comporta de manera casi homogénea.

Se estima que un 32% de las precipitaciones regionales, provenientes tanto de la región central como del pacífico, y los fenómenos locales, de brisa marina y del Lago

Cocibolca, se evapotranspiran, siendo este fenómeno influenciado por el tipo de suelo, vegetación y áreas de riego (FAO, 2000).

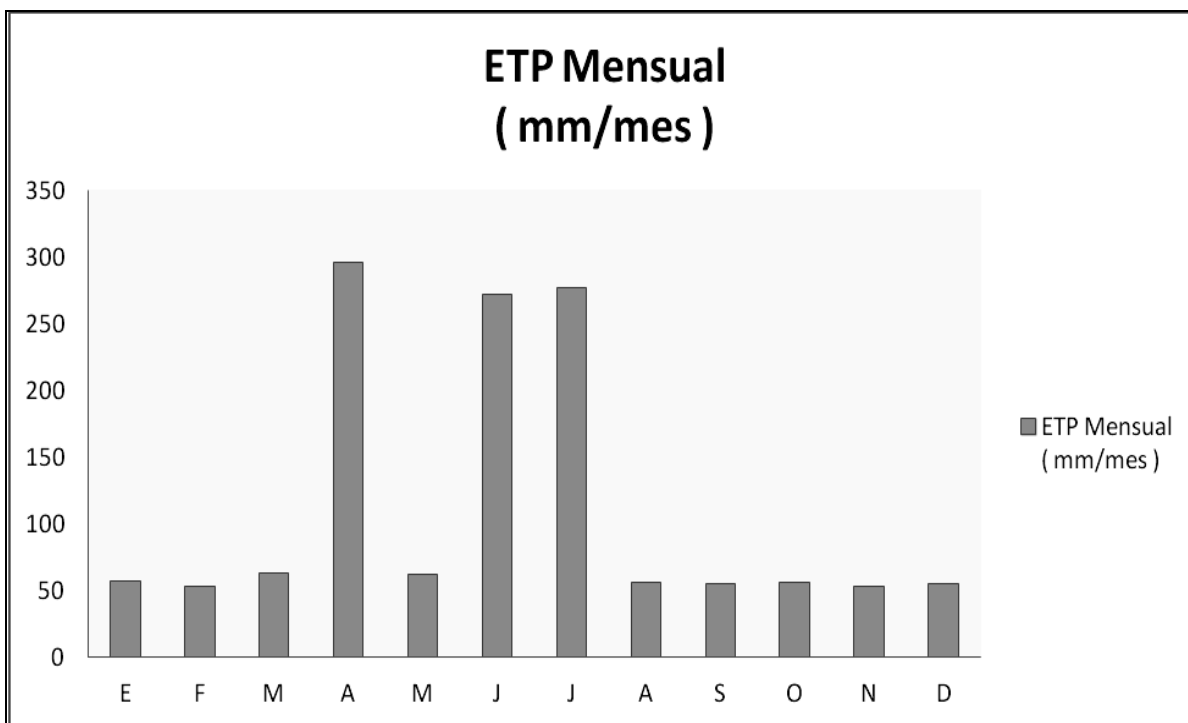


Gráfico 3. Variación de la ETP durante el período 1968-2012. Los meses más calientes tienen los mayores valores de ETP.

## III.2. Medio Físico

### III.2.1. Geomorfología

La subcuenca del Río Gil González está conformada por relieve montañoso de origen estructural, originados por la actividad tectónica relacionada a la zona de subducción de la Placa Cocos, de origen oceánico y la Placa Caribe de origen continental frente a las costas pacíficas de Nicaragua. El relieve predominante es escarpado a muy escarpado debido al fallamiento de las rocas que forman esta subcuenca. Morfológicamente presenta pendientes de  $25^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  de suaves a moderadamente inclinadas y escarpadas.

Se pueden distinguir tres tipos de relieves muy marcados, dominados por el tipo de roca y el grado de desgaste por intemperismo (Figura 5).

**Relieve Montañoso:** este tipo de relieve está desarrollado sobre rocas de la Formación Rivas (Krs), areniscas, arcosas, lutitas e intercalaciones de areniscas y lutitas, ocupa la mitad de la extensión en el área y corresponde a la superficie de mayor inclinación generalmente con pendientes escarpadas. Los valores de inclinación oscilan entre 25° a 30°.

Los sectores con mayor pendiente corresponden a relieves de tipo espinazos, un paisaje monoclinal constituido por estratos alternos de diferente consistencia, dispuestos en la ladera estructural en un patrón escalonado de lajas triangulares o chevrones (Kuang, 1971).

En las laderas se presentan corriente intermitente que forman quebradas o barrancos de poca profundidad (menores de 10 m), con cabeceras en proceso de erosión remontante.

Erosión remontante al proceso de expansión de una cuenca hidrográfica mediante la erosión o incisión fluvial en la parte alta de sus ríos o barrancos, la que tiene lugar en las zonas donde hay suficiente área de drenaje (es decir, suficiente escorrentía) y se forma un canal fluvial capaz de arrastrar grava y rocas. Al incidir en la roca, el canal genera una mayor pendiente con respecto a la parte inmediatamente superior de la cuenca de captación, lo cual favorece la propagación de la incisión río arriba.

La erosión fluvial está controlada por fracturas o fallas. Los barrancos no tienen continuidad en el relieve ya que al entrar en contacto con las planicies desaparecen formando pequeños valle.

Este tipo de relieve se encuentra dominado por las mayores elevaciones dentro de la subcuenca, que oscilan entre 200 y 320, msnm se distinguen los cerros Montaña San Cristóbal y La Virgen entre las mayores elevaciones.

**Colinas:** entre mezclado con el relieve ondulado y siguiendo una dirección NE –SW, se encuentra un sistema de lomas y colinas, con escasa a moderada disección fluvial. Presenta pendientes que tienen un rango entre 15° y 25°, van de suave a moderadamente escarpadas.

Definido igualmente por la litología del entorno, alcanzan elevaciones medias de 175 m. Pueden apreciarse mesetas, lomeríos, áreas de relieve plano a ligeramente ondulado, con elevación entre 150 hasta 200 m. Este relieve está constituido principalmente por lutitas y areniscas, que se presentan como cuerpos separados o alternantes, en muchos casos, morfológicamente, se encuentran formando un contacto abrupto con el paisaje plano.

Un rasgo muy importante es el hecho que estas colinas están asociadas en el sector de San Antonio, La Lagarta y Mata de Caña al Anticlinal de Rivas a una estructura geológica de rocas plegada, con topografía suave a moderadamente inclinada 12° hacia el SW y 14° SE.

**Valles:** esta subunidad se encuentra dentro de la Unidad Planicies de Rivas, el río Gil González corre sobre un valle de considerable extensión que puede alcanzar más de un kilómetro de amplitud en la parte baja. El ensanchamiento va en aumento desde la parte media de la cuenca hacia su salida debido a las inundaciones originadas por los fuertes inviernos. Morfográficamente se tienen pendientes de 5° a 10°, presenta topografía irregular y casi llana con ligeras variaciones de pendientes.

Los valles están formados por rellenos de material cuaternario producto de la erosión en rocas areniscas de grano grueso, arcosas, lutitas y material residual, contiene zonas de acumulación y erosión.

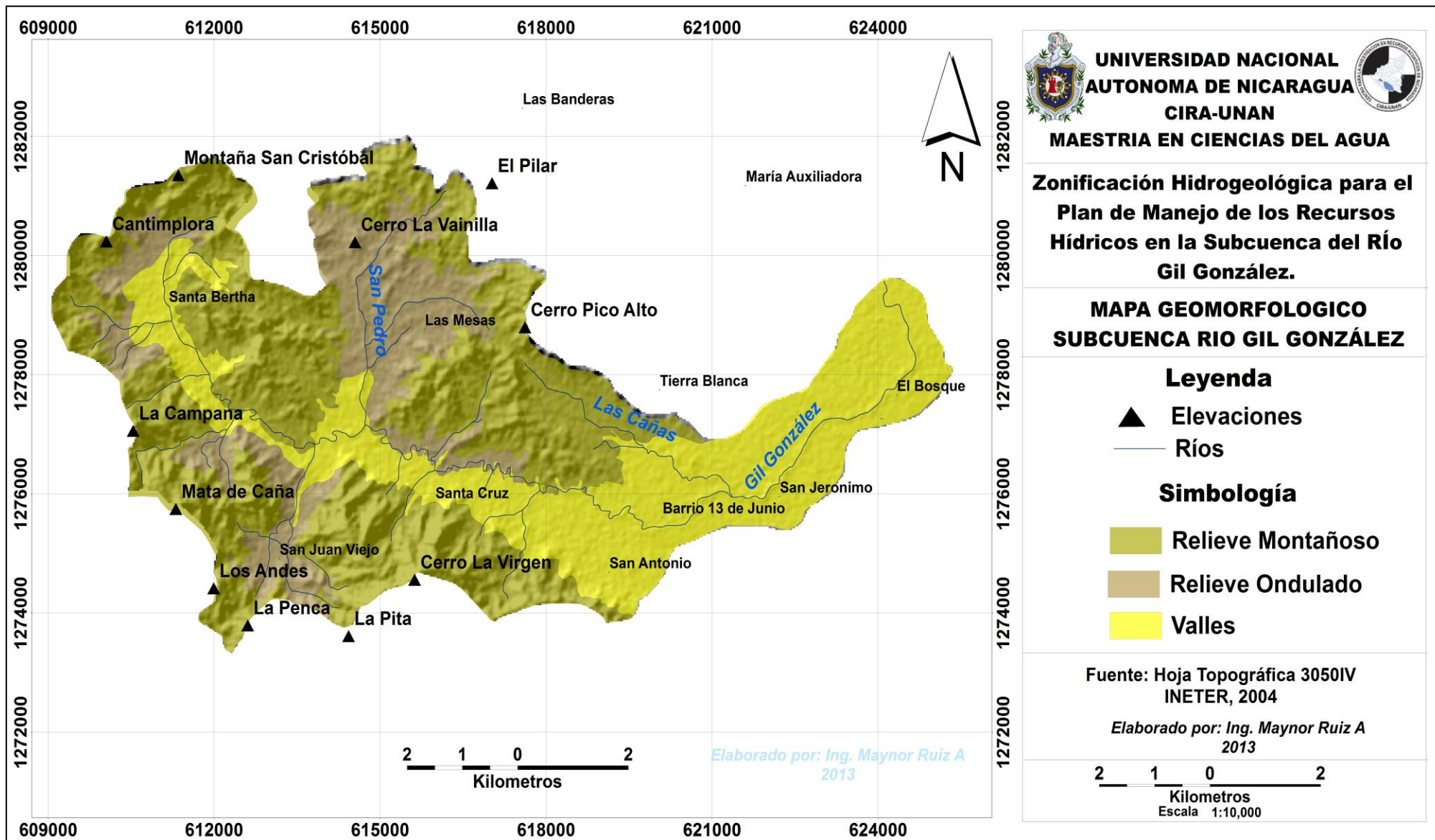


Figura. 8 Principales rasgos Geomorfológicos de la Subcuenca Río Gil González.



### III.2.2. Geología

La subcuenca Río Gil González está constituida por sedimentos Cretácicos de la Formación Rivas y Sedimentos Cuaternarios producto de la erosión de las rocas más antiguas.

La Formación Rivas, (2,100 m) es la base de la columna geológica regional del Pacífico de Nicaragua, consiste de areniscas tobáceas, margas, calizas y areniscas. Le sobreyace la Formación Brito de edad Eoceno de 2,570 m de espesor, la que consiste de areniscas y lutitas calcáreas, calizas y grawacas. (Kuang, 1971).

Se definieron cinco unidades geológicas dentro de la subcuenca. A continuación se describen de la más antigua a la más reciente. De la base al techo de la columna geológica local se distinguen:

**Unidad Areniscas (Kra):** Es arenisca de cuarzo, de granos gruesos, hasta fino con buena clasificación y fuerte empaquetamiento, se caracterizan por su color verdoso, producto de la autogénesis de minerales de arcillas y su matriz micrítica.



Foto 3 y 4. Arcosas cerca de Mata de Caña y La Campana.

La autogénesis es el proceso, principalmente asociado a alteraciones de minerales por agua, por el cual los minerales son reemplazados por otro dentro de un mismo paquete de rocas, generalmente los minerales sustituidos son carbonatos de textura

microcristalina de color verde o marrón, que forman la matriz donde se funden los minerales reemplazados.

Los fragmentos son semiangulosos, se trata de areniscas detríticas muy poco estratificadas, en las que predominan sobre las arcillas el cuarzo (entre un 40 y un 80% de cuarzo) y los feldespatos.

Poseen un cemento de tipo calcáreo. Las muestras analizadas provienen de los afloramientos Mata de Caña, San Pedro, Santa Berta y algunas canteras de material para caminos.

Esta unidad se puede observar en la parte Norte, Sur y Sureste de la subcuenca, cubre 37 % de la superficie de la subcuenca. Corresponde a la parte basal de la columna estratigráfica local. Se estima que el espesor de esta unidad, es de 200 m en el área de estudio.

Producto de los esfuerzos tectónicos originados del proceso de subducción, las rocas se observan facturadas, las fracturas se muestran abiertas y rellenas de material detrítico: arenas de grano grueso y limo. En algunos casos están rellenas de calcita, lo que reduce la permeabilidad secundaria.

**Unidad Areniscas de Gano Grueso (Krg):** Sobreyace a la Unidad de Arcosa. Se extiende principalmente en la parte Norte y Sur de la subcuenca, cubriendo un área de aproximadamente el 2% de la superficie de la subcuenca.

Las muestras analizadas provienen de los afloramientos del área de Huacalito y Santa Berta principalmente, son areniscas de grano grueso, probablemente grauvacas o areniscas tobáceas. En muestras de mano se observan poco alterada, presentando meteorización esferoidal. Son de color gris claro a oscuro, sus granos consisten de fragmentos de areniscas, líticos basálticos, fragmentos de cuarzo del tamaño de arena gruesa.



**Foto 4. Arenisca de Grano Grueso en Huacalito.**

Las grauvacas son arenisca consolidada de color generalmente oscuro, de tipo definido, constituida típicamente por partículas angulosas de tamaño de la arena, procedentes de rocas fragmentadas, feldespatos y cuarzo, junto con una matriz arcillosa. El espesor estimado en el área es de 120 m.

**Unidad de Lutitas (Krl):** las rocas de esta unidad sobreyacen a la Unidad Areniscas de Grano Grueso. Se ubican en la parte Sur y Sureste de la subcuenca, cubriendo el 22% de la superficie de la subcuenca, junto con la Unidad Arcosa, cubren la mayor parte del área total de la subcuenca.

Las muestras analizadas se observan principalmente en San Juan Viejo, Jocomico, San Antonio, La Gloria y San Pedro. Las lutitas de esta unidad son de grano fino a muy fino, bien clasificadas.

Pueden observarse generalmente dos tipos de lutitas; lutitas tobáceas de color gris claro, dispuestas en estratos delgados, su color está alterado por concreciones de óxidos de manganeso y lutitas grises y pardas en estratos delgados, las cuales se observan en capas de uno a dos centímetros. El color de las rocas varía de acuerdo al contenido de hierro o materia orgánica. El espesor observado en el área de estudio es de 140 m.



**Foto 5. Afloramientos característicos de Lutitas cerca de la Lagarta.**

**Intercalación de Areniscas y Lutitas (Krla):** las rocas de esta unidad sobreyacen a la Unidad Lutitas, afloran cerca de Santa Berta y hacia la Cantimplora. Cubre el 3.6 % de la superficie de la subcuenca.

Esta unidad es básicamente una alternancia de areniscas de grano medio a grueso y lutitas compactas tobáceas de grano fino a muy fino de color café claro y a veces gris. El espesor de las capas varía entre 20 a 30 cm.

El espesor observado es de aproximadamente 40 m. Sobreyace de manera concordante a la unidad lutitas y areniscas, en las inmediaciones de la comunidad San Cristóbal.

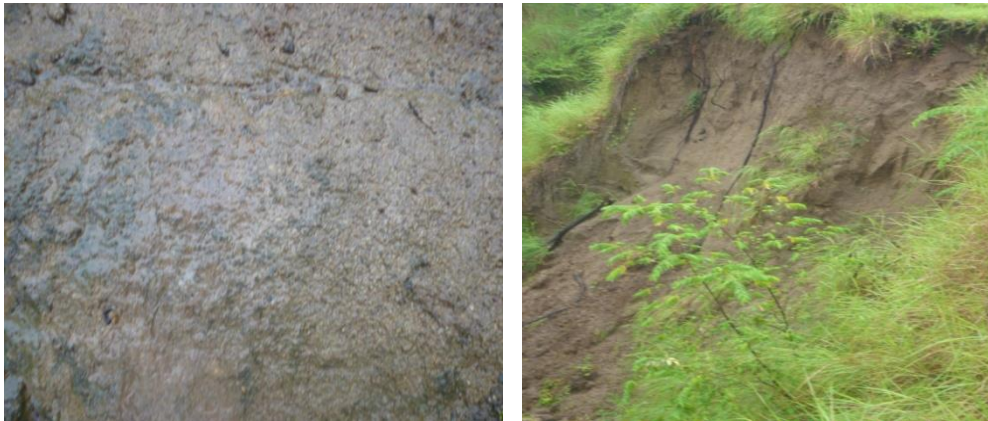


**Foto 6. Afloramientos de Intercalaciones de Areniscas y Lutitas, cerca de La Cantimplora.**



**Cuaternario Residual (Qr):** los materiales que forman esta unidad se encuentran cubriendo la Unidad Areniscas y Lutitas. Esta unidad corresponde a rocas formadas por los productos de meteorización y no transportados. Son producto de la alteración de las arcosas.

Son rocas poco compactas, principalmente en las zonas bajas próximas a la unidad arcosas, la granulometría varía de arena gruesa a arenas finas y limos. Se puede observar en la parte SW y SE de la subcuenca, cubriendo el 10% de la superficie total.



**Foto 7. Afloramientos de la Unidad Residual, cerca de La Gloria, Jocomico.**

**Cuaternario Aluvial (Qal):** los materiales que forman esta unidad se encuentran sobre la Unidad Cuaternario Residual, cubren la parte baja de la subcuenca y la mayoría de los cauces de los ríos y quebradas.

Consiste de materiales aluviales, producto de los procesos erosivos y de meteorización que han afectados las arcosas y las lutitas. Son suelos residuales, erosionados y depositados por la acción de los ríos, son materiales que se caracterizan por poseer altas conductividades hidráulicas y porosidad.

Pueden observarse en las riberas de los ríos, como material acumulado en pequeñas terrazas fluviales. Se presentan como acumulaciones de diferentes tipos de material, formado por arcillas, limos y arenas.



**Foto 8. Cuaternario Aluvial, se observan como terrazas aluviales en los cauces de los ríos y en los valle o zonas planas.**

### **III.2.3. Principales Rasgos Estructurales**

Los principales rasgos estructurales son el Anticlinal de Rivas con dirección NW-SE, y fallas y fracturas perpendiculares al anticlinal, con dirección NE-SW y NW-SE.

La extensión del anticlinal en el área de estudio es de aproximadamente 5 Km de longitud. Con rumbo NW se extiende desde Pueblo Nuevo hasta La Lagarta, pasa por San Antonio, El Jocomico y El Consuelo. La desviación se da con rumbo SW en la comunidad El Progreso.

Las fracturas que afectan a todas las unidades geológicas tienen dirección preferencial NW-SE y NE-SW, formando ángulos de  $120^\circ$  entre sí. El espaciamiento entre todos los grupos de fracturas son generalmente de alrededor de 10 cm., ocasionalmente es denso 1-2 cm. La longitud oscila entre 1 a 5 m.

Con menor frecuencia ocurren grupos de fracturas que truncan en ángulo de  $18^\circ$  a  $29^\circ$  a las anteriores, sobre todo en las zonas cercanas a las zonas de plegamientos. En el Figura 9, se muestra la distribución espacial de las unidades y estructuras mencionadas.

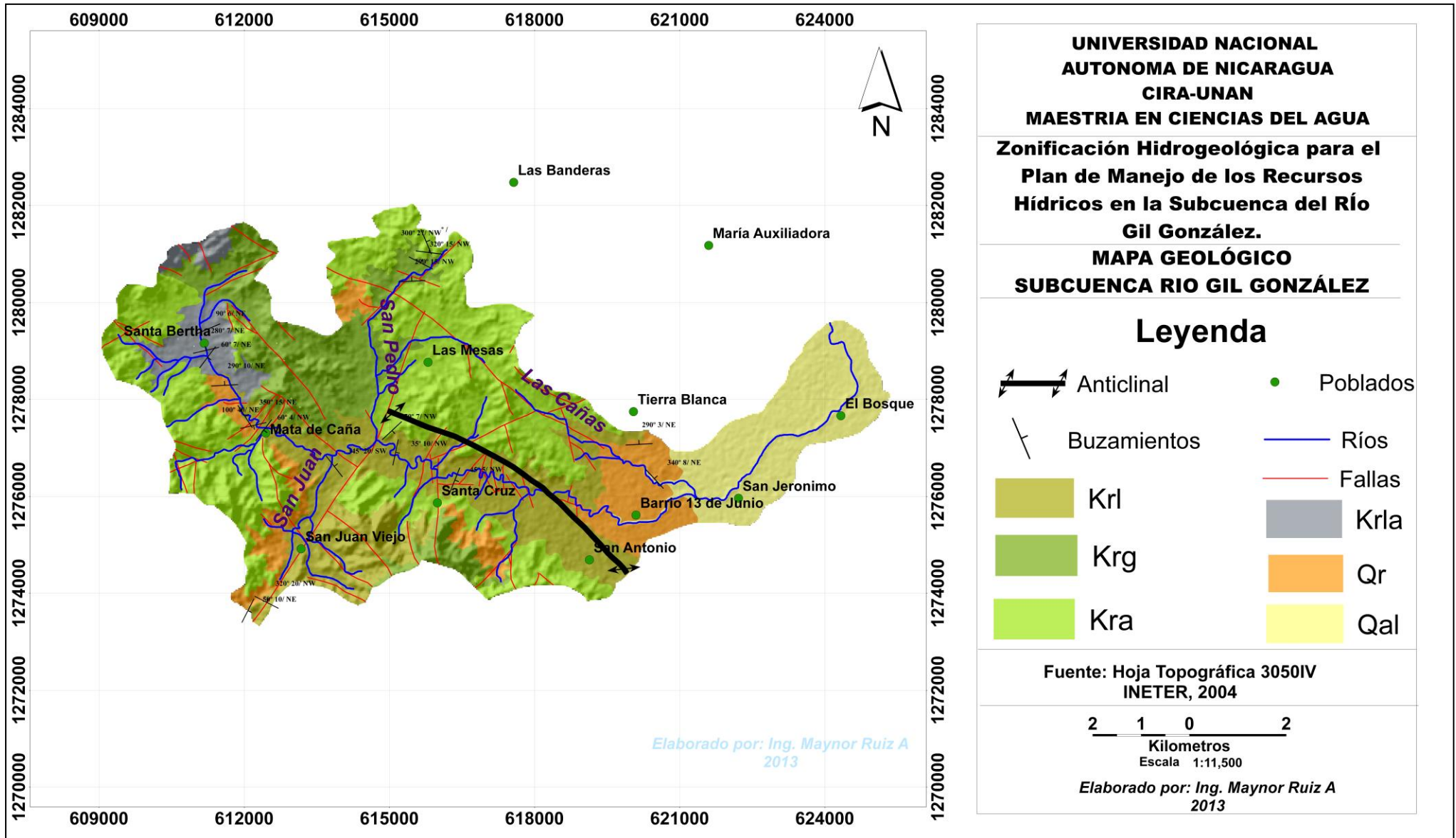


Figura. 9 Mapa geológico de la Subcuenca Río Gil González.

### **III.2.4. Suelos**

La mayor parte de la subcuenca del Río Gil González está cubierta por suelos arcillosos clasificados como Alfisoles: Series San Rafael y Rivas, Suelos Vertisoles y Entisoles.

Los suelos Alfisoles, son suelos moderadamente profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, arcillosos rojizos que se derivan de estratos de poco espesor de lutitas. Se encuentran en lomas que forman una serie de cordilleras bajas paralelas a la costa del Lago de Nicaragua.

La mayoría de los suelos tienen profundidades que varían entre 60 a 70 cm. En algunas áreas próximas al lago Cocibolca es de 20 a 30 cm. Casi todos los suelos han sido usados para cultivos y ganadería por lo que han perdido mucho de la capa superficial por erosión. Estos suelos ocupan la mayor parte de la subcuenca del Río Gil González, desarrollándose en las microcuencas de la parte alta y media.

Presentan permeabilidad moderadamente lenta, capacidad de humedad disponible moderada y una zona radicular moderadamente profunda. Puede distinguirse en la parte alta y media del río San Pedro-Las Mesas y Las Cañas al NE de la subcuenca (Rodríguez, 2003)

Los Suelos Vertisoles en la parte media y baja de la cuenca consisten de arcillas negras y pesadas; son profundos y moderadamente profundos, pobremente drenados. Se derivan de materiales madres básicos como ceniza volcánica, toba y basalto.

Los suelos aluviales consisten de depósitos de materiales recientes de las tierras altas adyacentes, que son depositados por los ríos en las tierras bajas.

En la parte alta de la subcuenca (Mata de Caña, San Marcos y Cantimplora), los suelos son aptos para la ganadería. Estos suelos, sin embargo, están cubiertos de bosques de galería, bosque seco y bosques de regeneración natural. Los suelos de la parte central son aptos para los cultivos propios de la zona como: maíz, sorgo,



tabaco, caña de azúcar, yuca, mangos, aguacates, musáceas, hortalizas, papayas, plátanos y pastos.

En la zona de Las Mesas y San Antonio de Jocomico, son apropiados para cultivos de plátanos y frutales como la papaya y granadilla. En la zona perimetral a la Carretera Panamericana y parte baja de la subcuenca, los suelos son aptos para el cultivo de arroz, sorgo, caña de azúcar y pastos.

Los suelos de la comunidad de Mata de Caña son utilizados para el cultivo de arroz y ganadería. En el sector de San Juan Viejo y las Mesas se desarrolla la ganadería, el cultivo de plátano y frutas comerciales como la papaya y granadilla, sin ningún tipo de manejo silvopastoril y agrosilvopastoril.

En la parte baja, los suelos están siendo aprovechados para el monocultivo de caña de azúcar y para ganadería extensiva. Gran parte de la zona está fuertemente intervenida con proyectos ambientales por lo que se observan áreas reforestadas de considerable extensión.

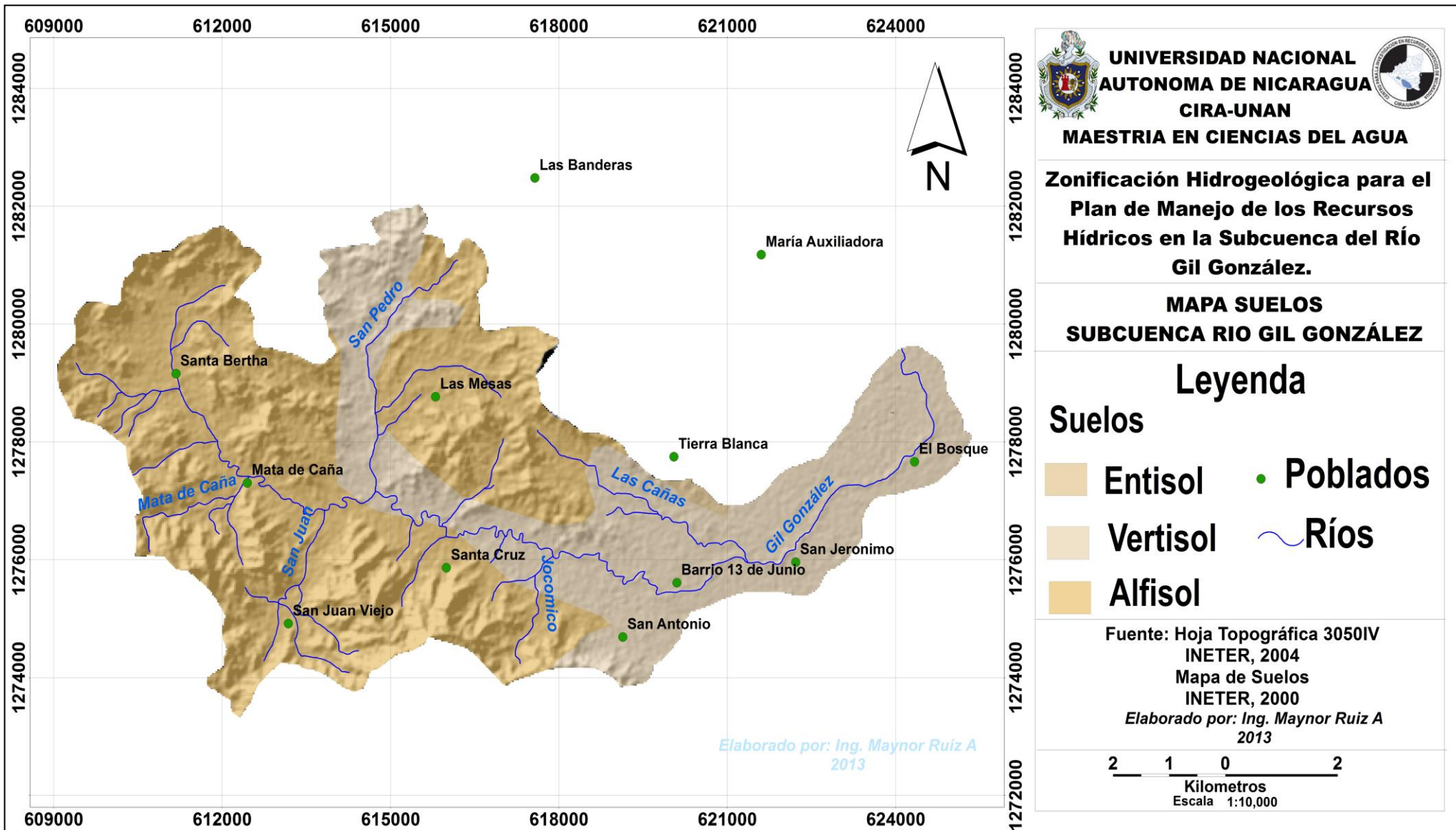


Figura 10. Tipo de suelos dominantes dentro de la Subcuenca Río Gil González. Clasificación Taxonómica.

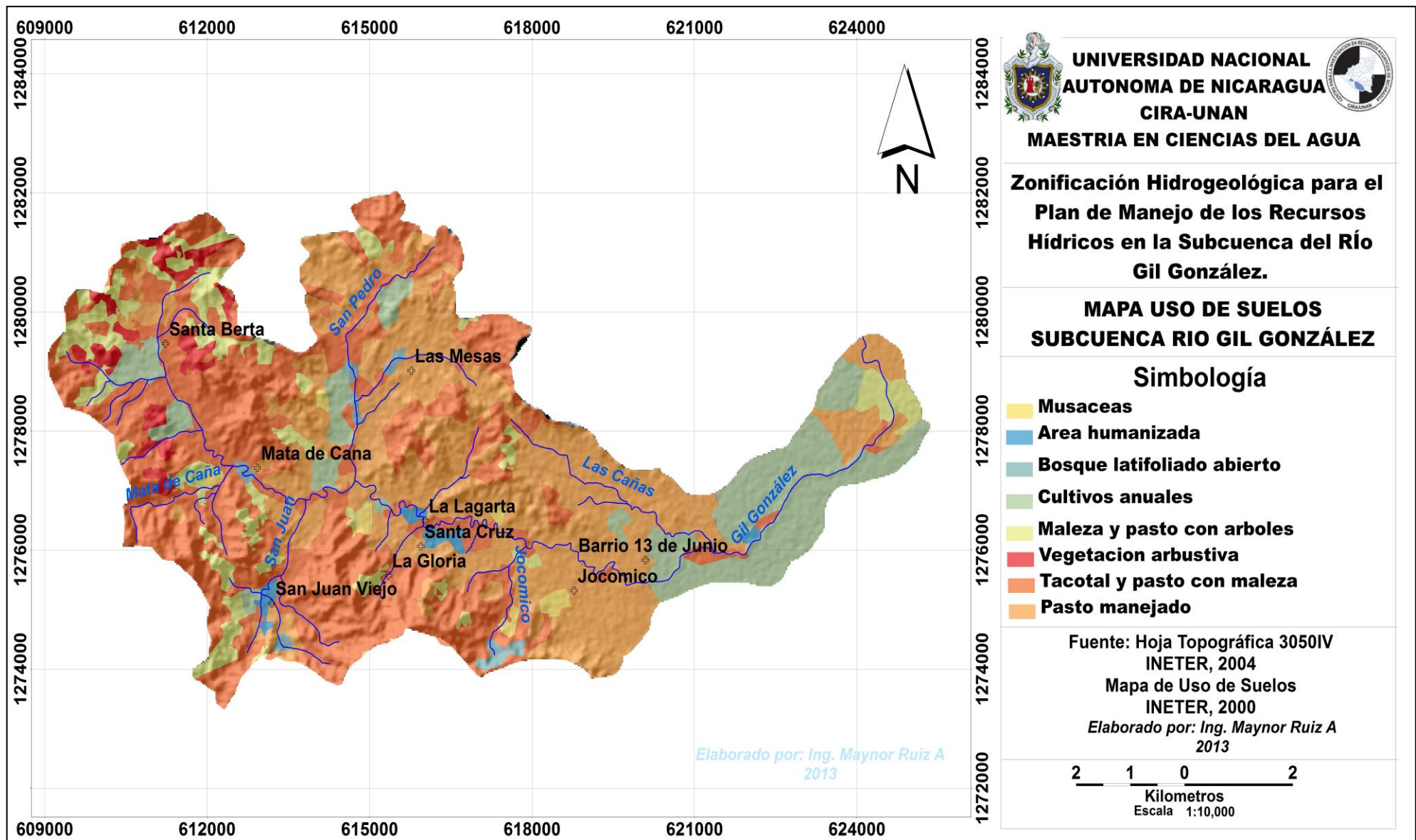


Figura 11. Uso Actual de Suelos dentro de la Subcuenca Gil González.

### III.3. Hidrología

#### III.3.1. Características Morfológicas de la Cuenca

La caracterización de la morfología de la cuenca por medio de los parámetros físicos refleja la forma de la cuenca y su respuesta ante las precipitaciones. Esta caracterización también ayuda en el análisis del medio físico, ya que permite definir las posibilidades y restricciones de uso, por ejemplo la configuración de la red de drenaje condiciona la esorrentía, los procesos de erosión y el arrastre de sedimentos que son depositados en las partes más bajas de la cuenca.

Para definir la morfología de la cuenca utilizamos tres parámetros, la forma de la cuenca, el relieve dominante y la configuración de la red hídrica.

- **Parámetros de forma:** son la expresión de la forma de la cuenca, la forma de la cuenca influye sobre la esorrentía. En este acápite se incluyen los principales parámetros; Índice de Compacidad o Gravelius (KC), Coeficiente de Forma (Kf) e Índice de Alargamiento (Ia).
- **Parámetros de Relieve:** Son importantes ya que el relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma de la cuenca. Los parámetros relativos al relieve son: pendiente media de la cuenca (Pm), curva hipsométrica, histograma de frecuencias altimétricas, altura y elevación media del relieve (Hm), perfil altimétrico del cauce y su pendiente (Pmc).
- **Parámetros de la Red Hidrológica:** La forma en que estén conectados los canales en una cuenca determinada, influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación. Se incluyen relación de bifurcación de canales (Rb), relación longitudes de corrientes (L) y densidad de drenaje (Dd).

El río Gil González es el río principal. Su cauce alcanza una longitud de 19.37 Km desde su nacimiento en Mata de Caña hasta su desembocadura cerca del Lago Cocibolca, en el Humedal de Ñocarime. El lecho del río es de poca profundidad, y mantiene poco caudal en el verano.

La mayoría de los tributarios son corrientes intermitentes. Entre los principales tributarios del río Gil González están: Mata de Caña, San Juan Viejo, Las Mesas, Jocomico y Las Cañas. Las quebradas San Juan Viejo, Las Mesas y Jocomico conservan durante el verano un caudal mínimo, el resto son intermitentes. (Tabla 3).

**Tabla 3. Principales Microcuencas de la Subcuenca Rio Gil González.**

<b><u>Rio</u></b>	<b><u>Área (km<sup>2</sup>)</u></b>	<b><u>Perímetro (km)</u></b>	<b><u>Tipo de Corriente</u></b>
<b>Gil González.</b>	<b>68.43</b>	<b>56.41</b>	<b>Permanente</b>
<b>Las Cañas</b>	<b>5.51</b>	<b>12.21</b>	<b>Intermitente</b>
<b>San Pedro</b>	<b>14.62</b>	<b>20.83</b>	<b>Permanente</b>
<b>San Juan</b>	<b>7.27</b>	<b>14.42</b>	<b>Permanente</b>
<b>Mata de Caña</b>	<b>2.93</b>	<b>9.18</b>	<b>Intermitente</b>
<b>Huacalito</b>	<b>2.59</b>	<b>6.8</b>	<b>Intermitente</b>
<b>La Campana</b>	<b>1.38</b>	<b>5.19</b>	<b>Permanente</b>
<b>Jocomico</b>	<b>3.22</b>	<b>7.72</b>	<b>Permanente</b>
<b>La Lagarta</b>	<b>1.56</b>	<b>6.19</b>	<b>Permanente</b>

Según Llamas (1993), la red drenaje, es decir, el arreglo de los canales que conducen las corrientes de agua dentro de la cuenca, está integrada por un río principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la cuenca. La red de drenaje se describe muy bien, mediante los siguientes parámetros:

- El orden de cauces.
- La longitud de los tributarios.
- La densidad de drenaje.
- La longitud del escurrimiento sobre el suelo.

El sistema de drenaje está constituido por un curso principal, Río Gil González, y sus tributarios que desembocan casi perpendiculares al cauce principal. Es una red simple con tributarios intermitentes, la corriente alcanza el tercer orden.

Se describe una red de drenaje del tipo dendrítico en los ríos o tributarios de primer orden, condicionado por las formaciones geológicas de la región. Localmente se distingue la red del tipo subparalelo que obedece a sistemas de fallas presentes.

Las fallas y fracturas son zonas de debilidad por donde el agua superficial escurre con mayor facilidad. Cuando la escorrentía erosiona la superficie, forma canales que siguen este patrón, siendo influenciados principalmente por la pendiente (Figura 9).

En la tabla 4 se pueden apreciar los valores obtenidos para la caracterización morfométrica de la subcuenca Río Gil González.

**Tabla 4. Parámetros morfológicos de la subcuenca Río Gil González.**

Parámetros de Forma		Parámetros de Relieve		Parámetros Red de Drenaje	
<i>Kc</i>	5.54	<i>Pm (%)</i>	1.7	Rb	3.6
<i>Kf</i>	0.1	<i>Hm(m.s.n.m)</i>	190	L(Km)	29.37
<i>la</i>	3.43	<i>Pmc (%)</i>	1.4	Dd	0.99

El área de la subcuenca Río Gil González es de 68.68 km<sup>2</sup> y su perímetro es de 162.9 Km, por lo tanto el Kc será igual a 5.54.

El índice de compacidad de la totalidad de la subcuenca Río Gil González es de 5.54, de manera que podemos considerar que la subcuenca tiene una forma alargada, y la compacidad es alta, teniendo en cuenta que cuando más redonda es una cuenca más tarda en llegar la onda de crecida a la desembocadura, pero al mismo tiempo más pronunciado es el caudal de punta.

En lo que se refiere al coeficiente de compacidad, cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Una cuenca alargada posee el coeficiente superior a uno, hay mayor tendencia a las crecidas o dicho en otras palabras, la respuesta hidrológica es más rápida en cuencas con coeficientes de compacidad mayores a la unidad.

### **III.3.1.1. Caudales**

Para este estudio se realizaron aforos durante año hidrológico que comprendió el período de Septiembre de 2010 a Agosto de 2011, se ubicaron ocho estaciones de aforo sobre el cauce del Río Gil González y sus principales tributario.

En el grafico 4, se puede observar claramente como los caudales del río y sus tributarios aumentan según se alejan de la naciente del río. Estos se correlaciona con el Índice de Compacidad, por lo tanto la respuesta hidrológica del río es más rápida. Puede observarse también que durante los meses de mayor precipitación el comportamiento es similar.

Las variaciones de los caudales está íntimamente relacionada a las extracción, sin embargo es importante tomar en cuenta que en los lugares donde se realizaron aforos también se instalaron Seepages y se determinó que en la mayor parte del recorrido del río recibe agua del acuífero, por lo tanto el río y los tributarios se comporta como un “ríos influentes”.

Para el período de medición 2010-2011 los caudales variaron entre 0.166 m<sup>3</sup>/s en Mayo hasta 1.659 m<sup>3</sup>/s en Noviembre, representando una tasa de pérdida del 90 % del caudal inicial. El volumen de escorrentía superficial obtenido en la desembocadura del río fue 99, 964.8 m<sup>3</sup>/d, durante el mes más lluvioso, Octubre.

La similitud en los porcentajes de disminución de caudales con respecto al período 2005/2006, medidos por CIRA-UNAN, se puede relacionar con la finalización del período de verano; luego el caudal aumenta de manera

proporcional a la precipitación. Para el período 2010/2011 el volumen de escorrentía superficial casi se triplicó en relación a 2005/2006. Sin embargo, se observa la misma dinámica de disminución de volumen de escorrentía entre los dos períodos de medición.

El volumen de escorrentía superficial obtenido cerca de la desembocadura del río fue de 189, 561.6 m<sup>3</sup>/d, durante el mes más lluvioso, Noviembre (CIRA-UNAN, 2006).

### III.3.2. Balance Hídrico Superficial

El Balance Hídrico Superficial del Río Gil González, tiene como propósito evaluar el potencial de agua, en una distribución espacio-temporal, considerando el aporte de cada microcuenca. El cálculo se ha realizado utilizando el método de Thornthwaite (1955), adaptado a las condiciones de la región.

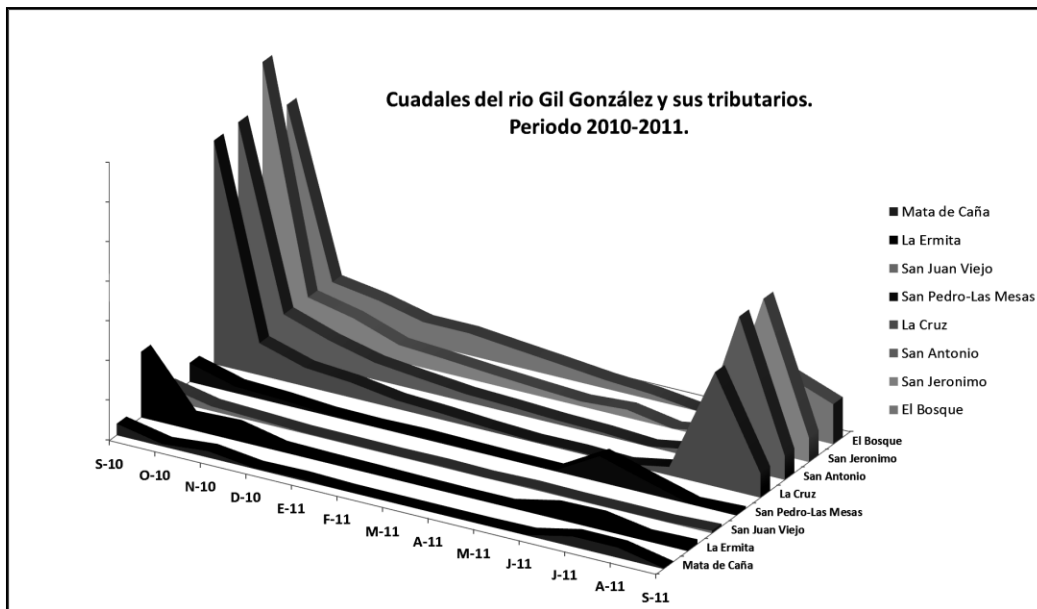


Gráfico 4. Caudales Tributarios Gil González. Septiembre 2010-Septiembre 2011.

Para estimar el balance hídrico de la subcuenca Río Gil González se utilizaron los valores de precipitación de la estación meteorológica de INETER, Rivas (68027), para esto se utilizó los valores de promedios mensuales de



precipitación del periodo de medición de 1967-2009 por ser la serie de datos más completa.

De igual manera, para el cálculo de los valores de Evapotranspiración Potencial (ETP) por el método de Thornthwaite se utilizaron los valores medios mensuales de temperatura de la estación meteorológica Rivas (69027), por ser la más cercana y con series de datos más completos, el periodo utilizado fue 1968-2010.

Los valores precipitación y temperatura dentro de la subcuenca Gil González utilizados para el cálculo del Balance Hídrico son del orden de 1268 mm y 27 °C al año de precipitación.

En base a los valores de temperatura media se estimó la ETP por el Método de Thornthwaite (Tabla 5), con este valor se procedió a calcular la Evapotranspiración Real (ETR), una media de la evapotranspiración real del agua contenida en el suelo, si la hay, el valor obtenido fue de 1011 mm. La ETP obtenida (Tabla 5), es uno de los parámetros principales para el Balance Hidrico por el Método de Thornwite o el método directo, a través de la ecuación (1) Sokolov and Chapman, (Chapman., A.A. Sokolov and T.C., 1981):

**Tabla 5. Evapotranspiración por el Método de Thornthwaite. Datos meteorológicos de la Estación Rivas, período 1967-2009.**

MES	ETP mensual ( mm/mes )
ENERO	126
FEBRERO	132
MARZO	155
ABRIL	178
MAYO	173
JUNIO	148.1
JULIO	142
AGOSTO	143.9
SEPTIEMBRE	137.7
OCTUBRE	135.7

<b>NOVIEMBRE</b>	<b>133.7</b>
<b>DICIEMBRE</b>	<b>128</b>
<b>Total</b>	<b>1739.2</b>

$$P-ETP= R \qquad \text{Ec. (1)}$$

**Donde:**

**P= Precipitación media o media mensual.**

**ETP= Evapotranspiración potencial.**

**R= Reservas de agua en el suelo.**

La tabla 6 muestra los valores de P y ETP mensuales, con ellos se pudo obtener la reserva de agua en el suelo (R) de aproximadamente 529.2 mm.

A efectos de cálculo después del período seco la reserva del suelo es nula, en consecuencia se empieza el cálculo de la reserva "R" con el primer mes húmedo y se asigna al mes anterior una reserva nula. Si, tras los cálculos, al final del período seco quedase agua en el suelo, se deberán recalcular las reservas, agregando la reserva existente a las reservas del período húmedo. (Almorox, 1994)

Los déficit de agua o falta de agua mostrados, es la diferencia entre ETP y ETR de cada mes, luego se suman los resultados. Para la subcuenca del Río Gil González, se tiene un déficit de 807.6 mm.

Los excesos se transforman en escorrentía o infiltración. Thornthwaite propuso, que el 50 % del excedente de agua de un mes escurre hacia los ríos y el resto se infiltra hacia las capas profundas (Almorox, 1994).

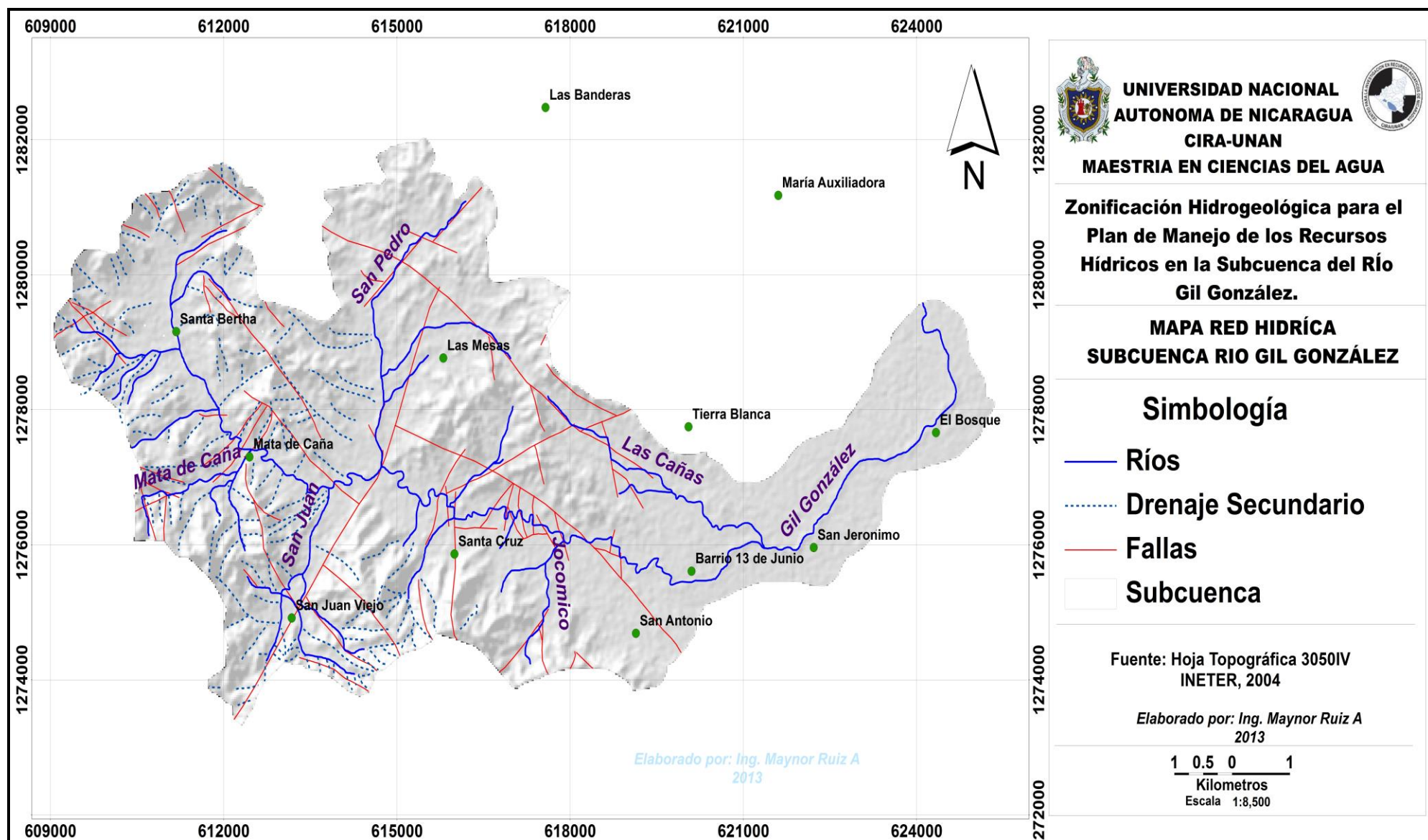


Figura 12. Red de drenaje del rio Gil González y sus principales tributario.

Así de un total de 396.4 mm, obtenidos como excedente, 198.2 mm escurren a través de los ríos y 198.2 mm recarga los acuíferos.

Tabla 6. Valores obtenidos del Balance Hidrico de Thornthwite.

											Recarga Máxima		100
Mes	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total (mm)
P	288.1	291.6	93.0	27.3	9.7	3.8	3.4	8.9	8.2	245.9	158.2	189.9	1328.0
ETP corr.	124.6	131.8	127.8	134.2	123.2	138.0	160.8	193.3	178.6	149.1	142.1	135.7	1739.2
ETR	124.6	131.8	127.8	86.5	9.7	3.8	3.4	8.9	8.2	149.1	142.1	135.7	931.6
Déficit	0.0	0.0	0.0	47.7	113.5	134.2	157.4	184.4	170.4	0.0	0.0	0.0	807.6
Reserva	94.0	94.0	59.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.0	94.0	94.0	529.2
Exc.	163.5	159.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	16.1	54.2	396.4

El gráfico 5, muestra el excedente de precipitación, en casi 10 veces respecto a la ETP, durante los meses lluviosos. Esto indica que durante la época lluviosa existe almacenamiento como reservas, más los excedentes que se producen. Durante el mes de Abril, se puede observar que la ETP es mayor que la P, provocando el déficit, lo mismo ocurre de Agosto a Septiembre, en el período canicular.

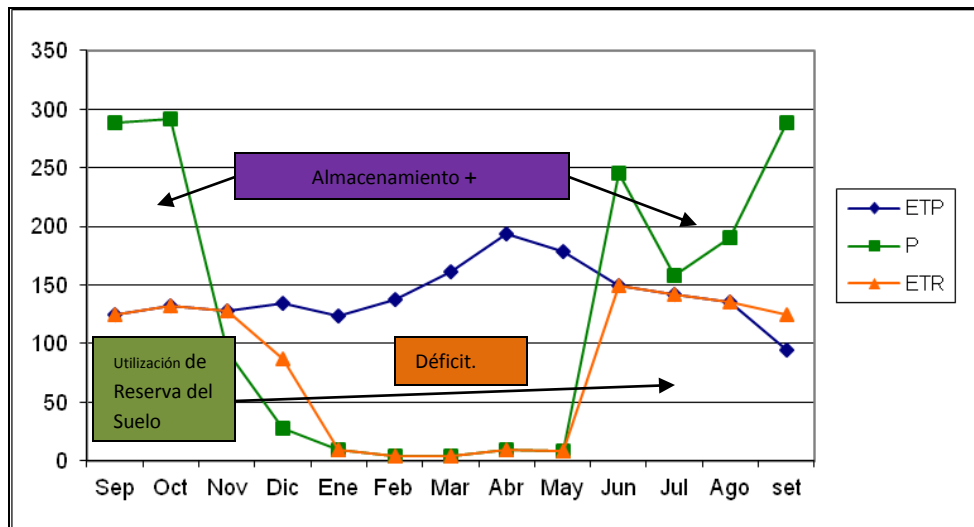


Gráfico 5. Comportamiento de los parámetros del Balance Hidrico de Thornthwite. Se observa un mayor déficit en Abril, mes más caliente y Agosto a Septiembre, canícula.

### **III.4. Zonas de Recarga y Descarga**

Toda área del terreno es susceptible a la recarga por infiltración directa, esta cantidad de agua varía según la capacidad de infiltración de sus suelos y la permeabilidad de la roca subyacente.

Para la determinación de la recarga, se estimara la recarga potencial por infiltración directa, sobre la área de los suelos del acuífero y se adicionara como posible recarga artificial la recarga procedente de actividades antropogénicas, riego y fugas de tuberías de agua potable.

La recarga potencial por tipo de suelo se estimara para los tres órdenes de suelo dominantes dentro de la subcuenca, por medio de un Balance Hídrico de Suelo (BHS).

En este estudio se asume que las rocas sedimentarias fracturadas son definidas como acuífero, son de mayor capacidad de infiltración y recarga que las definidas como acuicludos, sedimentos aluviales y residuales.

Las áreas de descarga de aguas subterráneas son principalmente el flujo base formado por flujo subterráneo y superficial a los cauces de los río y quebradas, manantiales y las extracciones por medio de pozos excavados y perforados.

Las áreas de humedales y la franja aproximadamente de 1 Km que bordea la costa en los acuíferos aluviales próximos al Lago Cocibolca, se consideran como áreas de descarga por evaporación debido a la elevación de sus niveles freáticos que se encuentran próximos a la superficie del terreno y por capilaridad están saturados durante la época lluviosa y no admiten recarga por infiltración directa.

### **III.4.1. Recarga Directa**

Definimos recarga potencial al acuífero, a la cantidad de agua disponible, considerando condiciones climáticas medias en el tiempo dentro de la subcuenca, que estaría disponible para recarga al acuífero bajo diferentes mecanismos, si existieran las condiciones óptimas de capacidad de almacenamiento del acuífero y las características físicas supuestas para los suelos que cubren al acuífero y sus fronteras.

Dentro de la subcuenca Río Gil González se realizaron 28 pruebas de infiltración por el método de doble anillos, para poder determinar la capacidad de infiltración de los suelos y obtener la recarga de agua subterránea por precipitación.

Se obtuvieron valores de infiltración de 32.66 mm/d a 51.83 mm/d, sin embargo la infiltración esta en dependencia del uso que se le da al suelo ya que existe una variabilidad dominada por el uso.

Las propiedades físicas de los suelos como son; densidad aparente, punto de marchitez, capacidad de campo son asumidas de acuerdo al tipo de suelo y vegetación en la zona.

Para el cálculo de la recarga potencial del acuífero, se utilizó el método del balance hídrico de suelos (BHS) (Shosinsky G., M. Losilla, 2000). Los resultados se contienen en la Tabla 7.

El BHS considera que el agua disponible de la precipitación dentro de la cuenca recargará al acuífero bajo diferentes mecanismos, si existieran las condiciones óptimas de capacidad de almacenamiento del acuífero y características físicas de los suelos adecuadas.

Tabla 7. Tipos de suelos y su comportamiento durante las pruebas de infiltración.

Tipos de Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	fc(mm/d) (Promedio)
Alfisoles	69.07	51.83
Vertisoles	50.44	32.66
Entisoles	10.69	41.13
<b>Total</b>	<b>131</b>	<b>126.62</b>

La tabla 8 muestra los volúmenes de infiltración por zona dentro de la subcuenca Río Gil González. La recarga total es aproximadamente 9.96 MMCA.

Tabla 8. Valores de infiltración obtenidos para cada una de las microcuenca, a partir de BHS, con la respectiva zonificación.

											Recarga Máxima		100
Mes	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total (mm)
<b>P</b>	288.1	291.6	93.0	27.3	9.7	3.8	3.4	8.9	8.2	245.9	158.2	189.9	1328.0
<b>ETP corr.</b>	124.6	131.8	127.8	134.2	123.2	138.0	160.8	193.3	178.6	149.1	142.1	135.7	1739.2
<b>ETR</b>	124.6	131.8	127.8	86.5	9.7	3.8	3.4	8.9	8.2	149.1	142.1	135.7	931.6
<b>Déficit</b>	0.0	0.0	0.0	47.7	113.5	134.2	157.4	184.4	170.4	0.0	0.0	0.0	807.6
<b>Reserva</b>	94.0	94.0	59.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.0	94.0	94.0	529.2
<b>Exc.</b>	163.5	159.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	16.1	54.2	396.4

### III.4.2. Recarga Artificial

Se considera el aporte de la recarga de los acuíferos a través de corrientes superficiales, que drenan a los tributarios y río Gil González. Se han evaluado los

parámetros hidráulicos del cauce y la orilla, para determinar la relación agua superficial-subterránea.

Agua que puede retornar al acuífero por percolación (fugas en tuberías, exceso de riego, drenajes de tanques sépticos, etc.). Losilla, 2010 propone que entre un 0% (total de agua exportada fuera de cuenca) y hasta más de 30 % del agua utilizada para riego puede regresar por percolación al acuífero.

En nuestro caso tomaremos el 30%, dado que no hay aporte por fuga de tuberías de abastecimiento de agua potable o alcantarillado, la mayor parte del agua que es retorno es la utilizada para el riego de caña de azúcar.

El principal aporte superficial por riego es desde el ingenio azucarero CASUR, el que utiliza 40.64 m<sup>3</sup>/minuto de agua del Lago Cocibolca para irrigar aproximadamente 3,430 ha de caña de azúcar dentro del acuífero. Representando un volumen de agua de 21.90 MMCA.

Se estima que el uso consuntivo de agua adecuado para caña de azúcar es de 40 a 120 m<sup>3</sup>/ha/d. Dependiendo si el cultivo es de período corto o largo, y en de la edad del cultivo, así será la frecuencia de riego, se estima de manera general que se utiliza una dotación de 40 m<sup>3</sup>/ha/d.

FUNDENIC, 2011 (comunicación verbal), estima que la eficiencia de riego en el ingenio CASUR es de 30 a 32%, esto nos indica que solamente 6.57 MMCA de la cantidad óptima son utilizados por la planta.

De igual forma se calcularon los valores de ETP y escorrentía, por medio del software CropWat 8.0, FAO, 1994. La Tabla 11 muestra los valores calculados de recarga de retorno.



**Tabla 9. Consumo de agua por hectáreas de caña sembradas.**

<b>Ha regadas</b>	<b>Vol. aplicado en MMCA</b>	<b>Consumo de plantas MMCA</b>	<b>ETP MMCA</b>	<b>Escorrentía MMCA</b>	<b>Recarga Artificial MMCA</b>
<b>3430</b>	<b>21.90</b>	<b>6.57</b>	<b>3.28</b>	<b>1.09</b>	<b>10.96</b>

De acuerdo a la información recopilada del inventario de pozos, se logró cuantificar el volumen por riego de 24.85 MMCA. Para esto se tomaron en cuenta únicamente las norias.

Asumiremos que el 10% del caudal extraído para riego a pequeña escala retorna al acuífero, el valor obtenido es de 2.48 MMCA.

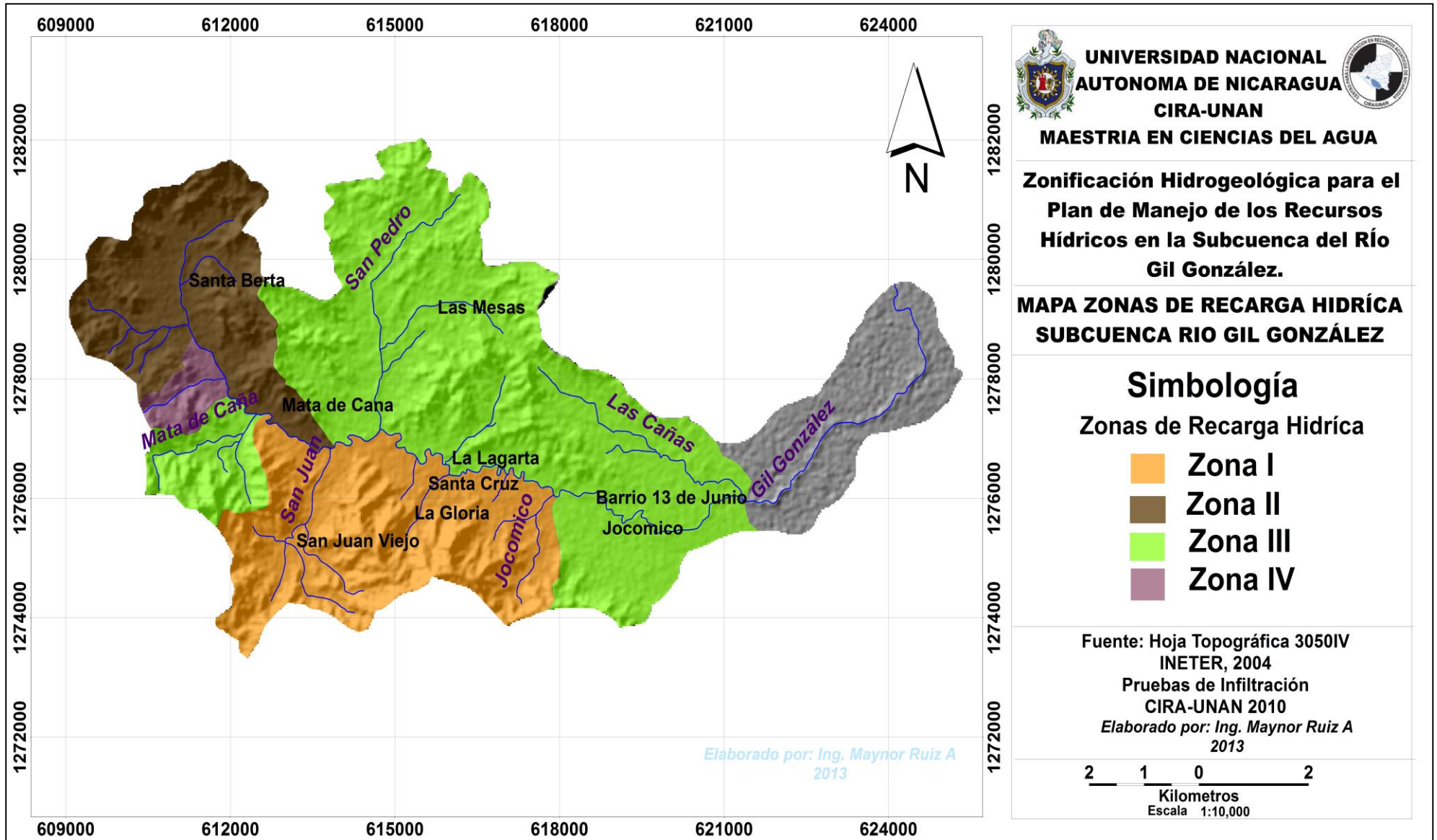


Figura 13. Zonas de infiltración obtenidas a partir de Balance Hídrico de Suelos.

### III.4.3. Descarga de Agua Subterránea

**a) Extracciones por Bombeo;** el aprovechamiento de los acuíferos dentro del área de estudio se da principalmente por la extracción de agua subterránea a través de pozos excavados, para los usos domésticos, riego a pequeña escala a través de norias.

De inventario de pozos (577 en total), se pudo determinar que en promedio por cada pozo se abastecen 6 personas, tomando como dotación 250 l/d por personas. De igual forma que en promedio se riega a pequeñas escala a través de 15 norias durante de 6 horas, con un caudal promedio de 68,040 l/d.

El total de extracciones al acuífero se pueden cuantificar en 0.316 MMCA en extracciones de pozos para abastecimiento de agua para usos domésticos y 24.85 MMCA de extracciones desde norias, por lo tanto el volumen total e extracciones es de 25.17 MMCA.

**b) Escorrentía Subterránea;** el agua escurre en dirección noreste-sureste, aproximadamente desde las zonas altas de Mata de Caña, La Cantimplora, San Juan, Huacalito y Santa Berta. Para la evaluación de este parámetro se realizó una sección de descarga y en base a la piezometría de 2011. Este valor fue calculado en el capítulo de características hidráulicas y equivale a 9.30 MMCA.

Aquí la escorrentía subterránea se considere una entrada, ya que es agua en movimiento que está siendo aprovechada sin afectar el almacenamiento o reserva del acuífero.

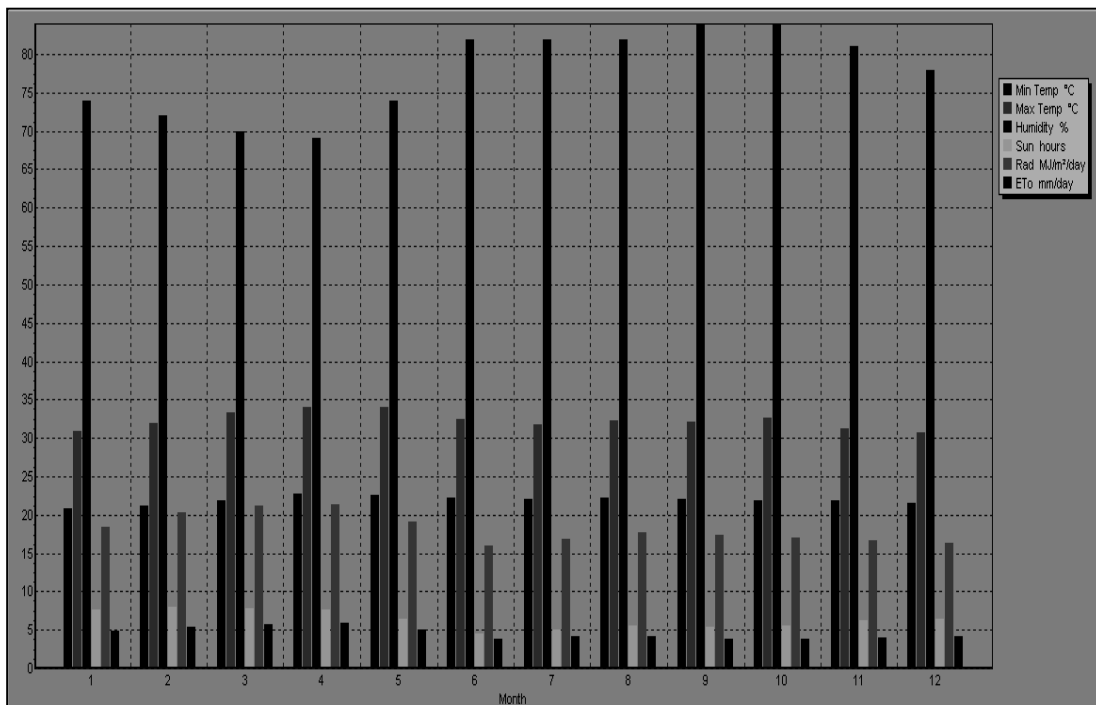
**c) Perdidas por Evapotranspiración;** este valor es aplicable cuando el agua se encuentra a 2 metros o menor superficie y existe vegetación cuyas raíces alcanzan penetrar al depósito de agua subterránea. En el área de estudio se localizan casos puntuales donde los niveles de agua se encuentran a 1.5 y 2 m. Debido a que el riego es principalmente por inundación, la tasa de ETP es aproximadamente igual

4.6 mm/año del volumen vertido de agua (Gráfico 6). Esto representa aproximadamente el 15% de agua utilizada para riego, siendo el valor calculado de 2.29 MMCA.

**d) Flujo Base;** el río Gil González y sus tributarios reciben aporte de agua como flujo base. La descarga del acuífero al río, inicia entre los 60 m a 150 m de elevación, durante la época lluviosa. Cuando el nivel del agua descende, durante la época seca, la descarga de los ríos ocurre entre los 20 m a 40 m de elevación.

Un estimado del caudal total en la salida del río, durante 2010-2011, fue de 22.19 MMCA; de estos, 5.24 MMCA son flujo base y 16.95 MMCA son escorrentía directa. Esto indica que el flujo base, es una fuente de descarga del acuífero, haciendo contribuciones al caudal río de aproximadamente 10 % del flujo total.

**Gráfico 6. Evapotranspiración real del volumen de agua vertido por riego, mediante el modelo matemático CropWat 8.0. Con lo que se calcula la tasa de evaporación del agua de riego.**



### **III.4.4. Determinación de zonas de recarga utilizando isotopos $^{18}\text{O}$ y $^2\text{H}$**

La finalidad de recolectar muestras de agua para análisis de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  en la precipitación y las aguas subterráneas es determinar el origen de la recarga. La composición isotópica de la precipitación se caracteriza por una alta variabilidad espacial y temporal que resulta de numerosos factores meteorológicos como la humedad, la temperatura, la cantidad y el origen de las tormentas (Clark. D and P. Fritz., 1997).

Dado que la dispersión las aguas subterráneas de mezcla; (Freeze y Cherry, 1979), hace que los valores de isótopos de agua subterránea sean menos variable que la precipitación, son útiles como una aproximación de la composición isotópica a largo plazo de la precipitación y la recarga de aguas subterráneas (Clark. D and P. Fritz., 1997).

Se delimito una red de muestreo de la composición isotópica de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  en pozos perforados, excavados, manantiales, ríos, canales de irrigación, laguna, lago y agua de precipitación, con el objetivo de definir el origen de la recarga y dirección del flujo subterráneo, mediante la correlación de la composición isotópica de diferentes fuentes muestreadas.

Las muestras isotópicas se analizaron en el Isotope Science Laboratory of University of Calgary, con el espectrómetro de masa utilizando una muestra gaseosa. Los datos reportados por el laboratorio presentan una desviación máxima de 0.1‰ para  $\delta^{18}\text{O}$  y 1.2‰ para  $\delta^2\text{H}$ , considerando el análisis de laboratorio muy bueno.

#### **III.4.4.1. Sistema de recarga**

La determinación y delimitación de zonas de recarga es muy importante dentro del marco de una planificación estratégica de los recursos hídricos subterráneo de los acuíferos locales, regionales y transfronterizos.

La composición isotópica de la muestra de lluvia recolectada muestra que existe relación con los contenidos isotópicos de las aguas subterráneas y superficiales recolectadas en pozos, manantiales, lago, laguna y canales de riego.

Datos de lluvia muestra que la precipitación recolectada en ese momento es menos enriquecida en isótopos pesados, lo que indica que la precipitación es de aguas de recirculación y que proceden de otro sitio, probablemente de origen marino.

Sin embargo la composición de isótopos estables de muestras de agua de las nacientes de los ríos o manantiales, también es útil para estimar la composición isotópica media de las aguas subterráneas.

La lluvia parece ser la fuente de recarga, lo que debe verificarse con más datos de muestreo isotópico.

Las aguas superficiales muestran una composición isotópica muy similar a la obtenida en las aguas subterráneas siendo el acuífero el que alimenta al río en la mayor parte del área, las pruebas de Slug también muestran este comportamiento. En San Pedro-Las Mesas ocurre lo contrario, siendo el río que alimenta al acuífero.

Las aguas subterráneas muestran valores isotópicos en el rango de  $-6.5$  a  $-7.2$  ‰  $^{18}\text{O}$  y  $-42.7$  a  $46.8$  ‰  $^2\text{H}$ . Estos valores son muy parecidos a los de los manantiales de la parte alta y, dado el comportamiento isotópico de los ríos, esto indica que el área de recarga principal del acuífero es la parte alta de las Serranías de Brito, que sirven de límite con los Acuíferos Costeros del Pacífico.

Los valores isotópicos de aguas subterráneas están muy próximos a la línea meteórica local de la Laguna Apoyo, Calderón et al 2009, estima que los datos de isótopos en precipitación, obtenidos para esta área, muestran valores altamente enriquecidos típicos del procesos de evaporación (Grafico14).

Alguno de los valores isotópicos más empobrecidos del área de estudio se registraron en los manantiales (Figura 14), aunque el efecto de altitud, no se ha registrado debido a la falta de datos, es en el presente estudio (Grafico 13).

Sin embargo, este efecto pareciera observarse principalmente en los manantiales La Anona y Huacalito (143 y 184 m.s.n.m) que presentan valores de desviaciones de tanto por mil para  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  de (-7.0 ‰, -45.7 ‰) y (-7.1‰, -44.1‰).

En el lado de barlovento de las montañas los contenidos de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  en lluvia disminuyen al aumentar la altitud y se convierten en aguas más ligeras, esto por dos factores; aguas arriba la lluvia procede de masas de vapor progresivamente empobrecidas isotópicamente por la pérdida de isótopos pesados en las lluvias precedentes y por otra parte la temperatura es más baja, por lo tanto el fraccionamiento de la condensación de vapor es mayor.

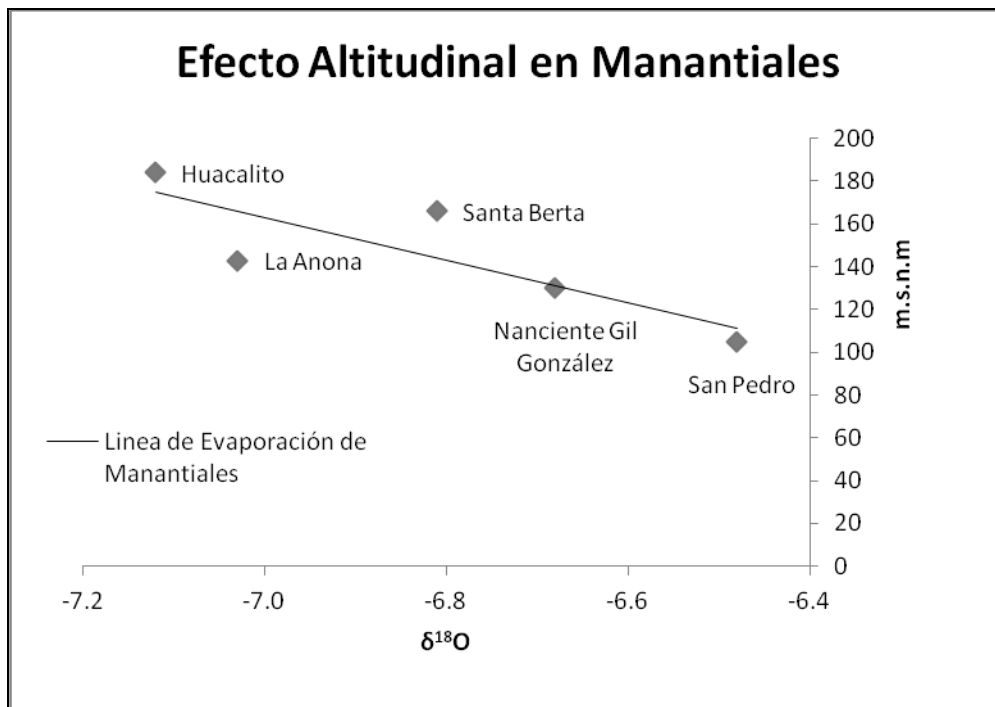
Los manantiales de la Naciente del Río Gil González y Huacalito ubicados en la parte alta de la subcuenca a 130 y 184 m.s.n.m, en la frontera del acuífero (límite NW con los acuíferos costeros del pacífico) tiene valores (-6.7‰, -42.7‰) y (-7.1‰, -44.1‰), ligeramente diferentes para  $\delta^{18}\text{O}$  y diferencias en  $\delta^2\text{H}$ . Las diferencias deben estar relacionadas al material acuífero y al nivel freático del agua, en contacto más directamente con el aire.

El manantial Naciente del Río Gil González probablemente deba sus valores más enriquecidos con isótopos pesados a las reacciones que puedan estar ocurriendo dentro del acuífero, sobre todo disolución de carbonatos, ya que las rocas donde se origina dicho manantial, son rocas con fracturas rellenas de  $\text{CaCO}_3$ , por tanto se produce liberación de  $\text{CO}_2$  que enriquece con  $\text{O}_2$  el agua de esta zona.

En el caso del manantial Huacalito el fenómeno que mejor describe el ligero empobrecimiento de isótopos pesados es el efecto causado por la evaporación desde el terreno, por evaporación directa durante la infiltración por la zona no saturada.

Tomando en cuenta la mayor elevación y la menor elevación se tiene el gradiente isotópico de 0.6‰ /79 m, esto nos indica que por cada 79 m existirá una variación en el contenido de  $\delta^{18}\text{O}$  de 0.6 ‰.

Con estos resultados se deduce que estas aguas experimentan una baja tasa de evaporación. Aún período húmedo, los valores de las muestras captadas están entre la Línea Meteórica Mundial y la Línea Meteórica de Nicaragua (OIEA, 1998), lo que demuestra, que el nivel de comportamiento isotópico es muy similar entre las aguas superficiales y subterráneas. Solamente los puntos correspondientes el Canal de Riego 2 (I2), muestras de la Laguna de Ñocarime y Lago Cocibolca presentan valores de evaporación (Grafico 14).



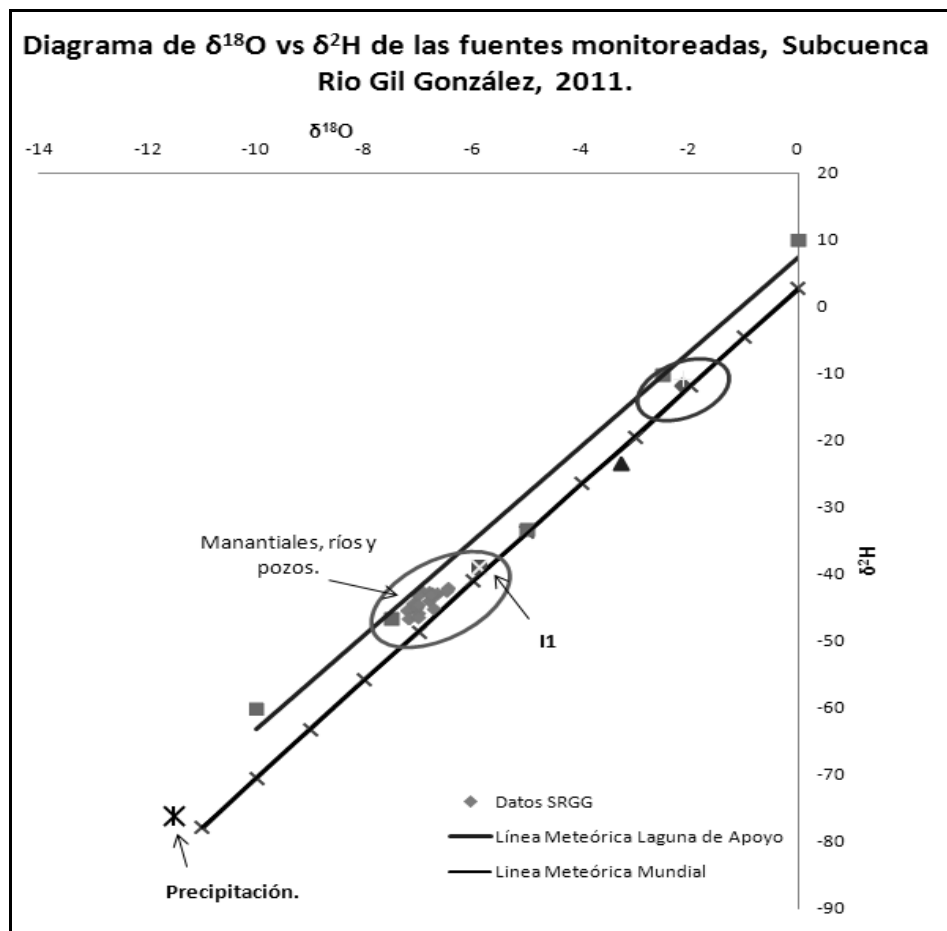
**Gráfico 7. Recta altitudinal local obtenida para  $\delta^{18}O$  a partir de muestras de manantiales. Esta recta servirá posteriormente para determinar zonas de recarga.**

Que la diferencia entre los valores medido de  $\delta^{18}O$  y  $\delta^2H$ , de las muestras de aguas superficiales y subterráneas, sea poca, indica que las aguas subterráneas, tienen una relación directa entre las aguas procedentes de manantiales, ríos y pozos, así indican la relación directa entre el acuífero y el río.

Existe una recarga reciente y conexión hidráulica entre las aguas superficiales y subterráneas. Dada la similitud en las concentraciones de  $\delta^{18}O$  y  $\delta^2H$  a diferentes profundidades, se considera que dicha conexión se mantiene (Grafico 14), al menos



entre los primeros 20 metros en la zona baja (El Jabillo) y 180 metros en la zona media-alta y alta de la subcuenca (San Antonio, Santa Berta).



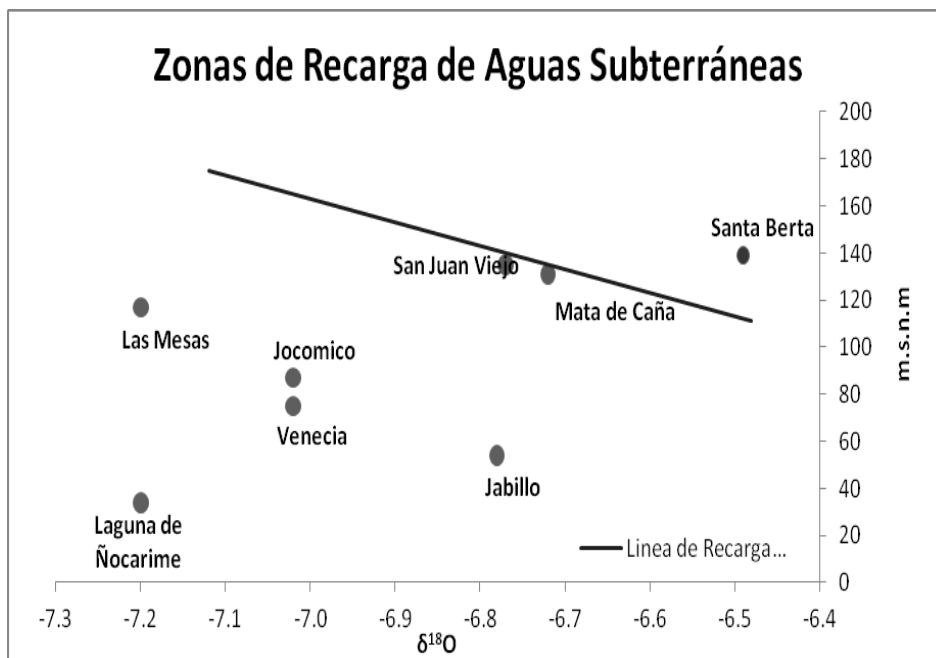
**Gráfico 8.** Diagrama de  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta^2\text{H}$ , comparadas con la Línea Meteórica de la Laguna de Apoyo (Calderón, 2009) y Línea Meteórica de Nicaragua OIEA (1998), se definen claramente dos sistemas de aguas, aguas evaporadas correspondientes a lago, laguna y canal de riego y aguas de reciente infiltración correspondiente a aguas de ríos, manantiales, canal y pozos. En el caso de I1 se estima que es agua que proviene de una noria o pozo de riego.

El leve enriquecimiento isotópico en los pozos de la parte alta (Pozo Santa Bertha, Pozo Mata de Caña, Pozo San Juan Viejo) y los manantiales (Santa Bertha,

Huacalito, San Pedro), con respecto a los de menor elevación (Pozo Venecia, Pozo Jocomico), podría deberse al aporte de la fase mineralógica, disolución de carbonatos y oxidación de pirita presente en los sedimentos, los procesos antes descritos tiene como excedente  $\text{O}_2$  que es aportado a medio.

A partir de muestras de aguas de manantiales que representan razonablemente bien la cota de recarga del acuífero se obtuvo la línea altitudinal local para el  $\delta^{18}\text{O}$ , al comparar las muestras tomadas en pozos del acuífero y la recta altitudinal (Gráfico 8) se obtuvo la cota más probable de recarga de dichas muestras.

La recarga por debajo de los 120 m.s.n.m. proviene principalmente de la precipitación o de retorno por riego, en los terrenos de CASUR y en elevaciones sobre los 120m.s.n.m desde las Serranías de Brito (Grafico 9).



**Gráfico 9. Determinación de las zonas de recarga a partir de Efecto de Altitud vs Contenido Isotópico de  $\delta^{18}\text{O}$ .**

La relación de la recta altitudinal local y muestras de aguas de pozos muestra; los puntos rojos son muestras tomadas a cotas topográficas a cotas superiores a la cota de recarga teórica que le correspondería, se trata de un efecto aparente debido a una posible evaporación en superficie o posibles reacciones en el terreno debido a la presencia de  $\text{CaCO}_3$  las rocas que conforman el medio geológico.

Los puntos verdes son muestras tomadas a su cota teórica de recarga, por lo tanto se puede decir que la zona de recarga de estos pozos es la zona de San Juan Viejo y Mata de Caña.

Los puntos azules, son muestras tomadas a cota topográfica entre 30 y 115 m.s.n.m, inferior a su cota teórica de recarga, por lo tanto podría tratarse de flujos locales dentro del acuífero, procedentes de las precipitaciones de la parte alta de la subcuenca.

Evidencias de este acuífero se pueden encontrar en los pozos excavados Santa Berta, Mata de Caña, San Juan Viejo y El Jabillo, los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  son  $-6.8\text{‰}$ , sin embargo el análisis de los datos isotópicos demuestra que el acuífero no recarga al río en su totalidad, las muestras San Pedro y El Bosque presentan valores de  $-6.8\text{‰}$   $^{18}\text{O}$  y  $-42.5\text{‰}$   $^2\text{H}$ , muy similares a las muestras de aguas subterráneas por lo que en esta área el río estará recargando al acuífero.

El aporte de aguas superficiales al acuífero ocurre por dos mecanismos:

- Para el área de San Pedro-Las Mesa parece existir infiltración de agua del río a través de un sistema de fallas, el cauce del río es controlado por dicho sistema, siendo considerada esta zona de debilidad estructural un área donde se facilita la infiltración de agua del río hacia el acuífero (Figura 9).
- Y en el caso de El Bosque, en esta parte el acuífero es principalmente aluvial existe recarga por percolación, hecho que es reafirmado al comprobarse que el río Gil González desaparece antes de llegar a la Laguna de Ñocarime.

Los valores el sitio Bocana Laguna de Ñocarime son muy similares a los valores de agua subterránea encontrados en los pozos excavados, manantiales y ríos,  $-7.2\text{‰}$   $^{18}\text{O}$  y  $-45.2\text{‰}$   $^2\text{H}$ . Lo que demuestra que la Laguna de Ñocarime es la zona de descarga subterránea del río Gil González y el acuífero Belén.

La diferencia entre los valores isotópicos del Lago Cocibolca y las aguas subterráneas dentro de la Subcuenca pueden ser explicadas, debido a que el lago es un cuerpo de agua abierto y relativamente somero, la profundidad promedio es 3 m (CIRA-UNAN, 2007). La evaporación actúa de forma marcada enriqueciendo de isótopos pesados las aguas del lago.

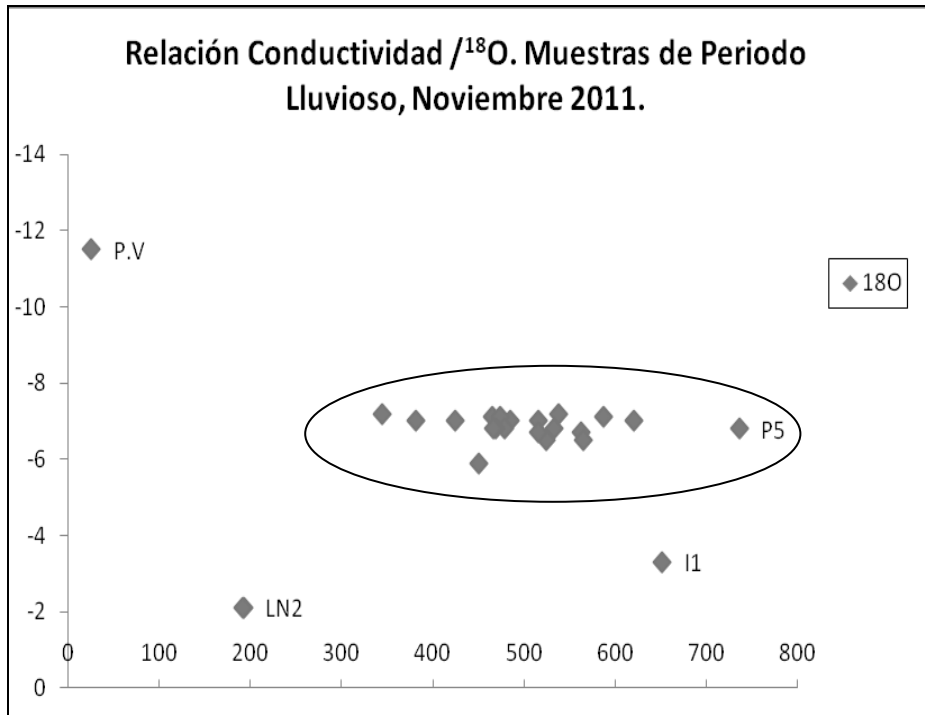
La laguna de Ñocarime se comporta como receptor de las aguas subterráneas del acuífero Belén y el río Gil González. Aquí las aguas se estancan por un período de tiempo, que ha de ser relativamente corto. Posteriormente son drenadas al Lago Cocibolca, sobre todo en la época seca cuando el nivel del lago disminuye, es por esto que las muestras se presentan enriquecidas de isótopos pesados.

La relación entre la conductividad eléctrica (C.E) y el contenido isotópico ( $\delta^{18}\text{O}$ ), se efectúa con la finalidad de conocer los procesos que tienen lugar en el acuífero. Se determina el posible origen del incremento en la salinidad (Gráfico 15).

De acuerdo a los resultados se observa una tendencia caracterizada de la conductividad eléctrica entre 344 y 620  $\mu\text{Scm}^{-1}$  y un promedio de 466.7  $\mu\text{Scm}^{-1}$ : Se observan efectos de cambio de conductividad y variación isotópica, la precipitación es afectada únicamente por la variación isotópica. En cuanto a conductividad presenta valores típicos de agua de lluvia.

La muestra del centro de la laguna de Ñocarime, indica un aumento en la cantidad de sales disueltas en las aguas, comparada con aguas del sitio El Bosque, un fenómeno típico debido al arrastre y lavado de suelo y a los procesos de remoción de sedimentos del fondo de la misma.

Las muestras de agua correspondiente al Pozo El Jabillo y Canal de Riego 1 indican que en esta área el acuífero está sufriendo un proceso de disolución de las rocas, para Pozo El Jabillo, precipitando y acumulando sales. En el Canal de Riego 1 se produce una leve evaporación, concentrando el contenido de sales.



**Gráfico 10. Relación C.E /  $\delta^{18}\text{O}$ , los valores de C.E muestran que una tendencia similar para las aguas superficiales y subterráneas.**

### **III.5. Balance Hidrogeológico**

El balance hidrogeológico, se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocida como ecuación de la continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

El propósito de este acápite es establecer un balance cuantitativo del acuífero, para el aprovechamiento sostenible del agua subterránea, en los diferentes rubros del desarrollo económico de la subcuenca Gil González.

Los datos corresponden al período 2010-2011. Para un año medio se puede despreciar la variación del volumen de agua almacenada en el acuífero ( $\Delta S$ ), que es difícil de medir y calcular, así como su variación puede ser poca.

La cuenca, es la única zona natural, para la cual, las determinaciones a gran escala del balance hídrico pueden simplificarse. La exactitud del cálculo aumenta al aumentar superficie de cuenca. Para cuencas pequeñas el detalle de datos debe ser mayor.

### Ecuación del Balance Hídrico Subterráneo.

$$(R+Q_c+R_r) - (B +Q_r + Q_p + E_{sub} + ETP + Q_a) - \Delta S = 0 \quad \text{Ec. (3)}$$

**Donde:**

- **R = Recarga directa por precipitación al terreno.** Agua que potencialmente recargara al acuífero.
- **Q<sub>c</sub> = Infiltración de las aguas de corrientes superficiales y recarga artificial.** Recarga al acuífero por aguas superficiales.
- **R<sub>r</sub> = Recarga por Retorno.** Agua que retorna al acuífero por infiltración en zonas de riego.
- **B = Extracción por Bombeo.** Extracciones de agua del acuífero por acción del bombeo en pozos.
- **Q<sub>r</sub> = Flujo Base.** Agua que descarga del acuífero a través del lecho de los ríos.
- **Q<sub>p</sub> = Percolación Profunda.** Flujo que por acción de la gravedad desciende a las capas más profundas del acuífero.
- **Q<sub>a</sub> = Salidas o entradas de agua de otros acuíferos.** Agua que sale o entra por los límites del acuífero.
- **E<sub>sub</sub>. = Escorrentía Subterránea.** Agua que fluye a través del acuífero.
- **ETP = Pérdidas por Evapotranspiración.** Agua que se pierde por el proceso de evapotranspiración.
- **Δs = Variación del Almacenamiento.** Capacidad utilizable del agua en un acuífero.

**(R) Recarga directa de la precipitación a través del terreno.**

La recarga total directa por infiltración procedente de la precipitación dentro de la subcuenca es aproximadamente 9.96 MMCA.

### **(Qc) Infiltración por recarga artificial**

El principal aporte superficial por riego es desde el ingenio azucarero CASUR, el que utiliza 40.64 m<sup>3</sup>/minuto de agua del Lago Cocibolca para irrigar aproximadamente 3,430 ha de caña de azúcar dentro del acuífero. Representando un volumen de agua de 21.90 MMCA.

### **(Qa) Entrada o salida de subterránea por otros acuíferos**

Desde el punto de vista hidráulico consideraremos al acuífero cerrado por lo tanto este término se considera nulo.

### **(B) Extracción por Bombeo.**

El total de extracciones al acuífero se pueden cuantificar en 0.316 MMCA en extracciones de pozos para abastecimiento de agua para usos domésticos y 2.485 MMCA de extracciones desde norias, por lo tanto el volumen total de extracciones es de 2.517 MMCA.

### **(Rr) Retorno por riego**

Asumiremos que el 10% del caudal extraído para riego a pequeña escala retorna al acuífero a través de norias, el valor obtenido es de 2.48 MMCA.

### **(Esub) Escorrentía Subterránea**

Este valor fue calculado en el capítulo de características hidráulicas y equivale a 9.30 MMCA.

### **Et) Pérdidas por Evapotranspiración**

Esto representa aproximadamente el 15% de agua utilizada para riego, siendo el valor calculado de 2.29 MMCA.

### **(Qr) Flujo Base**

Un estimado del caudal total en la salida del río, durante 2010-2011, fue de 22.19 MMCA; de estos, 5.24 MMCA son flujo base y 16.95 MMCA son escorrentía directa. Esto indica que el flujo base, es una fuente de descarga del acuífero, haciendo contribuciones al caudal río de aproximadamente 10 % del flujo total.

### **III.5.1. Reservas del Acuífero**

Si tomamos en cuenta la geometría del acuífero podremos calcular las reservas que este posee. Utilizando un coeficiente de almacenamiento de 0.01 como promedio y un espesor saturado de 100 m, los acuíferos fisurado discontinuo, acuífero discontinuo poco profundo, acuífero discontinuo, acuífero poroso profundo y acuífero aluvial, abarcan un área de 118 km<sup>2</sup>, se obtiene una reserva para la zona media a baja de la subcuenca Río Gil González de 129.8 MMCA.

Cabe señalar que esta cifra es temporal ya que depende de las fluctuaciones de los niveles freáticos, así mismo el valor es bajo debido a las características del material acuífero y su espesor saturado.

### **III.5.2. Disponibilidad de Agua en el Acuífero**

Sustituyendo los valores de las mediciones de campo se obtiene los resultados mostrados en la tabla 13.

**Tabla 10. Valores utilizados en la ecuación de Balance Hídrico Subterráneo.**

<b>Entradas = Salidas – <math>\Delta s</math></b>	
<b><math>\Delta s = (R + Q_c + R_r + E_{sub}) - (B + Q_r + ET)</math>.</b>	
<b>Entradas</b>	
<b>(R) = Recarga por Infiltración</b>	<b>9.96 MMCA</b>
<b>(Q<sub>c</sub>) = Infiltración por Recarga artificial</b>	<b>10.96</b>
<b>R<sub>r</sub> = Retorno por riego</b>	<b>2.48 MMCA</b>
<b>E<sub>sub</sub> = Escorrentía Subterránea</b>	<b>9.30</b>



<b>Salidas</b>	
<b>Qr= Flujo Base</b>	<b>5.24 MMCA</b>
<b>ET= Pérdidas por Evapotranspiración</b>	<b>2.29</b>
<b>B= Bombeo</b>	<b>2.517</b>
	<b><math>\Delta s = 22.65</math> MMCA</b>

Se obtiene una variación del volumen de almacenamiento de 22.65 MMCA, la mayor parte del agua que se infiltra, es flujo base y flujo subterráneo profundo. Esto garantiza que el río principal y sus tributarios puedan conservar un flujo mínimo en los meses más secos.

La mayor parte de la recarga por irrigación ocurre en la parte baja de la subcuenca donde se da los cultivos que utilizan inundación: Esta dotación de agua es la que permite que el acuífero reciba un aporte significativo, siendo la mayor fuente de ingreso de aguas.

Los acuíferos fracturados, como el de la Subcuenca Gil González, son de baja transmisividad, la porosidad predominante es debida a fracturación. La porosidad secundaria por fracturación disminuye con la profundidad, en las zonas más profundas predomina la porosidad intergranular (Krasny, 2003).

En este medio hidrogeológico también han sido comprobadas las diferencias en la transmisividad. Dependiendo de la posición geomorfológica e hidrogeológica, en los valles, hidrogeológicamente zonas de descarga, la transmisividad predominante es hasta treinta veces mayor que en los pozos situados en elevaciones y pendientes (zonas de recarga), las zonas de descarga de aguas subterráneas se caracterizan generalmente por una permeabilidad mayor que las de recarga (Krasny, 2003).

Por lo anterior expuesto en las parte más planas de la subcuenca es donde se registra la mayor descarga del flujo profundo, disminuyendo con esto significativamente, la variación del volumen de almacenamiento dentro del acuífero.

## **III.6. Hidrogeología**

### **III.6.1. Contexto Hidrogeológico**

La cuenca subterránea, se define como el área bajo la superficie, donde el agua se mueve a un punto de descarga particular. Diferentes condiciones durante la historia geológica, han originado una variabilidad y distribución espacial de la porosidad y permeabilidad de los sistemas hidrogeológicos.

Las fallas y fracturas constituyen las estructuras geológicas más importantes en los tipos de rocas presentes en la subcuenca Río Gil González. Desde el punto de vista hidrogeológico, éstas facilitan el almacenamiento y movimiento del agua a través de las rocas.

Las fallas crean zonas lineares de porosidad secundaria más alta. Estas zonas pueden actuar como canales de flujo preferencial de recarga o descarga. La permeabilidad del suelo aumenta por la existencia de fallas, grietas, juntas u otras particularidades estructurales.

### **III.6.2. Comportamiento Hidrogeológico de la Subcuenca Río Gil González**

#### **III.6.2.1. Comportamiento a pequeña escala**

Los materiales que conforman la subcuenca Río Gil González (sedimentos consolidados y materiales aluviales no consolidados) presentan un comportamiento hidrogeológico variable que no solo depende de su composición original (sedimentos originados de rocas ácidas, arcillas y sedimentos de origen piroclásticos, Kuang, 1971), sino también a su edad y del grado de fracturación y compactación que los afecta, al respecto hay que destacar lo siguiente:

1. Los parámetros primarios de las rocas, es decir los que poseen en el momento de su deposición o poco después, son heterogéneos. Así, algunas son más permeables, como los sedimentos poco consolidados y sedimentos residuales, mientras que otras, como las arcosas, lutitas, areniscas de grano grueso, apenas son capaces almacenar agua o dejarla circular. Las rocas poco permeables dominan sobre las permeables.

2. Desde el momento de su formación, los materiales comienzan a experimentar procesos secundarios que, poco a poco, van modificando progresivamente sus características primarias u originales. Estos procesos son de dos tipos:

a) Alteración que tiende a transformar en arcillas cualquier roca, especialmente en sus partes más porosas.

b) Compactación, que reduce el volumen de huecos como consecuencia del apilamiento de nuevos materiales, los cuales ejercen una presión de carga creciente sobre los formados previamente.

Con el paso del tiempo, el efecto acumulado de la alteración y compactación tiende a reducir la porosidad de las rocas, y en consecuencia, su permeabilidad y su capacidad de almacenamiento.

3. La presencia de fracturas secundarias, inducidas por fenómenos tectónicos y la fracturación abierta, al contrario de lo que sucede con la alteración y compactación, incrementa la permeabilidad y la capacidad de almacenamiento de las rocas y pueden afectar a todos los tipos de rocas. Los sedimentos más recientes, ya de por sí permeables, no modifican sensiblemente su comportamiento por fracturamiento, pero los más antiguos y compactos, que ya habían sido transformados a rocas, recuperan la capacidad de almacenar y transmitir agua subterránea a través de fracturas abiertas.

### III.6.2.2. Comportamiento Global

Si en vez de considerar las subcuencas como un bloque a pequeña escala, ampliamos el detalle de observación, hasta abarcar el conjunto de las rocas de las que las conforman, encontramos que la heterogeneidad y la anisotropía persisten.

1. El crecimiento del relieve estuvo dominado por la acumulación progresiva de sedimentos en una cuenca sedimentaria y después emergió por procesos orogénicos, esta actividad de sedimentación no ha sido constante ni idéntica a lo largo de la historia geológica. Se han experimentado fluctuaciones de intensidad y cambio de composición de los productos depositados. Todo ello ha dado lugar a la existencia de unidades estratigráficas que difieren en composición, edad, grado de alteración y compactación, de modo que se comportan diversamente ante el flujo de agua subterránea.

2. La disposición de estas unidades superpuestas y suavemente inclinadas hacia el mar y hacia el Lago Cocibolca, permite como primera aproximación concebir un modelo en capas de permeabilidad decreciente hacia abajo.

3. Los procesos de compresión, productos de la zona de subducción frente a las costas pacíficas, se evidencian por la presencia del eje del Anticlinal de Rivas, esta estructura se extiende de 6 – 7 Km de longitud y con 1 Km de ancho. Se manifiesta por la aguda variación de los ángulos de buzamiento de las rocas que afecta, el comportamiento hidrogeológico pasa a ser no solo diferente sino incluso opuesto al modelo de capas superpuestas, donde el ángulo de inclinación es suave.

### **III.6.3. Medio Hidrogeológico**

Las unidades estratigráficas que conforman el acuífero Belén, pueden ser agrupadas en dos grandes conjuntos, generados en facies de sedimentación similares a) Sedimentos Antiguos, consolidados ( formado por la unidades Arcosas, Areniscas de Grano Grueso, Lutitas e Intercalación de Lutitas y areniscas) y fracturado y b) Sedimentos Recientes no consolidados (formado por las unidades Residual y Cuaternario Aluvial).

#### **III.6.3.1. Sedimentos Consolidados y Fracturados**

##### **III.6.3.1.1. Unidad Litológica Arcosas**

La unidad más antigua, en algunos lugares se puede observar por la erosión de las capas que la sobreyacen, pero en el resto de la subcuenca se interpreta como el basamento profundo recubierto por unidades más recientes. Está constituida por arenisca de cuarzo, de granos gruesos, hasta fino con buena clasificación y fuerte empaquetamiento. Debido al largo tiempo transcurrido desde su deposición, estos materiales han sido modificados por compactación y alteración, de modo que la unidad se comporta como un sustrato de baja permeabilidad. El agua queda suspendida sobre esta unidad en las unidades suprayacentes. La acumulación de agua subterránea es posible en el sistema de fallas o fracturas profundas.

##### **III.6.3.1.2. Unidad Litológica Areniscas de Grano Grueso**

Sobreyace a la unidad Arcosa, son areniscas de grano grueso, probablemente grauvacas o areniscas tobáceas. En muestras de mano se observan poco alterada, presentando meteorización esferoidal. Aflora en la parte oeste de la subcuenca. Manifiesta una permeabilidad global de baja a muy baja que disminuye en las partes más elevadas, donde el fallamiento y fracturamiento disminuye.

### III.6.3.1.3. Unidad Litológica Lutitas

Las rocas de esta unidad sobreyacen a la Unidad Areniscas de Grano Grueso. Se ubican en la parte Sur y Sureste de la subcuenca. Pueden observarse generalmente de dos tipos; lutitas tobáceas de color gris claro, dispuestas en estratos delgados, presenta alteraciones por concreciones de óxidos de manganeso y lutitas grises y pardas en estratos delgados, se observan en capas de uno a dos centímetros.

Su comportamiento es heterogéneo tanto vertical como horizontal y está controlado entre otros factores por: 1) grado de intensidad de los procesos de alteración y compactación, 2) volúmenes relativos entre las lutitas tobáceas y las lutitas grises, 3) grado de fracturación abierta que existe en el dominio de los ejes estructurales.

No resulta fácil tipificar un comportamiento en los parámetros hidráulicos que tenga validez a escala local, y de hecho es la unidad que mayores diferencias presentan de una zona a otra. El único común denominar es la disminución de la conductividad hidráulica con la profundidad, pero esta tendencia oscila entre términos extremos muy diversos que pueden ser esquematizados del siguiente modo;

- En algunos sectores la unidad Lutitas aflora y presentan zonas fracturadas más profundas, como consecuencia la permeabilidad es más alta en el techo de la unidad y moderada en los niveles más bajos.
- En ciertas áreas la unidad Lutitas está recubierta por varios metros de la unidad Residual y presenta un dominio de fracturas rellenas de arcillas y ocasionalmente  $\text{CaCO}_3$ . Como resultado la permeabilidad oscila de valores bajos en el techo y nulos en los niveles medios e inferiores.

#### **III.6.3.1.4. Unidad Hidrogeológica Intercalación de Areniscas y Lutitas**

Esta unidad es una alternancia de areniscas de grano medio a grueso y lutitas compactas tobáceas de grano fino a muy fino de color café claro y a veces gris. El espesor de las capas varía entre 20 a 30 cm. En general manifiesta una permeabilidad de baja a muy baja.

#### **III.6.3.2. Sedimentos No Consolidados**

##### **III.6.3.2.1. Unidad Hidrogeológica Residual**

Esta unidad corresponde a rocas formadas por los productos de meteorización y no transportados. Son producto de la alteración de las arcosas. Son rocas poco compactas, principalmente en las zonas bajas próximas a la unidad arcosas. La granulometría varía de arena gruesa a arenas finas y limos.

Los valores de permeabilidad son bajos/muy bajos, disminuyendo según la profundidad, donde la roca es más compacta.

##### **III.6.3.2.2. Unidad Hidrogeológica Cuaternario Aluvial**

Consiste de materiales aluviales, producto de los procesos erosivos y de meteorización que han afectados las arcosas y las lutitas, y depositados por la acción de los ríos, se caracterizan por poseer altas conductividades hidráulicas y porosidad.

Los sedimentos aquí agrupados apenas han experimentado compactación y/o alteración profunda, de modo que constituyen un conjunto sumamente permeable.

#### **III.6.4. Dinámica de Flujo**

La forma de la superficie freática tiende a adaptarse a la topografía con menos pendiente. Presenta irregularidades condicionadas por la geología del subsuelo, destacando:

- a) Un perfil escalonado impuesto por el sistema de fallas dominante.
- b) Una pendiente media a ondulada ( $10^\circ$  a  $15^\circ$ ), en la parte alta y media de la subcuenca.
- c) La geometría de la superficie freática puede ser conocida en un momento dado con gran precisión en toda la subcuenca a causa del gran número de pozos excavados y algunos perforados. La base de datos utilizada para las superficies piezométricas es de los años 2008 y 2010 (Figura 7).

### **III.6.4.1. Características Hidráulicas**

Las propiedades del acuífero no han sido determinadas, dada la falta de pruebas de bombeo. Se toma entonces, los datos de Transmisividad (T) y Almacenamiento (S) obtenidos por Krasny e INETER (Krasny, 1998) y Fenzl, (Fenzl, 1988).

Las rocas bien compactas (rocas duras) de mayor edad geológica son caracterizadas por su porosidad de fisuración. El proceso de estos cambios suele acelerarse por plegamiento de las rocas (Krásný, 2003).

Los Transmisividades (T) presentan valores de 250 a 3000  $m^2/d$ ; el almacenamiento oscilan entre 0.05 a 0.20. INETER, 1998 a partir del análisis de Krásný, J. 1995. El acuífero es de carácter libre, el basamento hidrogeológico está representado por la Unidad Lutitas, que forma una especie de cuña (Esquema 1).

El gradiente hidráulico escure desde las Serranías de Brito hacia el Lago de Nicaragua, con valores entre 0.005 a 0.01. Los gastos específicos varían entre 5-50  $m^3/h/m$  alcanzando hasta 150  $m^3/h/m$ . La tabla 7 muestra los diferentes tramos de gradiente hidráulico.

### **III.6.4.2. Funcionamiento Hidrodinámico del Eje Anticlinal**

En la franja correspondiente al eje del anticlinal de Rivas, el fracturamiento secundario ha transformado las características de las rocas y el comportamiento



hidrogeológico de conjunto pasa a tener características diferentes en las unidades hidrogeológicas que no son afectadas directamente por esta estructura.

De acuerdo a la frecuencia, cambios en dirección y profundidad del fracturamiento, se pueden distinguir dos dominios verticales dentro del eje; 1) el núcleo y 2) los márgenes, el paso de uno a otro es gradual, observado en la disminución de la densidad de fracturas en las rocas.

#### **III.6.4.3. Funcionamiento en el Núcleo**

En la parte central, donde se desarrollan los mayores esfuerzos extensivos producto del plegamiento de las rocas, la fracturación secundaria aumenta la permeabilidad. Por ejemplo la Unidad Arcosa, que fuera del eje constituye una unidad impermeable, pasa a tener una conductividad hidráulica media.

La mayor permeabilidad está vinculada a las grandes fisuras abiertas, que actúan como vías de drenaje rápido; con dirección coincidente más o menos al eje del anticlinal e inclinación próxima a los 45°. Existe una micro-fracturación, principalmente en las lutitas, que siendo un elemento de drenaje más lento que las anteriores, tiene mayor repercusión en el aumento del almacenamiento de agua.

Tanto las fisuras como las micro fracturas crean un medio anisótropo al poseer una direccionalidad preferencial (paralela al eje general del anticlinal), en este sentido el flujo longitudinal del agua subterránea se encuentra con pocos obstáculos, algunas fracturas o fisuras oblicuas sirven de barrera al flujo. En sentido transversal es mayor el número de fracturas de que fuerzan el flujo de agua desde las partes altas hasta las partes más bajas.

#### **III.6.4.4. Funcionamiento de los Márgenes**

El fracturamiento disminuye en densidad a ambos lados del núcleo del eje del anticlinal, casi desapareciendo a un kilómetro del mismo.

El rasgo más sobresaliente de esta banda marginal es que las fracturas, pueden actuar en su mayoría como barreras de flujo transversal de agua subterránea, de la parte alta a la zona de descarga, en la parte baja. Al igual que en el núcleo, el gradiente hidráulico se hace mayor.

### **III.6.5. Sistema Hidráulico del Acuífero Belén**

Las aguas subterráneas del Acuífero Belén conforman un sistema hidráulico poco complejo, la reserva hídrica se encuentra en una zona saturada, comprendida entre dos superficies irregulares;

- 1) La superficie freática; que establece el nivel superior del sistema y reproduce la topografía de la subcuenca. El máximo de elevación es en el sector de Santa Berta y desde ahí desciende gradualmente hasta alcanzar la zona litoral de la Laguna de Ñocarime.
- 2) El basamento impermeable, que es el límite inferior del sistema, por debajo del cual no existen reservas hídricas significativas, está controlado por la geología.

**Tabla 11. Variaciones del gradiente hidráulico en la subcuenca Rio Gil González.**

<b><u>Tramo-Microcuenca</u></b>	<b><u>Gradiente Hidráulico.</u></b>	<b><u>Ubicación en la Subcuenca</u></b>
<b>Huacalito-Mata de Caña</b>	<b>0.03</b>	<b>Parte Alta</b>
<b>La Penca-San Juan Viejo</b>	<b>0.004</b>	<b>Parte Alta</b>
<b>Santa Berta-Las Mesas</b>	<b>0.01</b>	<b>Parte Media</b>
<b>Mata de Caña-El Socorro</b>	<b>0.003</b>	<b>Parte Media</b>
<b>Hda. Santa Alicia-Ñocarime</b>	<b>0.004</b>	<b>Parte Baja</b>
<b>Las Brisas-Pansaco</b>	<b>0.005</b>	<b>Parte Baja</b>

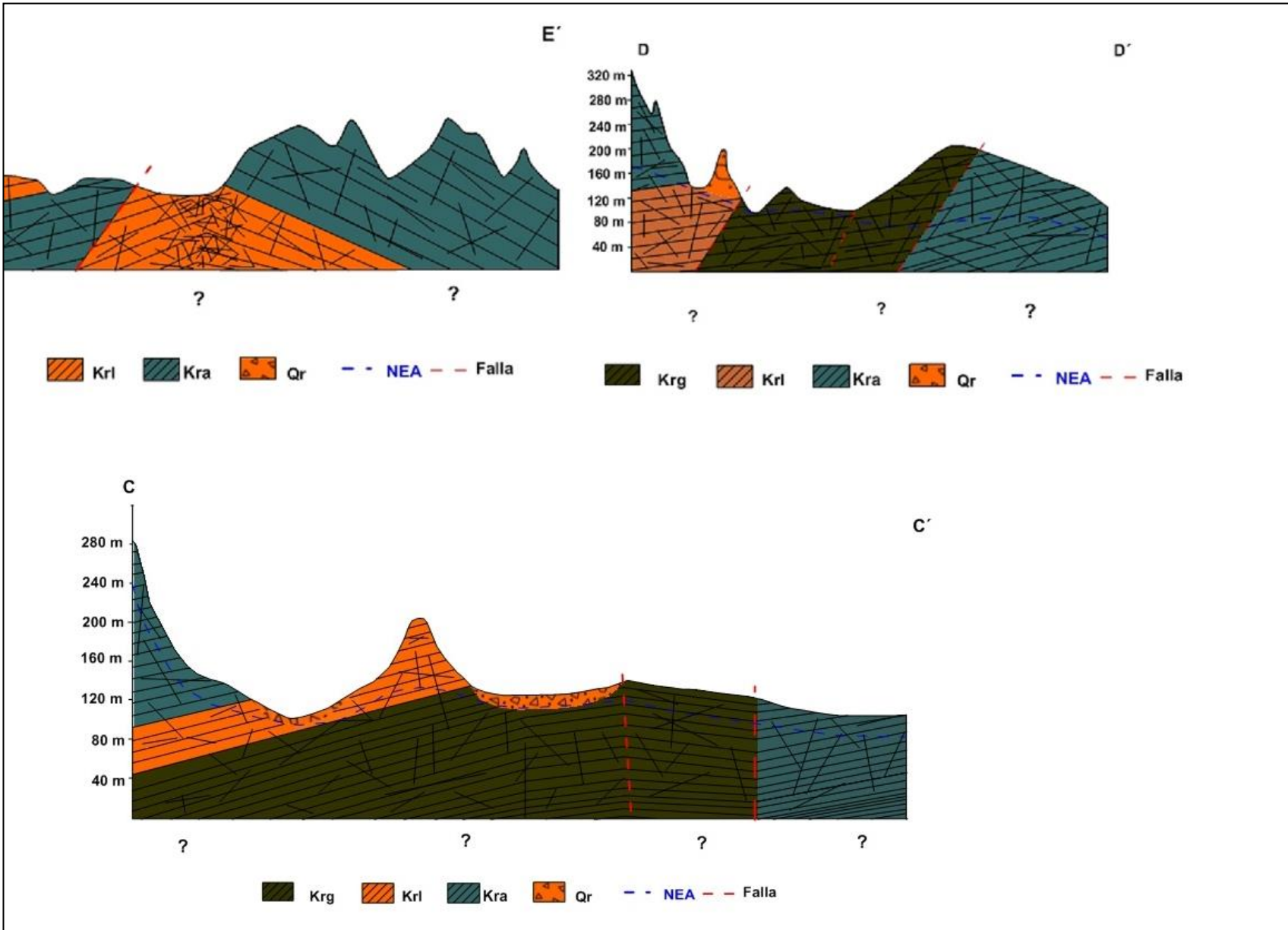


Gráfico 11. Perfil Hidrogeológico de la Subcuenca Rio Gil González.

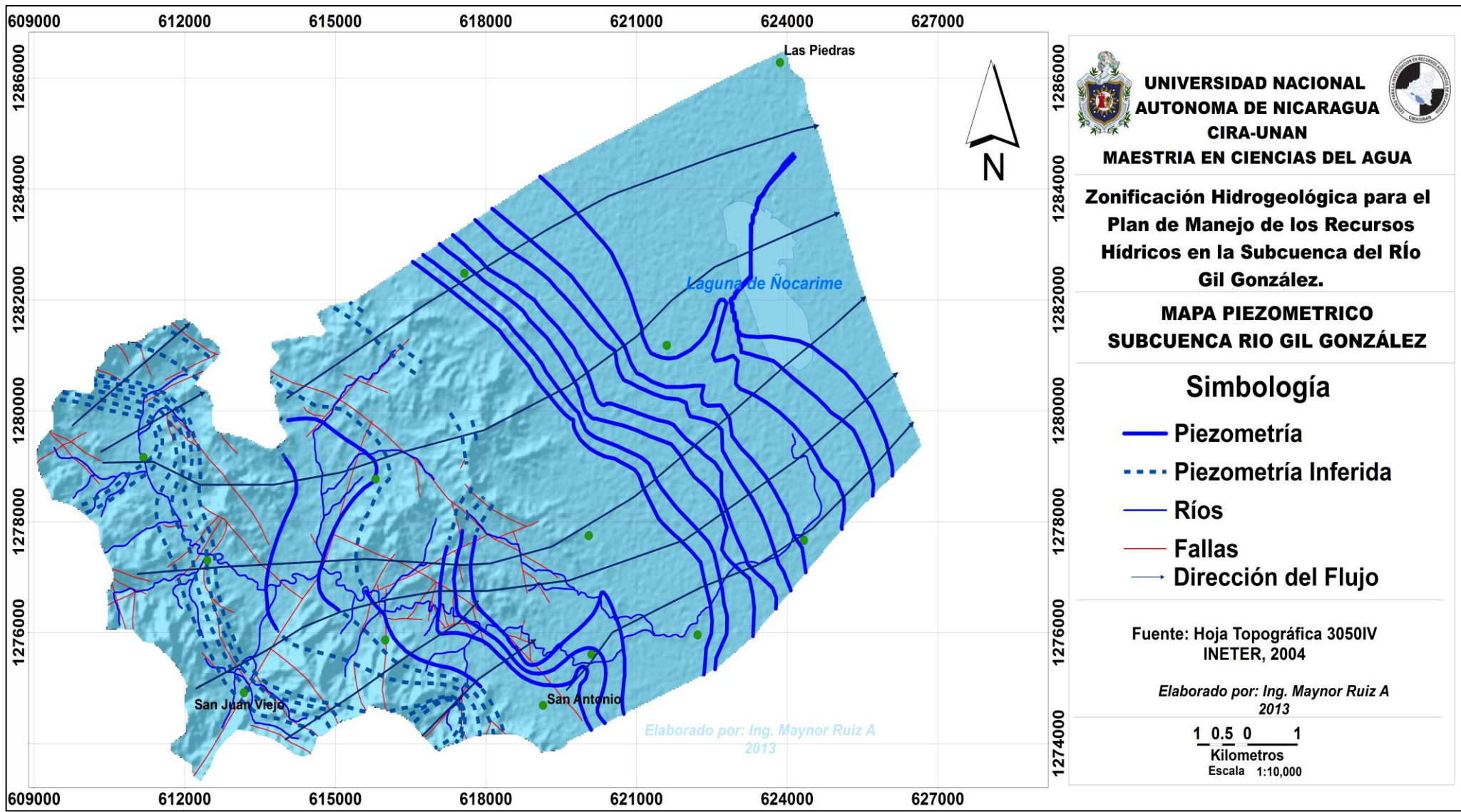


Figura 14. Mapa Piezométrico y Red de Flujo. Acuífero de Belén

La red de flujo se utiliza para el cálculo de la descarga subterránea,  $Q_{sub}$ , que atraviesa la subcuenca Rio Gil González. Se utiliza la ecuación de Darcy (Darcy, 1856):

$$Q=kiA$$

Donde:

**Q**= Caudal que fluye por una sección ( $m^3/d$ ).

**K**= Conductividad Hidráulica, es una medida de la habilidad del acuífero para transmitir fluidos como el agua ( $m/d$ ).

**I**= Gradiente Hidráulico, diferencia de altura entre el punto de entrada de agua y el de salida dividido entre las distancias entre ellos, es adimensional.

**A**= Área de la sección de descarga ( $m^2$ ).

La conductividad hidráulica (K), se estimó a partir de la transmisividad (T) y la columna de agua atravesada por los pozos. Los valores que se utilizaran se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 12. Valores de Transmisividad y Conductividad Hidráulica según promedios de varios autores que han realizado análisis de pruebas de bombeo en el Acuífero Rivas-Nandaime.**

<u>Autor</u>	<u>Transmisividad(<math>m^2/d</math>)</u>	<u>Conductividad Hidráulica. K(<math>m/d</math>)</u>	<u>Ss</u>
<b>Krásný (2003)</b>	<b>500</b>	<b>4.17</b>	<b>0.30</b>
<b>Fenzl</b>	<b>300</b>	<b>2.5</b>	<b>0.20</b>
<b>INETER</b>	<b>300</b>	<b>2.5</b>	<b>0.20</b>
<b>Promedio</b>	<b>372</b>	<b>3.1</b>	<b>0.23</b>

El valor de  $K$  es de 3.1  $m/d$ , el gradiente hidráulico es de 0.009, la sección transversal, se calcula con el espesor promedio del acuífero, 120 m y el ancho de tramo de descarga al Cocibolca de 7, 610 m, desde el límite Norte hasta el límite Sur, para un área de 913, 200  $m^2$ .

Aplicando la ecuación 2, el caudal que fluye a través del acuífero es igual a 9.30 MMCA.

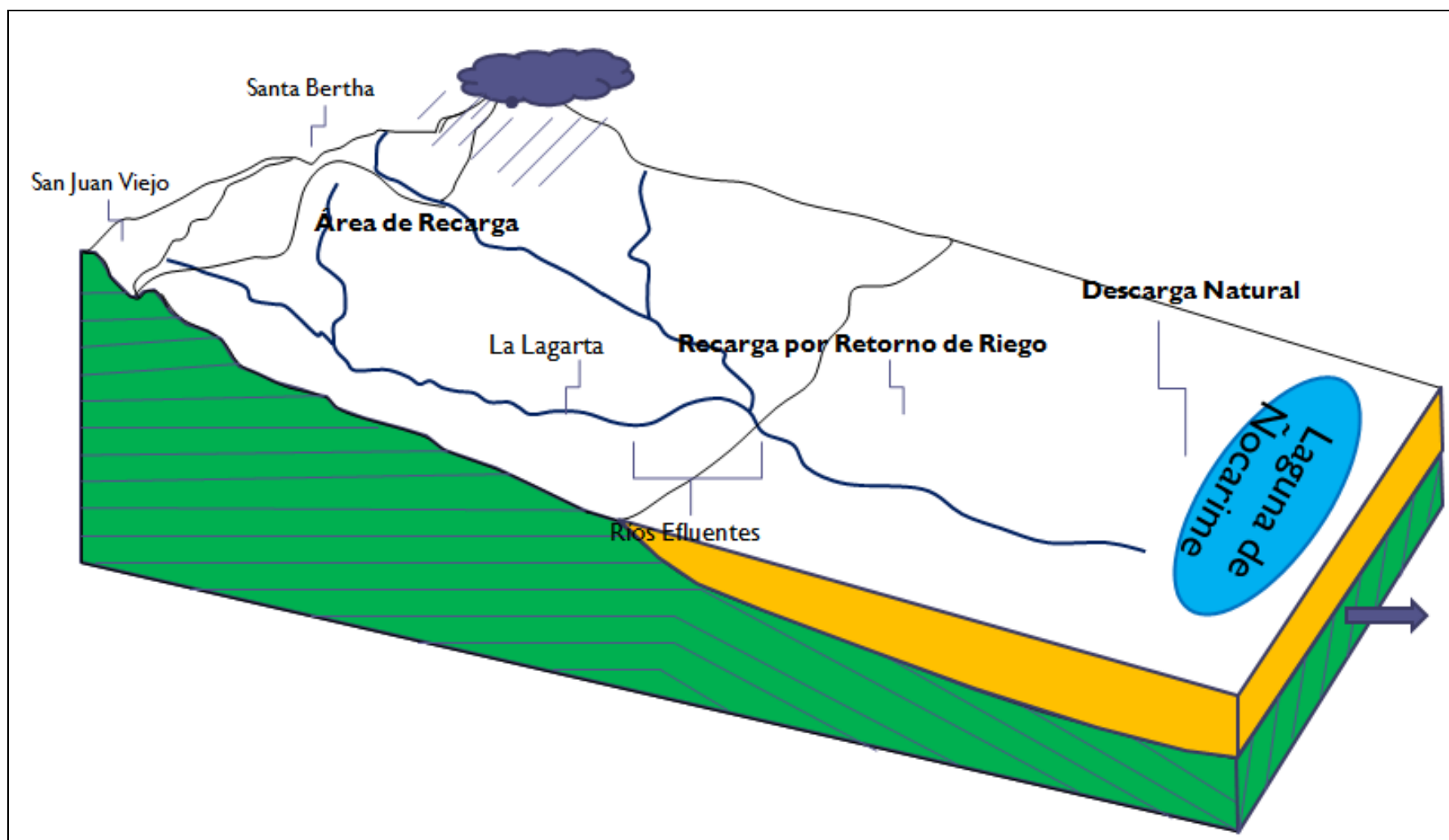


Figura 15. Modelo Conceptual de la Subcuenca Rio Gil González.

## **CAPITULO IV.**

### **IV. Zonificacion Hidrogeologica**

#### **IV.1.1. Antecedentes de la Subcuenca Rio Gil González**

La Subcuenca Río Gil González queda definida por la cuenca del río Gil González y sus afluentes, comprende mayoritariamente los municipios de Belén y Potosí, y en menor grado Buenos Aires. Sobre la cuenca se encuentra establecido el poblado de Pueblo Nuevo y las comunidades, Mata de Caña, Las Mesas, San Juan Viejo y Santa Berta, además de una amplia superficie agrícola de producción intensiva.

Las precipitaciones acumuladas anuales sobrepasan los 1300 mm.

La cuenca del río Gil González ha tenido un aumento en los últimos años fundamentalmente en el área agrícola, lo que ha implicado aumento de la demanda por el recurso hídrico. Las escorrentías en el período de estiaje son bajas, por lo que la presión sobre los recursos subterráneos es mayor.

A partir de los datos obtenidos se delimitaron cuatro sistemas acuíferos a partir de similitudes geológicas hidrológicas e hidrogeológicas (Figura 10).

La zonificación hidrogeológica de la subcuenca Río Gil González sirve como una herramienta para planificar el uso y manejo sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.

#### **IV.1.2. Justificación de la Zonificación**

Las diferencias dentro del medio geológico de la subcuenca tanto desde el punto de vista teórico como desde el práctico, establecen una heterogeneidad importante. Las principales diferencias observadas son las siguientes:

- 1) El volumen de agua que se infiltra varía mucho de unas áreas a otras, esto es debido a la variación local de la precipitación y la permeabilidad del suelo y el subsuelo.
- 2) El medio hidrogeológico es heterogéneo y anisótropo. Existen fuertes diferencias en los parámetros hidrogeológicos de permeabilidad y almacenamiento, tanto vertical como horizontalmente.
- 3) Hay zonas (acuíferos) donde la circulación de agua subterránea está condicionada por medio fracturado y zonas de medio poroso.
- 4) Existe variaciones de volúmenes hídricos disponibles en cada zona, debido a extracciones intensivas sobre todo en las áreas de cultivos anuales que utilizan mayor volumen de agua.

### **IV.1.3. Características Hidrogeológicas**

La situación heterogénea y desigual distribución del recurso, hace imprescindible la zonificación, a fin de realizar el manejo adecuado a cada requerimiento específico.

Las zonas definidas presentan características definidas:

- a) Los acuíferos fracturados cubren una extensa área de la zona. Sobre estos se ubica la mayor parte de la población y se realizan actividades agropecuarias extensivas. Presentan transmisividades bajas y si se somete a estrés, se reduce la capacidad del acuífero. Aquí se tiene la mayor extracción desde río y pozos o norias.
- b) Los acuíferos intramontanos son los de menor extensión y debido a sus características geológicas también presenta permeabilidades bajas. Es un área con poca población y mayormente es utilizada para aéreas de reforestación.
- c) El acuífero aluvial cubre la mayor parte del área de estudio, se ubica en las partes más bajas donde la deposición de materiales geológicos no



consolidados les confiere alta porosidad y capacidad de transmitir agua. Son de poco espesor, por lo tanto poco productivos.

#### **IV.1.4. Análisis por zonas**

**a) Acuíferos Fracturados.** Corresponden con las unidades geológicas Arcosas, Areniscas de Grano Grueso, Lutitas e Intercalación de Lutitas y Areniscas, cubren una extensa área del acuífero

Este tipo de rocas presentan un sistema de fallas y fracturas que confieren una permeabilidad secundaria, muy pronunciada en la zona de la charnela del Anticlinal de Rivas, Pueblo Nuevo, y menor en los flancos.

La circulación del agua subterránea queda restringida en profundidad. La zona saturada se aloja en las rocas fracturadas de la unidad Lutitas.

En la zona central del anticlinal, las diferencias de comportamiento entre las unidades estratigráficas se atenúan o desaparecen por la fracturación secundaria abierta. Por otra parte las fallas de dirección SW-NE actúan como barreras de retardación del flujo lateral del agua, debido al relleno arcilloso y cementado. En general el subsuelo es una franja de muy baja permeabilidad y anisótropa con alta difusividad transversal y vertical.

El flujo de agua se produce en dos sistemas contrastantes:

- a) un sistema subsuperficial, de difusión relativamente rápida por donde circula el agua en niveles altos de buena permeabilidad (1.8 m/d). El sentido de circulación diverge de las partes más altas hacia el lago y el agua reside corto tiempo en el subsuelo de modo que la cantidad de sales disueltas es baja. La infiltración de aguas de precipitación, sumamente eficaz, es relevante en la alimentación de este sistema.
- b) un sistema de difusión más lenta, asociado a la fracturación secundaria más profunda, del eje anticlinal y los márgenes. El movimiento del agua hacia el lago está

obstaculizado por el sistema de fallas SW-NE. Este sistema actúa como una zona de acumulación de reservas

**b) Acuíferos Intramontanos.** Corresponden a las unidades Areniscas de Grano Grueso, Lutitas y Cuaternario Residual. Se presentan en los valles intramontanos, cerca de las zonas con mayor pendiente. Son zonas muy erosionadas y los materiales constituyentes han experimentado una alteración mayor y compactación (Cuaternario Residual), comparado con las otras zonas. Las fallas y fracturas se encuentran cerradas, ya sea por relleno de material arcilloso o por compactación.

En resumen los acuíferos intramontanos están formados por terrenos de permeabilidad muy baja, lo cual favorece la escorrentía superficial, con dirección a la Laguna de Ñocarime y al Lago Cocibolca.

**c) Acuífero Aluvial.** Corresponde principalmente a la unidad Cuaternario Aluvial. Cubre la mayor parte del área de estudio. Se ubica en las partes más bajas, donde la deposición de materiales geológicos no consolidados le confiere una permeabilidad media a baja y coeficiente de almacenamiento alto.

En el material de relleno muy poroso, la fracturación secundaria no representa un aumento significativo de la permeabilidad. Por razones topográficas, la acumulación de agua en esta zona es potenciada por el espesor del material de relleno, por lo que hay una fuerte acumulación de reservas, casi confinada entre terrenos poco o nada permeables.

Esta zona de acumulación parece estar interrumpida por la zona de descarga, Laguna de Ñocarime. Hay una transferencia de agua desde el acuífero aluvial hacia la zona de humedales, definido claramente por los análisis isotópicos. Por otra parte, hay una recarga importante por una infiltración eficaz de la precipitación y por recarga por retorno proveniente de los sistemas de riego utilizados.

Dentro de esta zona las actividades agropecuarias son intensivas. Se desarrollan cultivos de carácter anual (caña de azúcar y musáceas). Grandes extensiones de

áreas dedicadas a pastoreo. Esto más las características propias del acuífero, le confiere una alta vulnerabilidad. El acuífero está expuesto a contaminación por plaguicidas, nitratos, salinización de suelos, reducción de caudal de los ríos por extracción, disminución de los niveles de aguas subterráneas por bombeo.

#### **IV.1.5. Estrategias de acción, para incluirlas a corto, mediano y largo plazo, en plan de Gestión Integral de la Subcuenca Río Gil González elaborado por FUNDENIC SOS**

Durante los últimos 60 años las principales actividades económicas de la zona de la subcuenca Río Gil González ha sido la agricultura, las actividades ganaderas y forestales. La agricultura disminuyó a finales de los años 90 con el cese de operación del ingenio CASUR, lo que originó un cambio en el uso del suelo y el tipo de cultivo, sobre todo en la parte alta y media de la subcuenca.

El cambio de uso de los suelos, de forestales a agrícolas, provocó la tala de bosques para la obtención de terrenos de cultivos y pastoreo, ocasionando erosión de los suelos y pérdida en la fertilidad de los mismos y de igual forma, su capacidad de infiltración.

El potencial uso futuro del acuífero es un factor predominante y decisivo en el desarrollo, en la zona de estudio el 40% de la economía depende del agua subterránea y el otro 60% de las aguas superficiales que a la vez dependen del agua subterránea; de acuerdo a resultados del presente estudio.

El uso y aprovechamiento de las aguas subterráneas y superficiales depende de las características y alcances de las políticas públicas relacionadas con el agua; son de gran importancia la participación ordenada y organizada de los usuarios y de la sociedad cuidando y preservando el recurso agua.

Los principales usuarios, los agricultores y consumo humano son claves en la toma de decisiones sobre el manejo de suelos y agua, deben incorporarse a la gestión sostenible del recurso. Para realizar un plan de gestión integral de la subcuenca Río

Gil González, se deben de tomar en cuenta los usos del recurso agua, en las diferentes etapas de desarrollo de las zonas productivas.

### **III.7.5.1. Iniciativas de Desarrollo relacionadas a Agua Potable**

La carencia de información relacionada a la calidad del recurso hídrico subterráneo y superficial, hasta hace unos años era limitada, este estudio y otros realizados por CIRA-UNAN (2005 y 2011), nos dan una visión de la calidad de agua dentro de la subcuenca Río Gil González.

Este conocimiento posibilita la toma de decisiones para establecer las zonas más seguras en cuanto a calidad se refiere, es necesario entonces incluir el componente de calidad en la estructura del plan de gestión. En el área de estudio es necesario conocer las fuentes de contaminación.

Para obtener conserva y/o mejorar la calidad del agua en los pozos es necesario establecer áreas de protección absoluta con un radio aproximado de 20 m, que deberán estar cercadas y no se permitirá dentro de ellas ninguna actividad ajena a la operación y mantenimiento de los pozos.

Organismos como; GIZ, AMUR (Asociación de Municipios de Rivas), Unión Europea, CASUR (Ingenio Azucarero Benjamín Zeledón), FUNDENIC S.O.S (Fundación Nicaragüense S.O.S) y gobiernos municipales, están impulsando proyectos en el área de manejo de cuenca, construcción de pozos y calidad de agua, sobre todo en la zona rural donde la población consume agua sin ningún control, así mismo, están presentando proyectos sobre la gestión integral de los recursos hídricos.

Una de las afectaciones que más ocurre es la mala protección de los pozos, la construcción de letrinas cerca de los pozos de abastecimiento rural es la principal fuente de contaminación de aguas subterráneas, en el caso de aguas superficiales es que animales domésticos defecan dentro del río.

La ubicación de nuevos pozos de agua potable para los poblados del área de estudio, debe procurarse perforar en áreas aguas arriba de los poblados y de las áreas de riego con agricultura intensiva.

Dentro de las propuestas para la planificación del agua subterránea y superficiales es de prioridad realizar continuar con el monitoreo de la calidad del agua en diferentes sitios de muestreo donde se pretendan gestionar proyectos de abastecimiento a toda la población urbana y rural.

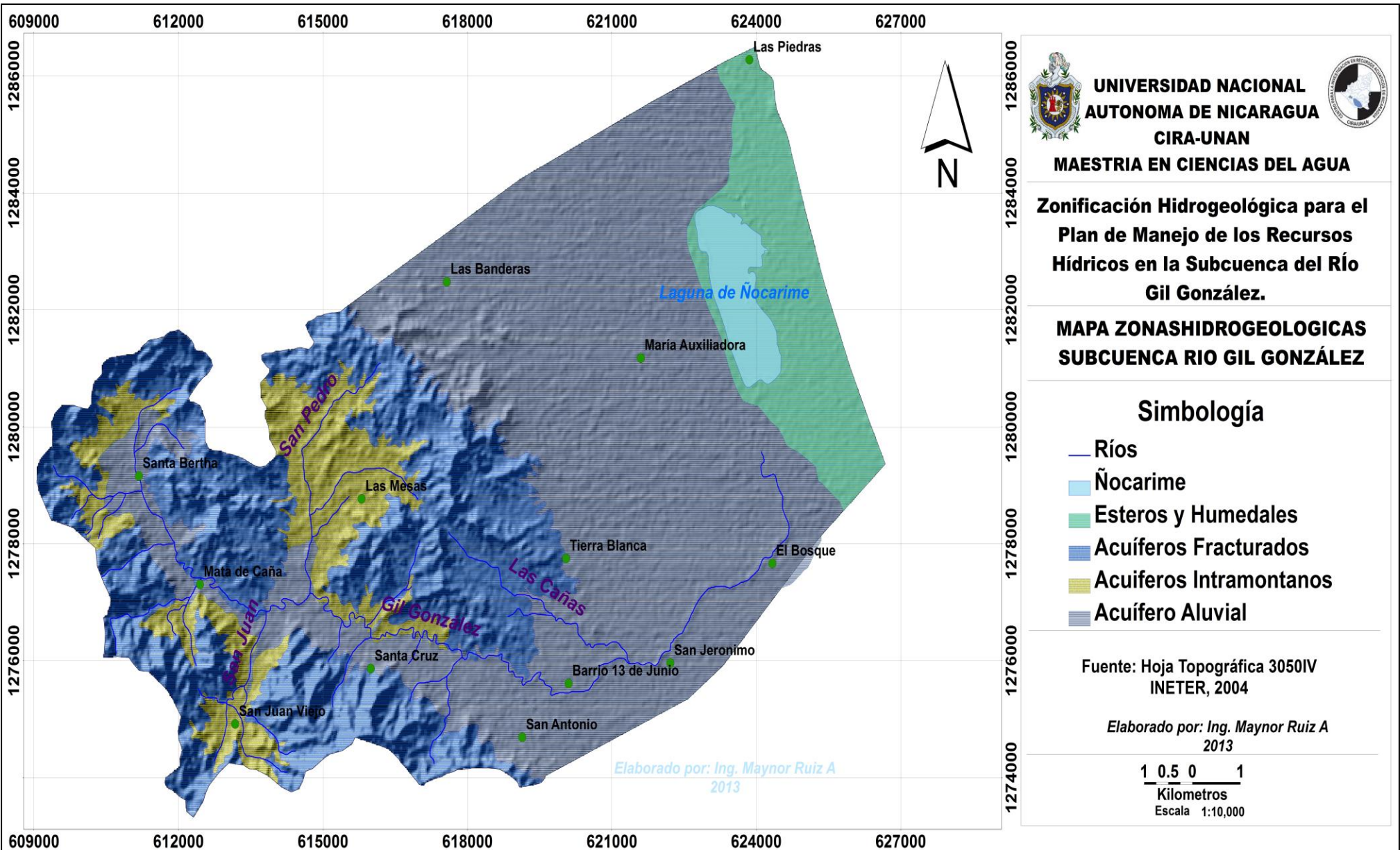


Figura 16. Zonificación Hidrogeológica de la Subcuenca Rio Gil González.

#### **IV.1.5.2. Desarrollo Agropecuario y Disponibilidad de Agua**

El área de estudio, esta propuesto dentro del Plan Nacional de Desarrollo Agrícola, por tener un acuífero con buenas características hidrogeológicas para el Aprovechamiento del agua en riego (Peña, 2004).

Sin embargo las principales actividades económicas de la zona, cultivo de caña de azúcar y musáceas (plátanos), se realizan bajo inundación, a pesar que la mayor parte del agua utilizada para riego de caña de azúcar proviene del Lago Cocibolca, no se ha valorado los usos consuntivos de agua por cultivo.

De igual forma las aguas que ingresan al acuífero por retorno de riego podrían estar contaminadas y a su vez llegar al Lago Cocibolca, reserva de agua potable del país según la Ley 620, Ley de Aguas Nacionales.

Si dentro de los planes de desarrollo contemplados por cada municipalidad se incluye la explotación eficiente de los recursos agua y suelo, se debe de promover prácticas de uso y manejo de suelo que aumente la cobertura vegetal en suelos degradaos, evitando así el aumento de la escorrentía superficial y el arrastre de sedimentos hacia las partes bajas de la subcuenca y de igual forma se garantiza mayor infiltración de agua al subsuelo.

#### **IV.1.6. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos**

La participación activa de las municipalidades de Belén, Buenos Aires y Potosí es clave en el manejo integrado de la Subcuenca Río Gil González, temas relacionados a la gobernanza son importantes, por lo tanto es un punto a desarrollar.

Las Municipalidades en conjunto con instituciones gubernamentales y ONG, principalmente FUNDENIC S.O.S, en alianza con la academia a través del

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), realizan esfuerzos en la elaboración del Plan de Gestión y Desarrollo

integral de los Recursos Hídricos. Los gobiernos locales a través de ordenanzas municipales (leyes locales) tienen que establecer los controles necesarios para proteger las fuentes de agua, así como también la sostenibilidad del recurso a largo plazo.

A continuación se detalla en el cuadro siguiente algunas líneas estratégicas que contemplan acciones a corto, mediano y largo plazo.



Tabla 13. Propuesta de Estrategias dentro del Plan de Manejo de los Recursos Hídricos.

UNIDAD	CARACTERISTICAS	MANEJO RECOMENDADO	LIMITACIONES PRINCIPALES
<p><b>SECTORES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO, PROTECCIÓN Y USO DEL SUELO REGULADO EN TERRAZAS ALUVIALES Y ACUIFEROS INTRAMONTANOS DE LA SUBCUENCA RÍO GIL GONZÁLEZ.</b></p>	<p>Las terrazas aluviales y coluvios de valles intramontanos, de las estas planicies aluviales, son muy importantes para el abastecimiento público. Conforman acuíferos libres con permeabilidades medias y altas. La calidad del agua subterránea natural en estos sectores, se asume buena a excelente para el consumo humano. Ahí se concentran como flujo base, las aguas subterráneas, procedentes de las montañas, que llegan como recarga lateral al acuífero aluvial. Pueden ser captados por medio de pozos de inducción o norias. La topografía es ondulada a plana y el uso del suelo es de pastos y árboles, bosques, uso urbano y algunos cultivos. Es susceptible a inundaciones en épocas de alta precipitación. Los Acuíferos Intramontanos deben protegerse para evitar contaminaciones.</p>	<p>Captación de aguas subterráneas por pozos o norias, para abastecimiento público de las comunidades. Las captaciones deben protegerse de inundaciones. Estos Sectores deben ser protegidos de la contaminación y ser manejadas en forma integral por el ENACAL, Municipalidades y/o CAP'S. Protección de márgenes de ríos y captaciones de abastecimiento público. Actividades no contaminantes según capacidad de uso de la tierra. Desarrollo urbano y rural controlado. Alcantarillado, tratamiento y manejo de aguas de desecho urbanas, rural y agrícola. Monitoreo de la calidad físico - química y bacteriológica del agua.</p>	<p>Por captaciones de manantiales aguas arriba, en época seca, los ríos de las terrazas aluviales, pueden estar con bajos niveles y limitar extracciones de los pozos. Algunas actividades rurales podrían contaminar esos acuíferos con aguas cargadas de plaguicidas o aguas residuales de las viviendas. No permitir actividades contaminantes como descarga de desechos líquidos o sólidos al subsuelo o a los ríos, uso de agroquímicos, actividades agrícolas, agropecuarias, industriales, viviendas; a las existentes, clausurar letrinas y tanques sépticos, y colectar sus aguas negras y tratarlas aguas abajo. No permitir actividades que remuevan o erosionen los suelos como el pastoreo o extracción de materiales en las terrazas aluvionales de ríos.</p>
<p><b>SECTORES DE MANANTIALES, PROTECCIÓN Y USO DEL SUELO REGULADO EN UNIDAD DE ACUIFEROS FRACTURADOS</b></p>	<p>Tiene permeabilidades aparentes muy variables de medias a bajas, principalmente por fracturación de rocas sedimentarias consolidadas. Conforman acuíferos libres. La calidad del agua</p>	<p>El principal uso potencial del agua es el de acueductos, consumo humano y turismo local. Es vulnerable a la deforestación y pastoreo, que provoca erosión de suelos en</p>	<p>No permitir actividades contaminantes y erosivas. No permitir el desarrollo industrial y urbano ni ganadería extensiva. Actividades agrícolas y agropecuarias</p>

	<p>subterránea natural en estos sectores, se asume buena a regular para el consumo humano, y procede de infiltración directa en los cerros de La Serranías de Brito. Los flujos predominantes son escorrentía superficial y flujo subterráneo fisural. <b>El sector de la Serranías de Brito</b> origen a la mayoría de los manantiales de la subcuenca. La topografía es quebrada a ondulada y el uso del suelo es de pastos y árboles, bosques, y pocos cultivos. Son la mayor área de recarga lateral de la Unidad de Acuíferos Aluviales, con importante producción de manantiales para abastecimiento público. Ríos influentes son importante mecanismo de recarga.</p>	<p>pendientes fuertes, y sedimentación e inundaciones aguas abajo, afectando la calidad de las aguas superficiales y captaciones de manantiales. Captación de manantiales para agua potable. Protección de márgenes de ríos, reforestación natural. Actividades agropecuarias, agroforestales y forestales de baja intensidad, según capacidad de uso de la tierra y no contaminantes. Se debe reglamentar y limitar actividades contaminantes y de producción de sedimentos a ríos y quebradas.</p>	<p>extensivas e intensivas deben presentar un estudio de impacto ambiental. No permitir la descarga de desechos líquidos o sólidos al subsuelo o ríos y quebradas sin tratamiento previo. No permitir el uso de agroquímicos persistentes. Se debe proteger las riberas de los ríos y quebradas.</p>
<p><b>SECTORES DE PRODUCCIÓN ECONÓMICA EN LLANURAS BAJAS</b></p>	<p>Son acuíferos aluviales con gran almacenamiento de aguas subterráneas. Tienen niveles de agua poco profundos. Son de permeabilidad baja a media y pueden ser captados por medio de pozos, estanques someros o pozos de gran diámetro. Estos acuíferos tienen una explotación importante para usos agrícolas, industriales y para abastecimiento público. Son vulnerables a la contaminación dispersa por agroquímicos y a la contaminación lineal (ríos, quebradas y</p>	<p>Se propone que el agua subterránea en esta zona sea para uso productivo agrícola e industrial, y algunos pozos de abastecimiento público de poblaciones locales, que capten acuíferos profundos, tengan un diseño adecuado y una zona protectora de la contaminación por actividades económicas en la zona. Desarrollos agrícolas e industriales deben tener drenajes, y tratamiento y manejo</p>	<p>Actividades potencialmente contaminantes deben ser controladas y monitoreadas. No permitir la descarga de desechos líquidos sin tratamiento, o sólidos al subsuelo o a ríos y quebradas. No permitir el uso de agroquímicos tóxicos y persistentes. No es apto para desarrollos urbanos por altos niveles freáticos que amplifican ondas sísmicas de la región y complican los sistemas de drenajes sanitarios. No permitir construcciones en</p>

	<p>drenajes) y puntual por aguas negras domésticas y urbanas así como industrial y agroindustrial. Su topografía es plana a muy plana. Las partes bajas del sector son inundables en época lluviosa. El uso del suelo principal es de cultivos de palma, y de arroz, pastos y árboles dispersos y charral en las partes bajas. Los pozos son de producción moderada y sus litologías se describen lentes de arenas de muy fina a media, algunos con gravas, intercalados con lentes de arcilla o mezclas de arenas y arcillas. <b>Los usos principales</b> son, riego, industria, consumo humano y agropecuario. Se reportan algunas captaciones de aguas superficiales para uso de riego. Sus aguas pueden presentar concentraciones altas de iones como sulfatos, cloruros y sodio.</p>	<p>de aguas de desecho. Se puede captar agua de pozos o norias para usos agropecuarios, riego, turístico, agroindustrial y potable de las comunidades bajo medidas de protección y control. Se debe promover la reforestación con especies naturales en las márgenes de los ríos y quebradas. Se pueden desarrollar actividades no contaminantes de mediana y alta densidad previo estudio de impacto ambiental.</p>	<p>márgenes de ríos. Los pozos y/o galerías de infiltración para abastecimiento público, deben tener una zona protectora que se definirá más adelante. Los niveles dinámicos de los abatimientos de los pozos, no deben descender más del nivel del Lago Cocibolca.</p>
<p><b>SECTORES DE PROTECCIÓN ABSOLUTA EN HUMEDALES</b></p>	<p>Las áreas de estos sectores están permanente o temporalmente inundadas, y no tienen condiciones para actividades humanas. Los pantanos o lagunas están formados por rellenos de fragmentos líticos muy finos y materia orgánica en descomposición, con dominancia de arcillas y limos originados por aportes fluviales en</p>	<p>Son áreas de protección ecológica y monitoreo de la calidad del agua y biodiversidad. Sirven para evaluar el manejo del agua y uso del suelo de las zonas aguas arriba que las rodean. También sirven como lagunas de oxidación para degradar los componentes de las Contaminaciones orgánicas de las</p>	<p>No permitir actividades contaminantes. No permitir actividades que compacten, remuevan o erosionen los suelos como el pastoreo. No permitir la descarga de desechos líquidos sin tratar o sólidos a las lagunas. No permitir el uso de agroquímicos. No permitir actividades agrícolas,</p>

	<p>depresiones al terminar el abanico coluvio-aluvial de Canoas y su límite con la llanura aluvial. Son importantes para regular el almacenamiento de aguas subterráneas y superficiales. Para la recarga y descarga de los acuíferos aluviales que las rodean. Sirven como lagunas de oxidación de las contaminaciones orgánicas de las unidades y sectores superiores. Sus niveles de agua subterránea están aflorando o muy cercanos al nivel del suelo, variando según la época climática. El acarreo de sedimentos y desechos sólidos a estos sectores, los rellenarían, disminuyendo su profundidad y aumentando la extensión de áreas pantanosas. Según el mapa de uso del suelo, se cultiva arroz.</p>	<p>unidades y zonas superiores. Se debe promocionar el mantenimiento de áreas con espejos de agua para refugio de aves autóctonas y migratorias. Al cultivo de arroz anegado, no debe aplicarse agroquímicos y deben tener estudio de impacto y control ambiental. Se pueden desarrollar actividades no contaminantes de baja densidad como ecoturismo y estudios de diversidad biológica, previo estudio de impacto ambiental.</p>	<p>agropecuarias e industriales. No permitir viviendas u urbanizaciones. No debe permitirse la extracción de materiales de las lagunas, así como la extracción desproporcionada del agua para riego.</p>
<p><b>ZONAS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIONES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cauces de ríos y quebradas.</li> <li>• Recarga de tomas de ríos.</li> <li>• Protección inmediata de tomas de ríos.</li> <li>• Recarga de manantiales.</li> <li>• protección inmediata de manantiales.</li> <li>• Protección de Abastecimiento Público.</li> </ul>	<p>Las zonas de protección para agua potable existen dispersas en todos los sectores.</p> <p>Las recomendaciones para su demarcación y áreas, deberán de cumplir las reglamentaciones existentes, si las hay, vulnerabilidad a la contaminación, deslizamientos e inundaciones y conservación de vida silvestre.</p>	

## **CAPITULO V.**

### **V. CONCLUSIONES**

El modelo hidrogeológico de la subcuenca Río Gil González se ha definido en dos unidades estratigráficas que conforman el acuífero Belén, estas unidades pueden ser agrupadas en dos conjuntos de rocas, generados en facies de sedimentación muy similares; Sedimentos Antiguos, consolidados y fracturados y Sedimentos Recientes, no consolidados.

El fracturamiento secundario ha transformado las características de las rocas y el comportamiento hidrogeológico del conjunto pasa a tener características diferentes en las unidades hidrogeológicas que no son afectadas directamente por estas estructuras.

El movimiento y acumulación de aguas subterráneas se da principalmente a través de fallas y fracturas. Siendo condicionadas por la presencia del anticlinal de Rivas; de acuerdo a la frecuencia, cambios en dirección y profundidad del fracturamiento, se pueden distinguir dos dominios verticales; 1) dentro del eje, el núcleo, y 2) las márgenes, el paso de uno a otro es gradual, observado en la disminución de la densidad de fracturas en las rocas.

La mayor permeabilidad está vinculada a las grandes fisuras abiertas del núcleo del anticlinal, que actúan como vías de drenaje rápido; con dirección coincidente más o menos al eje del anticlinal e inclinación próxima a los 45°. Existe una micro fracturación, principalmente en las lutitas, que siendo un elemento de drenaje más lento que las anteriores, tiene mayor repercusión en el aumento del almacenamiento de agua.

Las aguas subterráneas del Acuífero Belén conforman un sistema hidráulico poco complejo, la reserva hídrica se encuentra en una zona saturada, comprendida entre dos superficies irregulares; la superficie freática; que establece el nivel superior del sistema y reproduce la topografía de la subcuenca, el máximo de elevación es en el

sector de Santa Berta y desde ahí desciende gradualmente hasta alcanzar la zona litoral de la Laguna de Ñocarime y el basamento impermeable, que es el límite inferior del sistema, por debajo del cual no existen reservas hídricas significativas, está controlado por la geología.

Las propiedades del acuífero no han sido determinadas, dada la falta de pruebas de bombeo. Se toman entonces, los datos de Transmisividad (T) y Almacenamiento (S) obtenidos por Krásný e INETER (Krásný, 1998) y Fenzl, 1988. Los Transmisividades (T) presentan valores de 250 a 3000 m<sup>2</sup>/d; el almacenamiento oscilan entre 0.05 a 0.20. INETER, 1998 a partir del análisis de Krásný, J. 1995. El acuífero es de carácter libre, el basamento hidrogeológico está representado por la Unidad Arcosa.

Existe un reciente recarga y conexión hidráulica entre las aguas superficiales y subterráneas. Dada la similitud en las concentraciones de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  a diferentes profundidades, se considera que dicha conexión se mantiene, al menos entre los primeros 20 metros en la zona baja (El Jabillo) y 180 metros en la zona media-alta y alta de la subcuenca (San Antonio, Santa Berta).

Se han determinado dos zonas de recarga; por debajo de los 120 m.s.n.m. la recarga proviene principalmente de la precipitación o de retorno por riego, en los terrenos de CASUR y en elevaciones sobre los 120m.s.n.m proviene desde las Serranías de Brito

La disponibilidad hídrica superficial se ha estimado en 529.2 mm de la precipitación promedio de la subcuenca, lo que equivale a 33.59 MMCA, volumen de agua que drena a través del río Gil González y sus principales tributarios. Durante el mes de Abril, la ETP es mayor que la Precipitación, provocando un déficit de agua en el suelo, lo mismo ocurre de Julio a Agosto, en el período canicular.

Se obtuvieron valores en pruebas de infiltración de 32.66 a 51.83 mm/h, sin embargo la infiltración está en dependencia del uso que se le da al suelo ya que existe una variabilidad dominada por el uso de suelo. Se definieron cuatro zonas de recarga de acuerdo a los valores obtenidos, siendo la más productiva la Zona IV (el área de

Mata de Caña y Las Mesas), donde el porcentaje de agua que infiltra procedente de la precipitación es mayor a 70 %.

La disponibilidad hídrica subterránea se ha estimado en 22.65 MMCA, la mayor parte del agua que se infiltra está disponible como flujo base y flujo subterráneo profundo, de esta forma se garantiza que el río principal y sus tributarios puedan conservar un flujo mínimo durante los meses de verano.

La mayor contribución al volumen de agua disponible proviene de recarga artificial y retorno por riego, 13.44MMCA, principalmente por deficiencia en sistemas de riego de CASUR (se estima mayor a 60% del volumen utilizado se pierde).

Fueron definidas tres tipos de zonas hidrogeológicas principales; las zonas definidas presentan características definidas:

Los **acuíferos fracturados** son los de mayor extensión. Los **acuíferos intramontanos** son los de menor extensión y presenta permeabilidades bajas. El **acuífero aluvial** cubre la mayor parte del área de estudio.

## **CAPITULO VI.**

### **VI. RECOMENDACIONES**

Durante los trabajos realizados en esta área se han observados diferentes tensores ambientales que reducen la calidad de vida de los habitantes de la subcuenca Río Gil González, por lo que deben de planificarse y ejecutarse medidas efectivas que permitan poder la calidad de vida de los pobladores que viven alrededor del río.

Llevar a cabo medidas inmediatas de restauración forestal en los alrededores y las áreas prioritarias de recarga del río Gil González y sus tributarios estableciendo un perímetro de protección en las márgenes del río, como lo establece la legislación ambiental, que permitan mejorar la capacidad de retención de los suelos, reduciendo la escorrentía superficial y la erosión de los suelos.

Realizar un inventario de pozos a detalle que incluya los volúmenes usados para riego y uso consuntivo de plantas, así como hectáreas regadas, que permita conocer con mayor exactitud los volúmenes de agua extraídas del acuífero a través de pozos y norias.

Es necesario determinar con mayor detalle las características hidráulicas de cada una de las unidades de acuíferas de la subcuenca, a través de la realización de pruebas de bombeo y ensayos de permeabilidad de suelo y roca. De esta manera poder se conoce el comportamiento del acuífero para fines de construcción de nuevos pozos de explotación o restricción de uso.

Promover un mejor manejo de la subcuenca Río Gil González a través de los Pagos por Servicios Ambientales, tomando como base los datos de los balances hídricos realizados en este trabajo.



## CAPITULO VI

### VII. BIBLIOGRAFIA

**Acuña, et. al. (2008).** *Suelos, Capacidad de uso de la tierra y conflictos de uso en el Municipio de Belén.* Rivas: AMUR.

**Almorox, J. (1994).** *Balance Hídrico Directo por el Método de Thornthwite.*

**AMUR. (2008).** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial promovido por la Asociación de Municipios de Rivas, AMUR.* Rivas: AMUR.

**CAPRE. (1994).** Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano, Normas Regionales. *Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano, Normas Regionales.*

**Chapman., A.A. Sokolov and T.C. (1981).** *Métodos de cálculo del balance Guía internacional de investigación y métodos.* (I. H. España, Ed.) España: UNESCO.

**CIRA-UNAN. (2006).** *Disponibilidad y Calidad de Agua de la Subcuenca Río Gil González.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Managua: UNAN-Managua.

**Clark. D and P. Fritz. (1997).** *Environmental Isotopes in Hydrogeology.* CRC Press LLC.

**Consulting, T. (1977).** *Disponibilidad de Recursos Hídricos en el Acuífero Nandaime-Rivas.* Managua: Parson Corp.

**Cruden. (1988).** *The Structural of South-West Nicaragua; a Preliminary Assessment.* Managua: URAP.

**Custodio. E y Llamas. M.R. (2001).** *Hidrología Subterránea (Vol. I).* Barcelona, Barcelona, España: Universidad de Barcelona.

**Darcy, H. (1856).** Les fontaines publiques de la ville de Dijon. *Imprimerie impériale* , 0-268.

**Fenzi, N. (1988).** *Nicaragua: Geografía, Clima, Geología e Hidrogeología.* Belém, Brazil: UFPA/INETER/INAN.

**Elming et al (1998).** *Investigaciones Geocientíficas en Nicaragua Proyecto Conjunto durante el período 1981-1991.* Universidad Tecnológica de Luleá.

**G.Mook, P. Fritz and J.Ch.Fontes. (1980).** *Handbook of Enviromental Isotope Goechemistry.* Amsterdam: EIEA.

**IDEAM. (1999).**

<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/.../Cap11.pdf>. Retrieved Septimbre 14, 2011, from

<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/.../Cap11.pdf>:

<https://www.ideam.com.co>

**INETER. (2003).** *Datos Climáticos del Pacífico de Nicaragua.* Managua: INETER.

**Inifom. (1996).** *Caraterización del Municipio de Belén.* Mnagua: Inifom.

**Inifom. (2000).** *Caracterización del Municipio de Belén, Rivas.* Managua: Inifom.

**Krasny, J. (1998).** Caracterización Hidrogeológica e Hidroquímica de la Región Pacífica de Nicaragua. In G. H. Jyry Krasny, *Caracterización Hidrogeológica e Hidroquímica de la Región Pacífica de Nicaragua.* Managua: INETER.

**Kuang, J. (1971).** *Geología del Pacífico de Nicaragua.* INETER, Managua. Managua: INETER.

**Mijailov.L. (1985).** *Hidrogeología.* Moscú, Moscú, Rusia: Mir.

**NFP-Facility. (2004).** *Pago por servicio ambiental hídrico a través de una alianza público-privada, cuenca del río Gil.* Rivas: FAO.

**ParsonCorp. (1971).** *Terminal report: geology. geomorphology catastro project, republic of Nicaragua .* Managua: Parson Corp.

**Paz, N. (1964).** *Informe preliminar acerca de un reconocimiento geológico en la costa pacífica de Nicaragua.* Mexico: AMGP Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.

**Peña, E. (2004).** Disponibilidad y Aprovechamiento Sostenible del Acuífero Nandaime. In E. Peña, *Disponibilidad y Aprovechamiento Sostenible del Acuífero Nandaime* (p. 129). Managua: UNAN-Managua.

**Ramírez G., Alberto & Gerardo Viña V. (1998).** *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis.* Bogotá, Colombia: Editorial de la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

**Rodriguez. (2003).** *Estado de los Suelos y Capacidad de Uso de la tierra en el Municipio de Belén.* Rivas: UNA.

**Rojas B., R. M. (2009).** *Mapeo Geológico del SW de Santa Teresa, Carazo.* Managua: UNAN-Managua.

**Shosinsky G., M. Losilla. (2000).** Modelo analítico para determinar la infiltración. *Revista geológica de América Central No. 23* , 43-55.

**Tahal. (1977).** *Proyecto Ochomogo-Rivas-Nandaime.* Tel Aviv: Tahal Corp.

**Thorntwite, C. (1948).** *An Approach toward a Initial Classification of Climate.* *Climatology* , 55-94.

**USGS. (2006).** *A system for calibrating Seepage Meter used to Measure flow betweenground water and surface water.* Scientific Investigation .

**Weinberg, R. (1992).** *Neotectonic development of western Nicaragua.* *Tectonics* , 1010-1017.

**William, R. (1971).** *Mapa geológico de Nicaragua Occidental. Escala 1:250000.* Managua: SGN.

**Williams, M. a. (1965).** *Volcanyc History of Nicaragua.* California: University of Berkly.

**Zoppis and Del Guidice . (1957).** *Geologia de la costa del Pacifico de Nicaragua.* Servicio Geológico Nacional , 33-68.

## CAPITULO VII.

### VIII. ANEXOS

#### Apéndice A.

#### 7.1 Pruebas de Infiltración

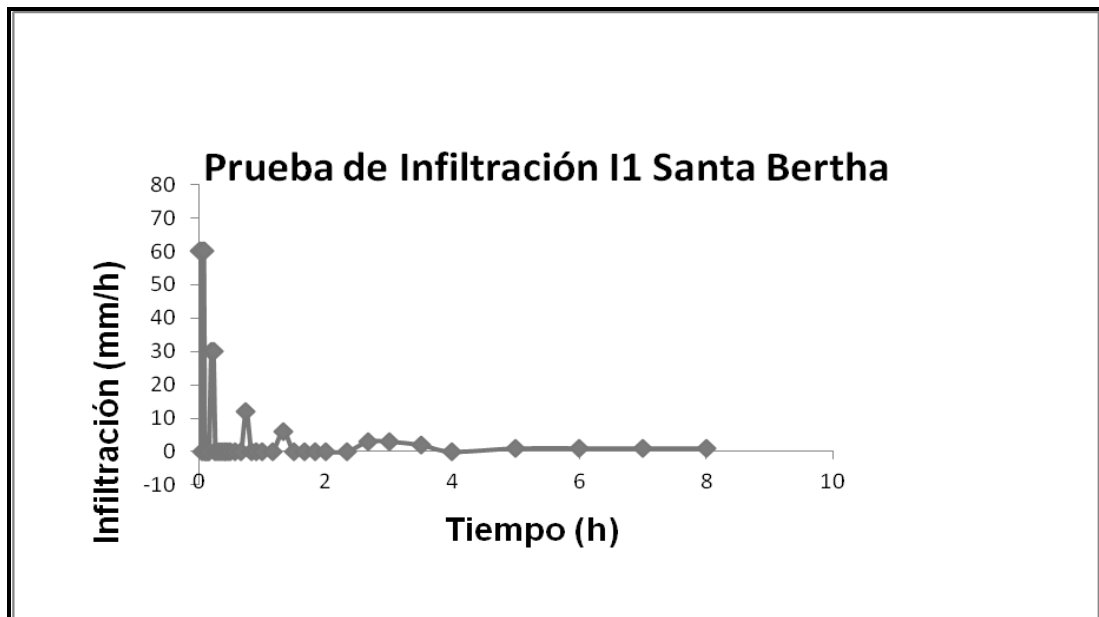


Grafico 7.1 Prueba de Infiltración I1, Santa Bertha.

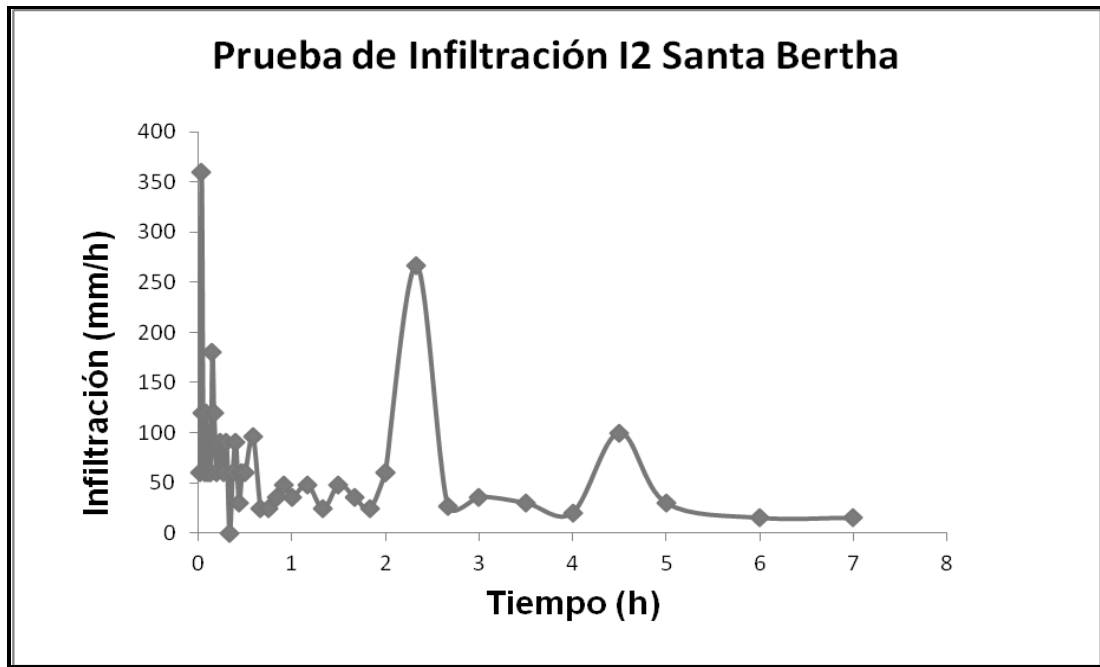


Grafico 7.2 Prueba de Infiltración I2, Santa Bertha.

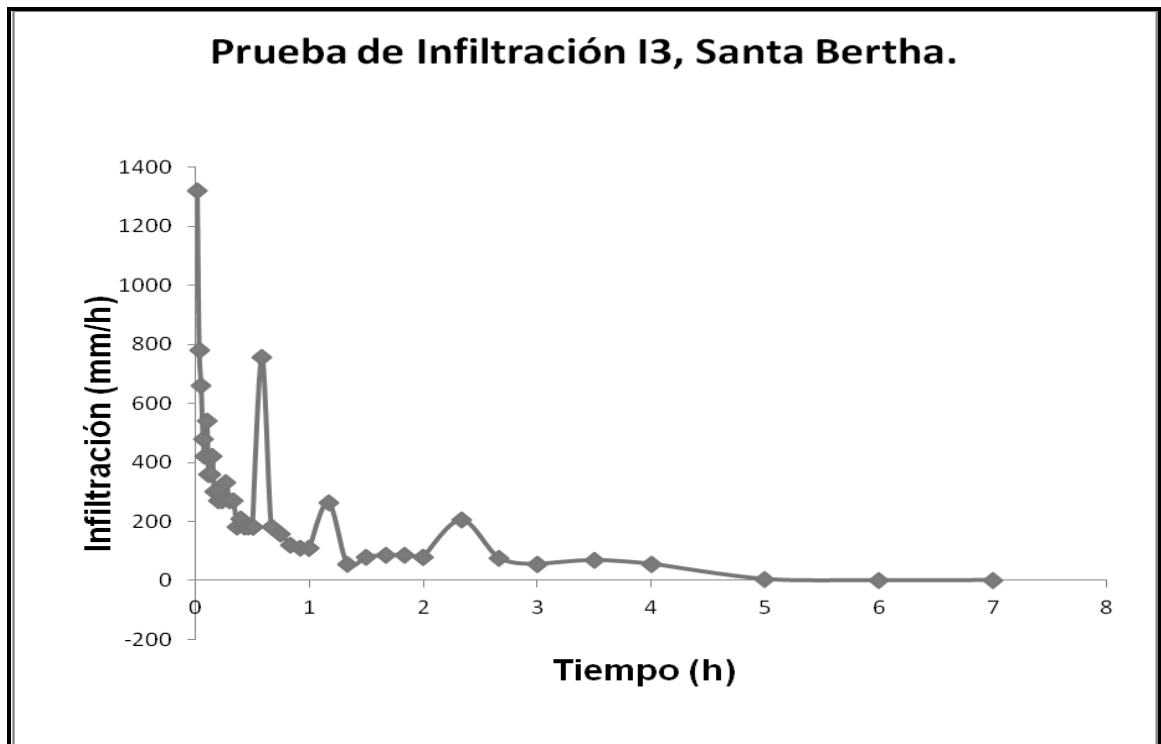


Grafico 7.3. Prueba de Infiltración I3, Santa Bertha.

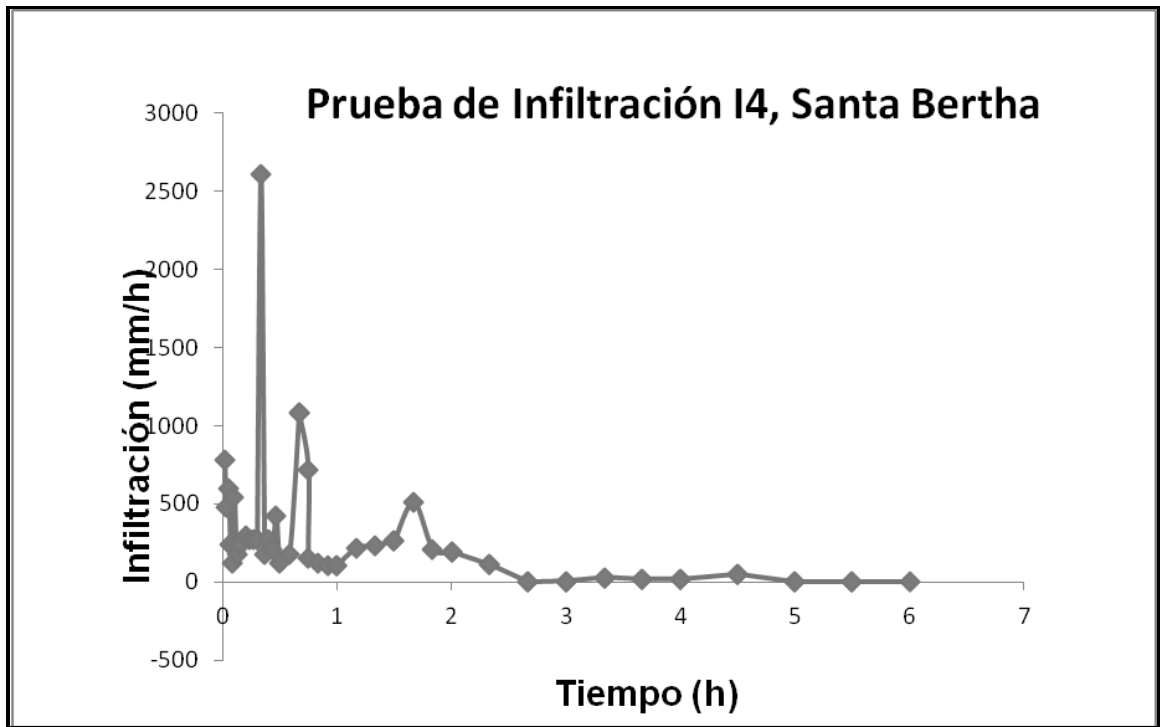


Grafico 7.4. Prueba de Infiltración I4, Santa Bertha.

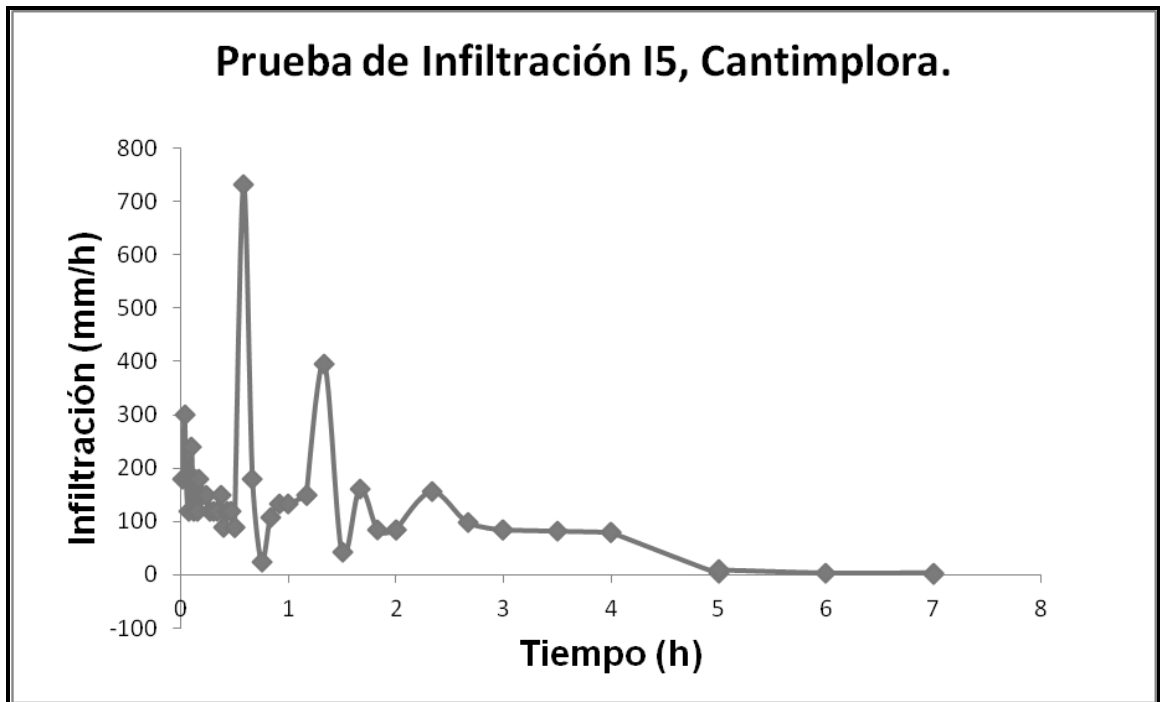


Grafico 7.5. Prueba de Infiltración I5, Cantimplora.

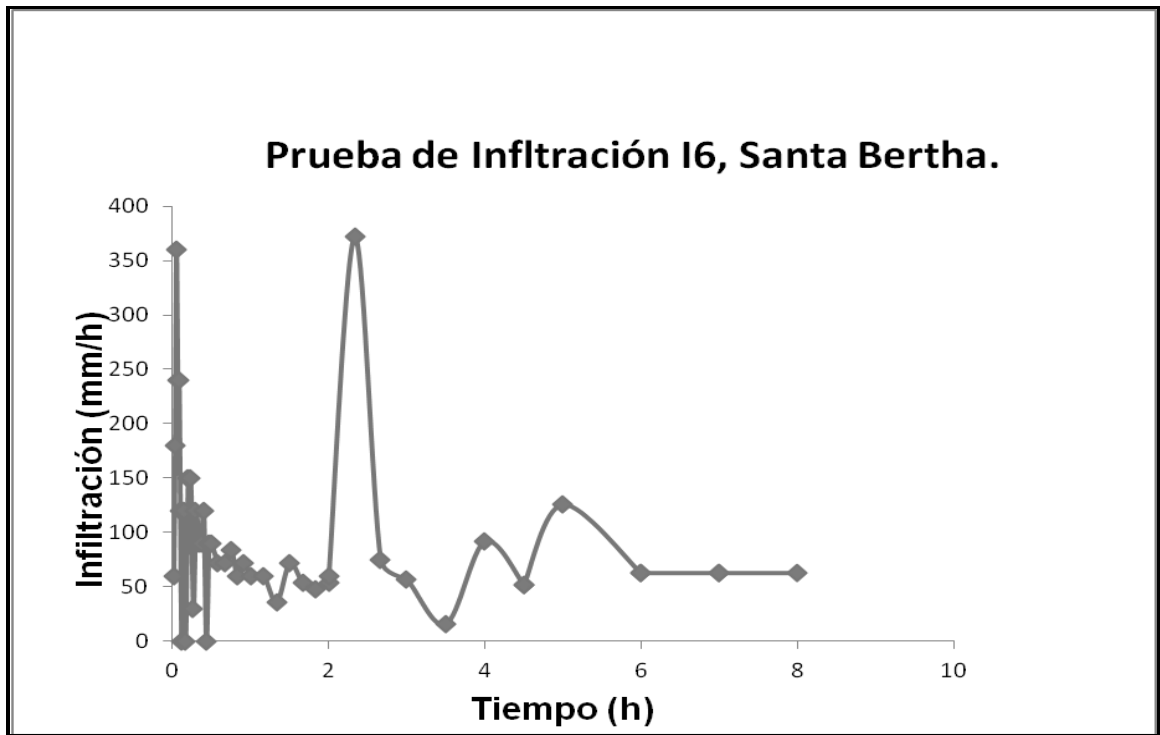


Grafico 7.6. Prueba de Infiltración I6, Santa Bertha.

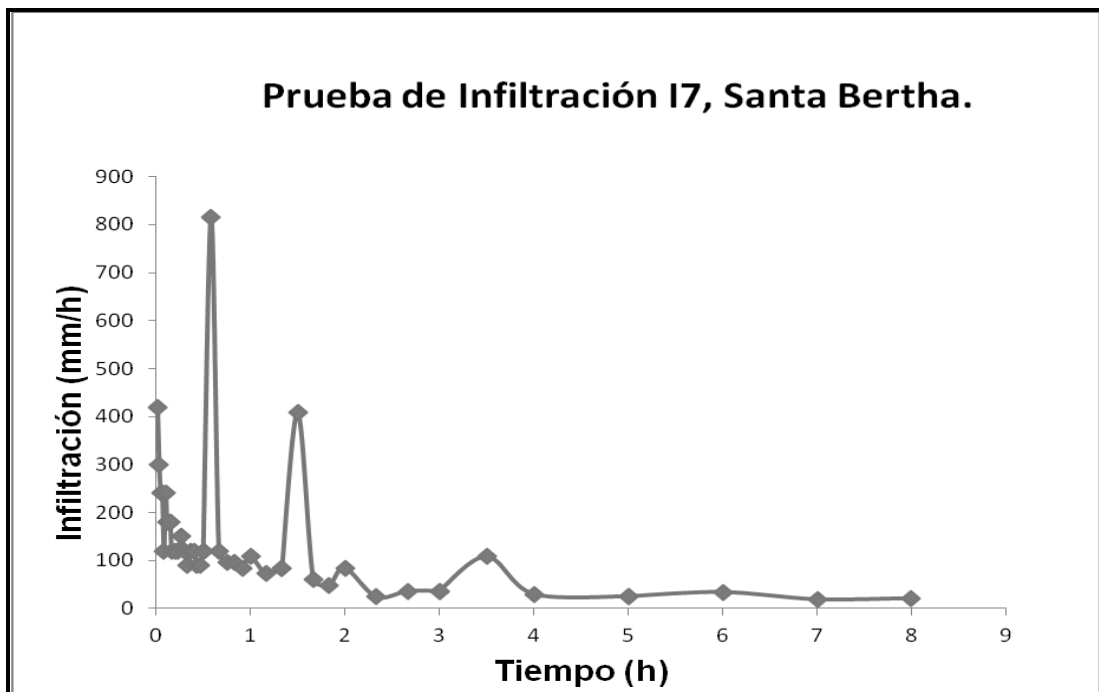


Grafico 7.7. Prueba de Infiltración I7, Santa Bertha.

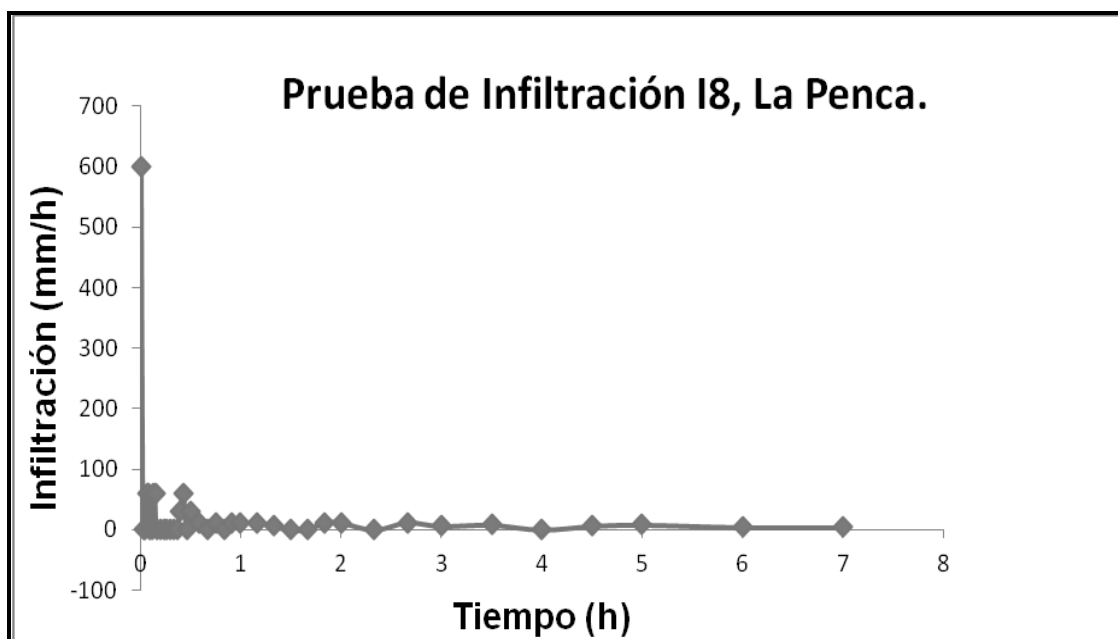


Grafico 7.8. Prueba de Infiltración I8, La Penca, Belén.

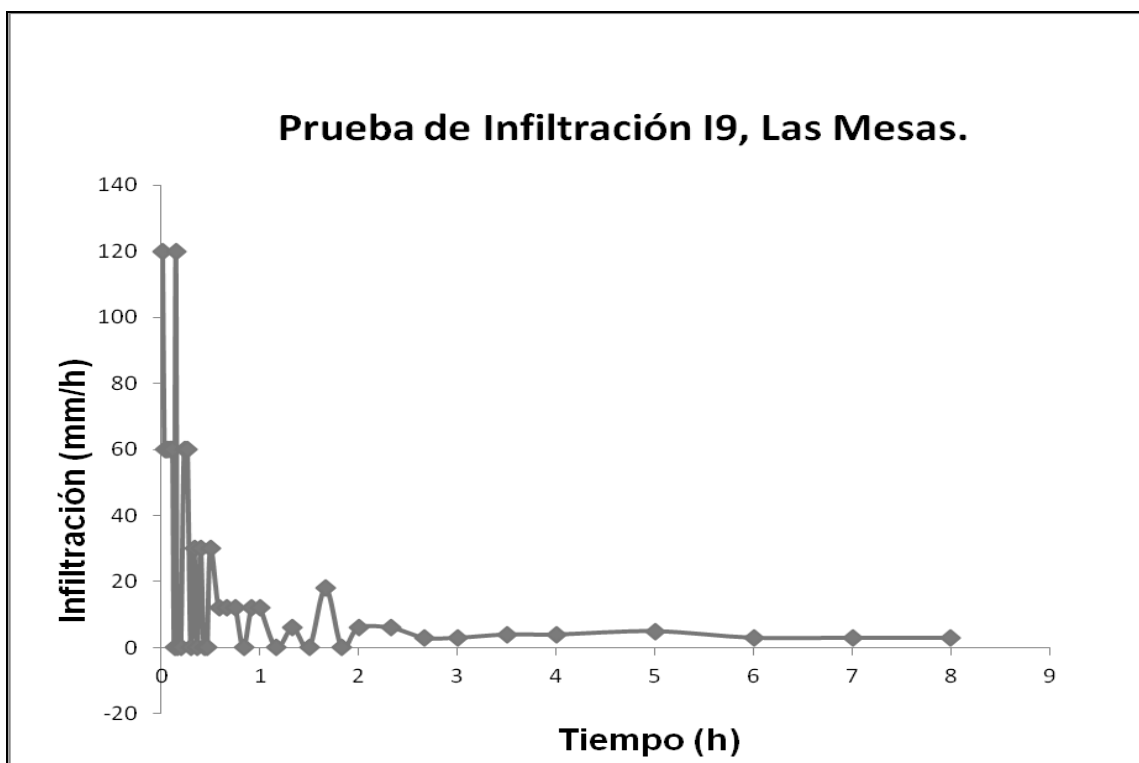




Grafico 7.9. Prueba de Infiltración I9, Las Mesas.

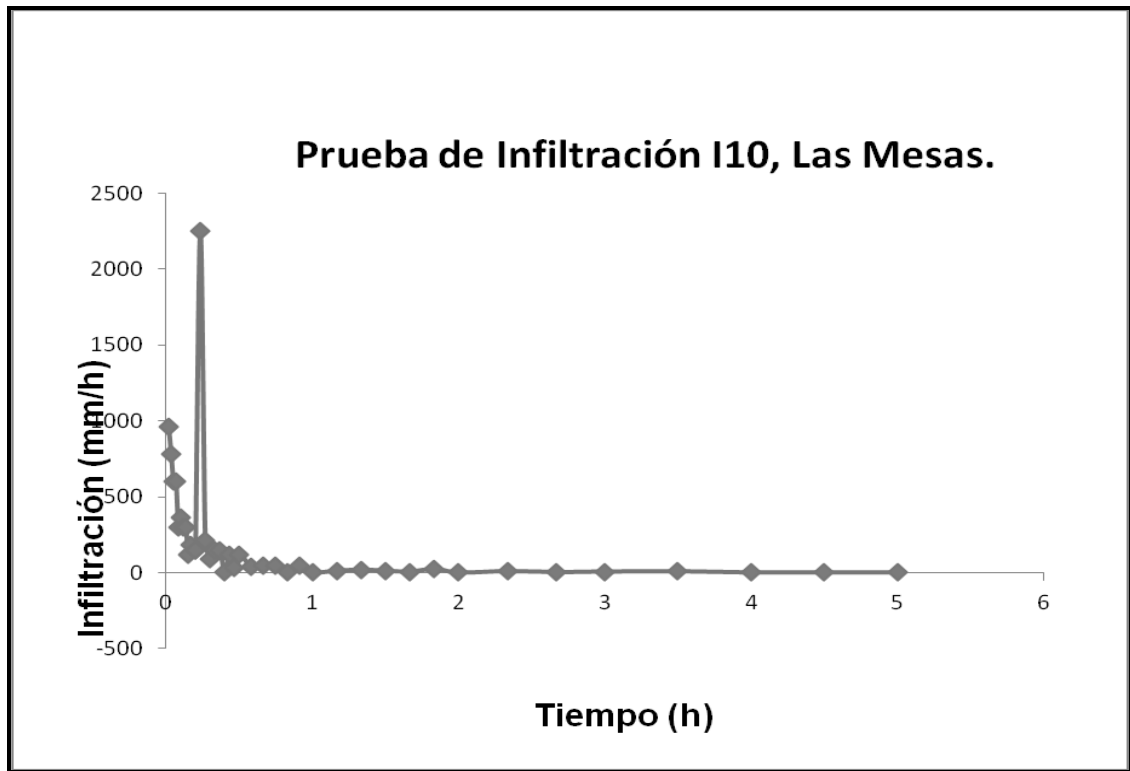


Grafico 7.10. Prueba de Infiltración I10, Las Mesas.

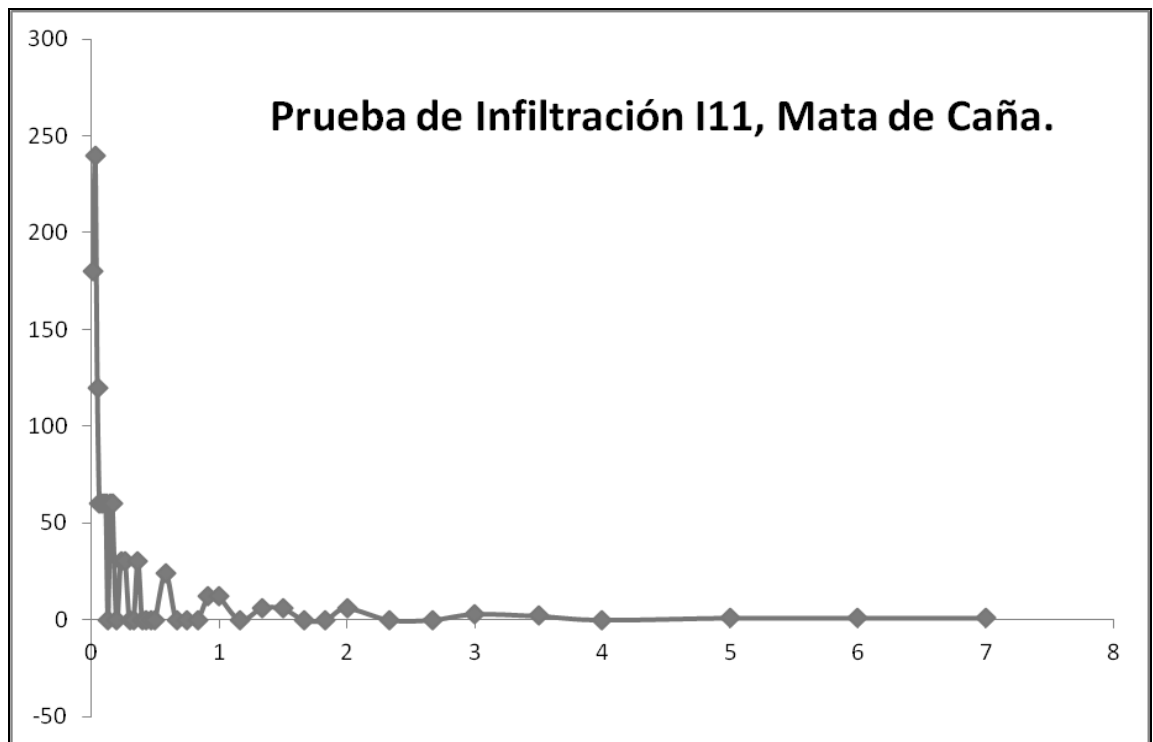
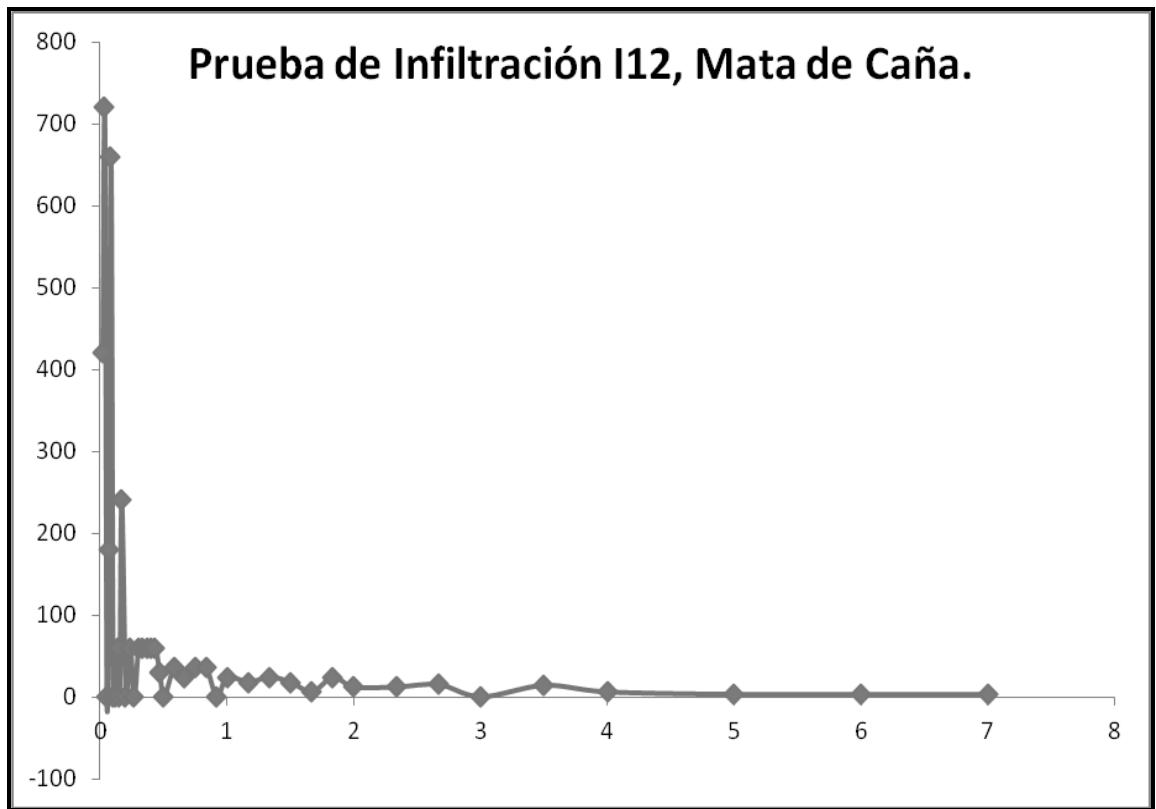
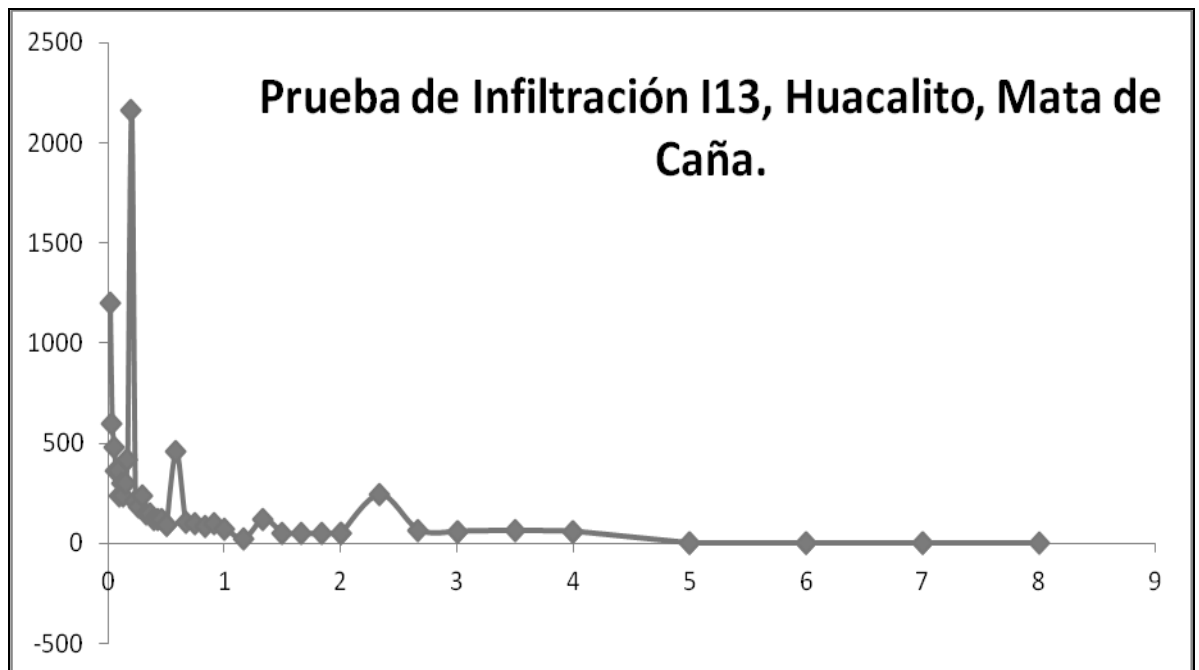


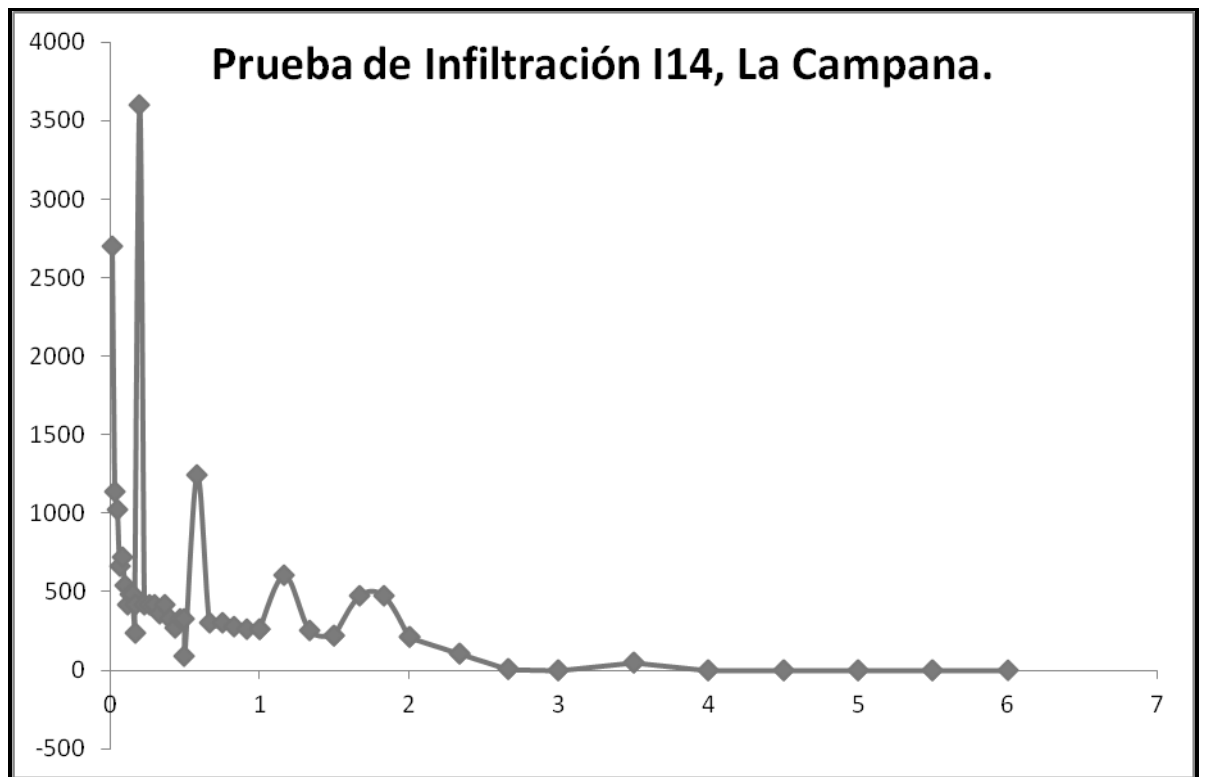
Grafico 7.11. Prueba de Infiltración I11, Mata de Caña.



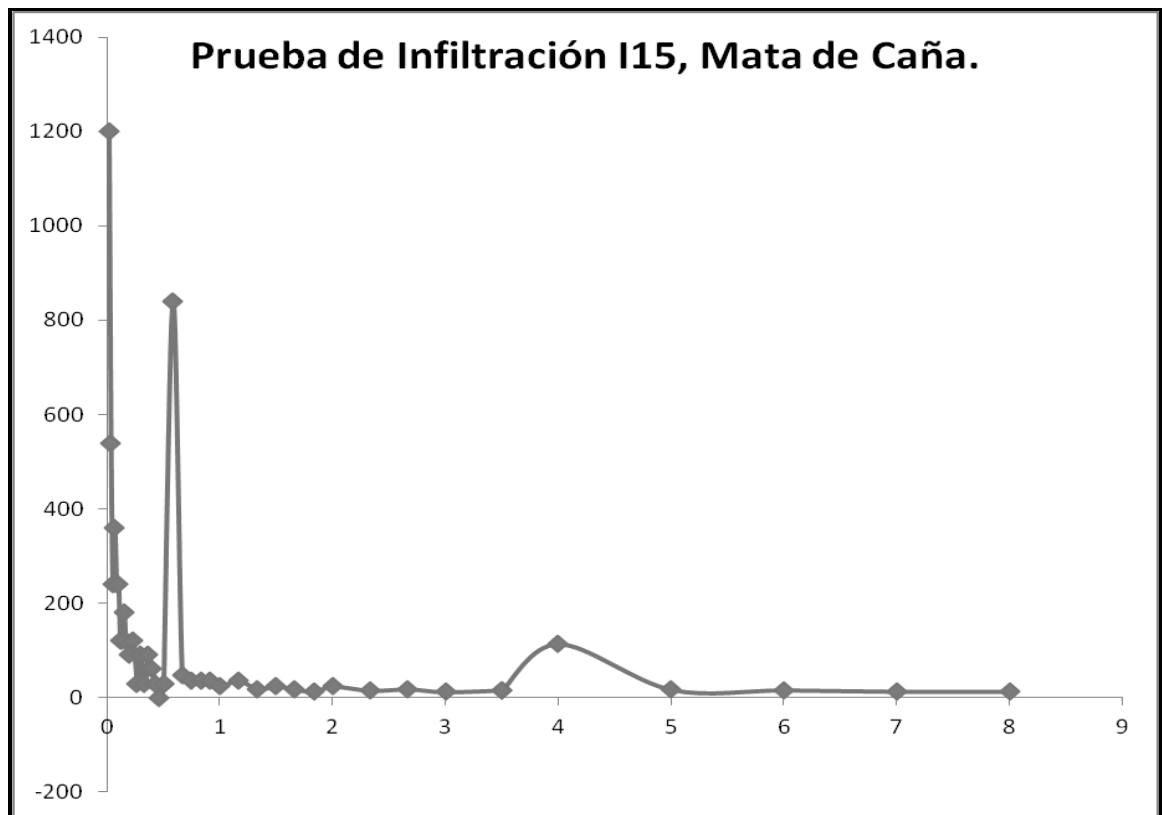
**Grafico 7.12. Prueba de Infiltración I12, Mata de Caña.**



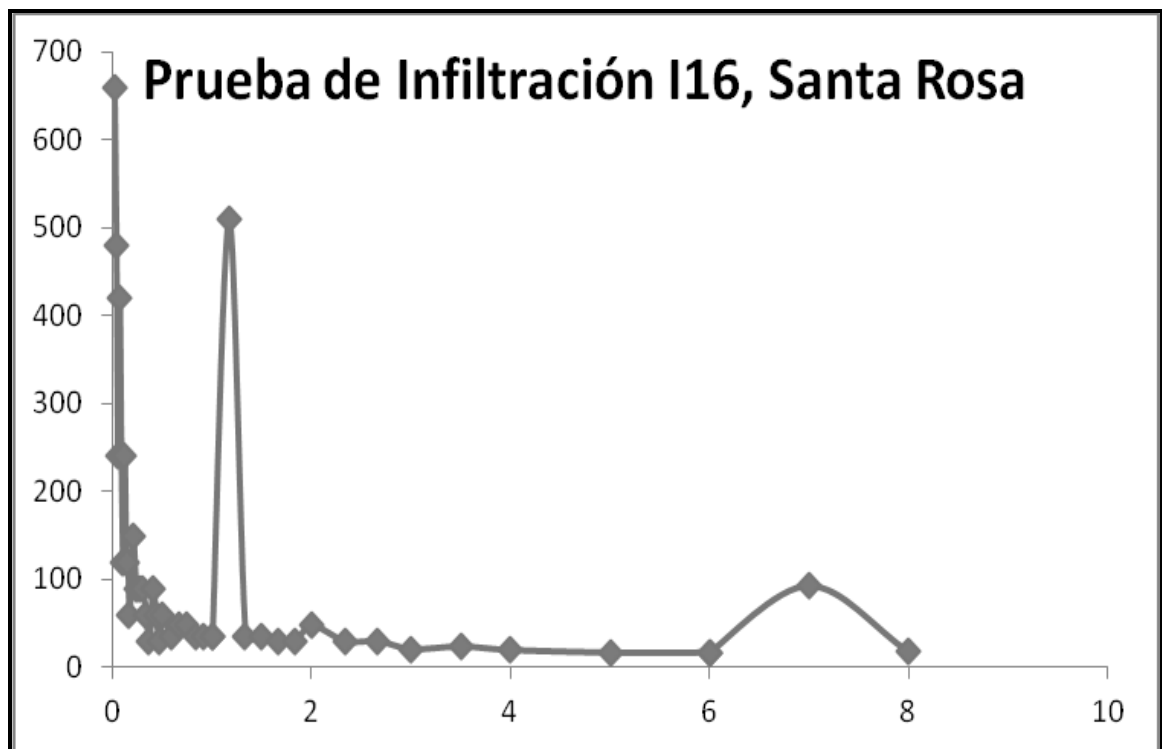
**Grafico 7.13. Prueba de Infiltración I13, Huacalito, Mata de Caña.**



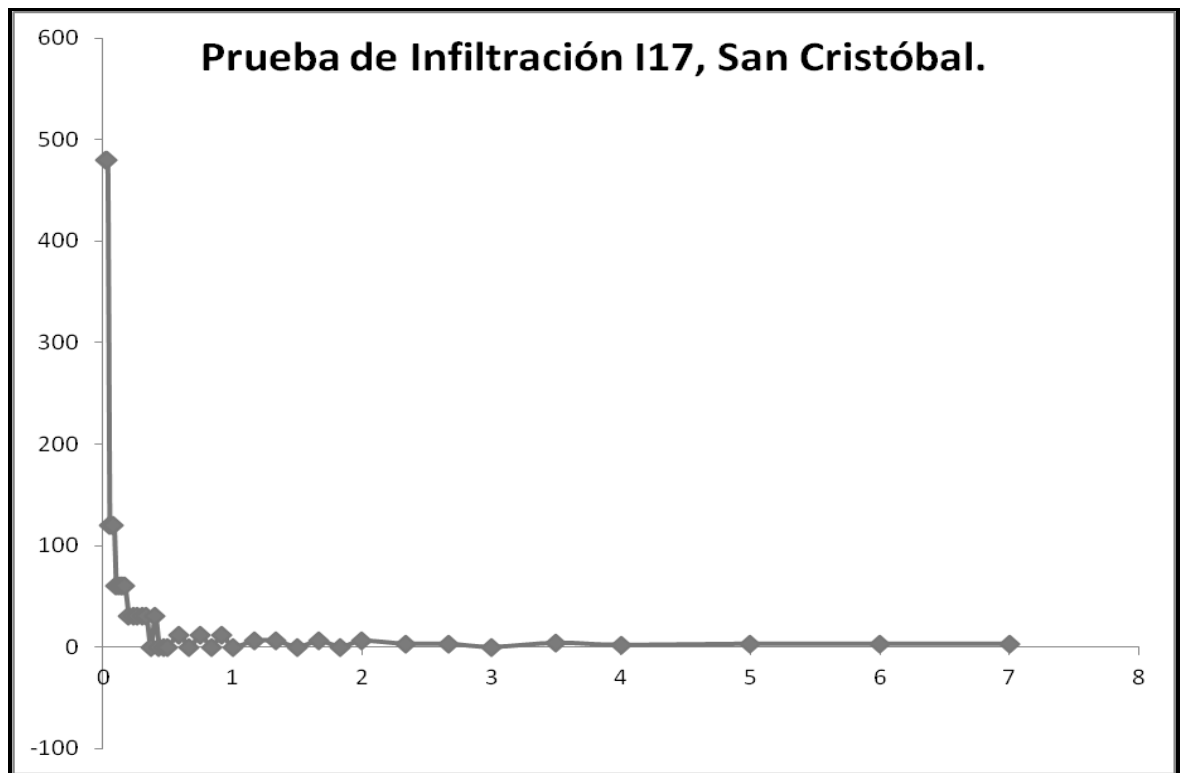
**Grafico 7.14. Prueba de Infiltración I14, La Campana, Mata de Caña.**



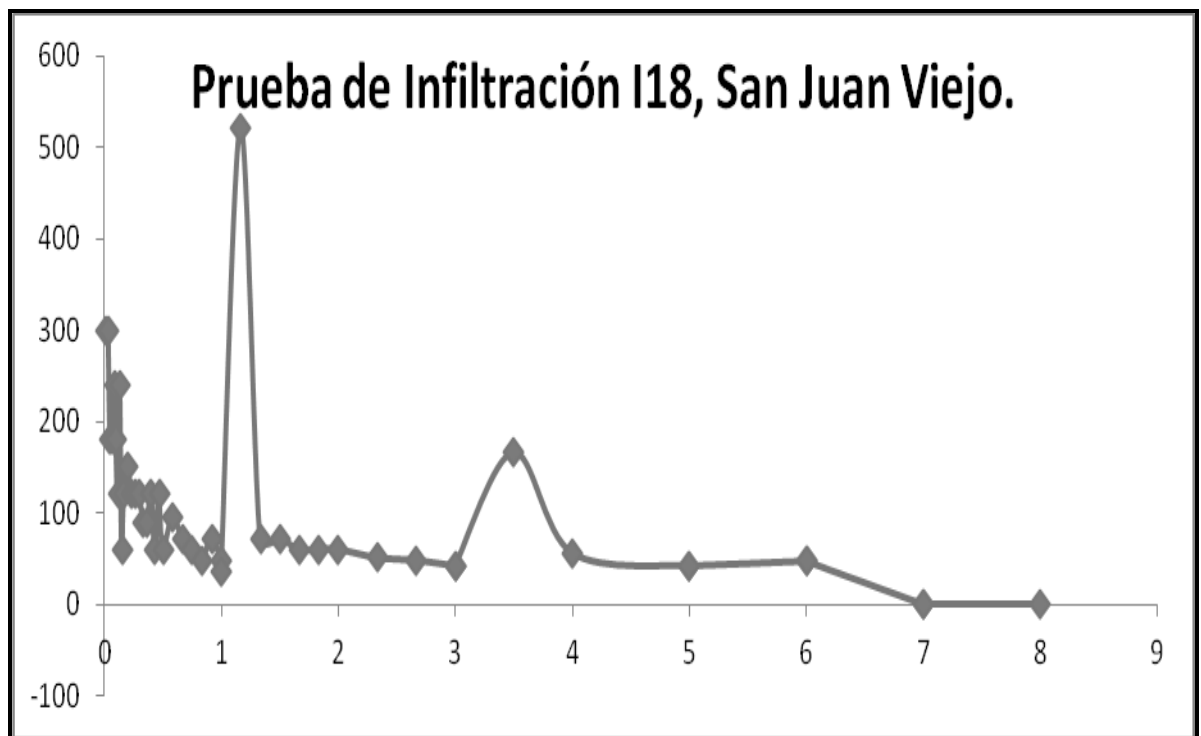
**Grafico 7.15. Prueba de Infiltración I15, Mata de Caña.**



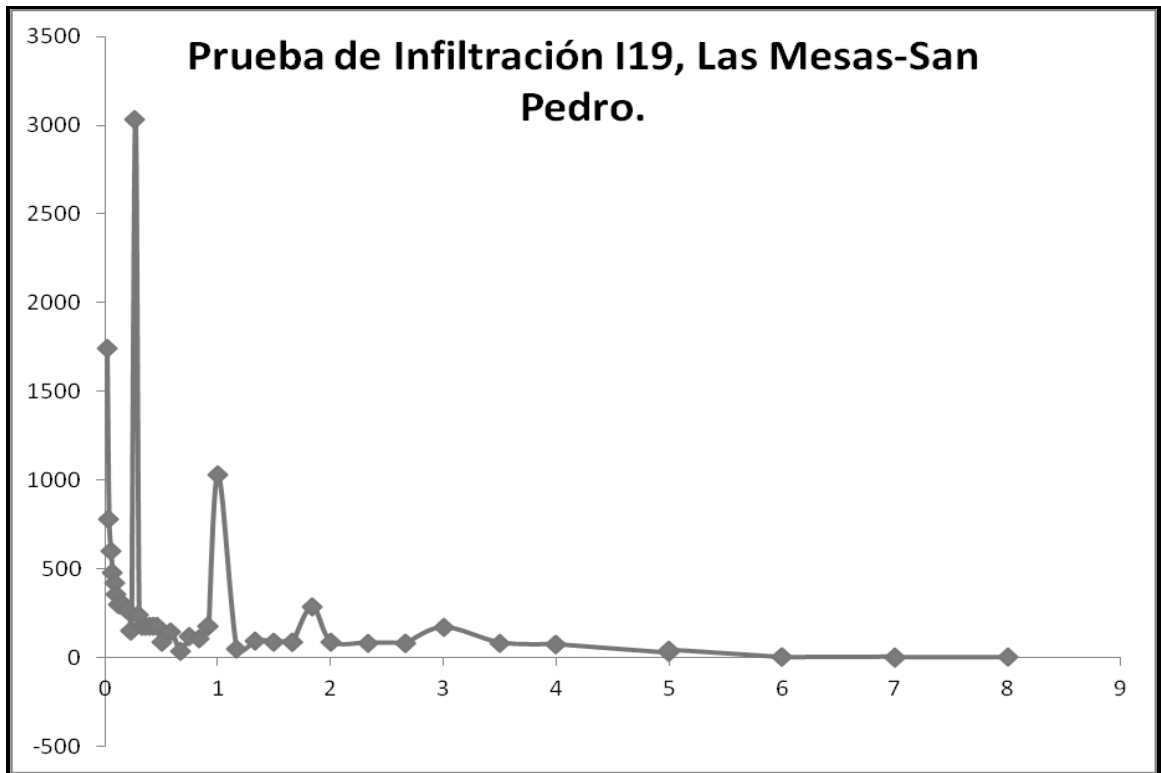
**Grafico 7.16. Prueba de Infiltración I16, Santa Rosa, Mata de Caña.**



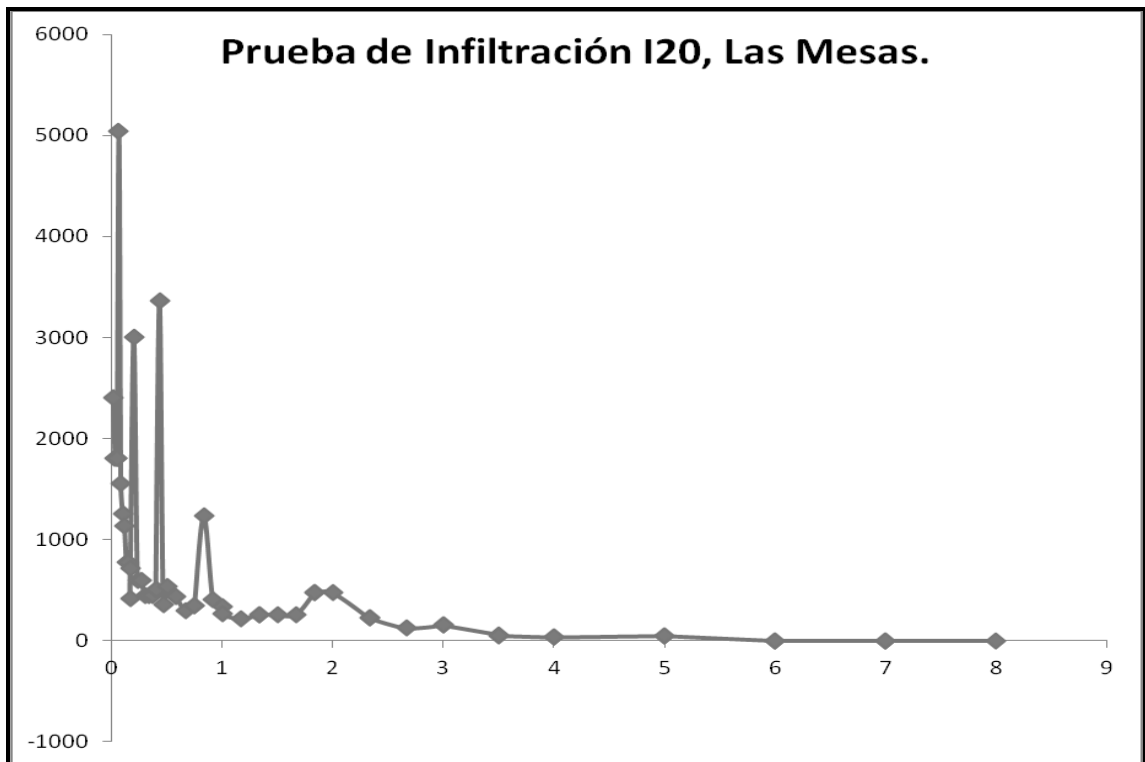
**Grafico 7.17. Prueba de Infiltración I17, San Cristóbal, Mata de Caña.**



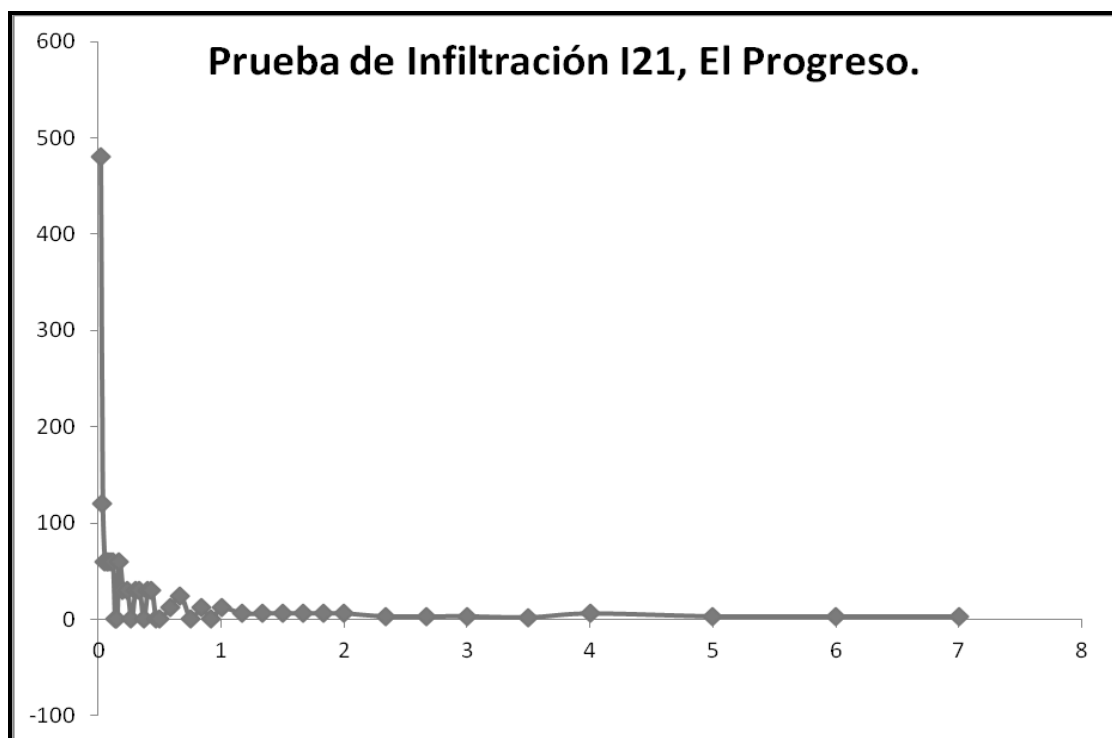
**Grafico 7.18. Prueba de Infiltración I18, San Juan Viejo.**



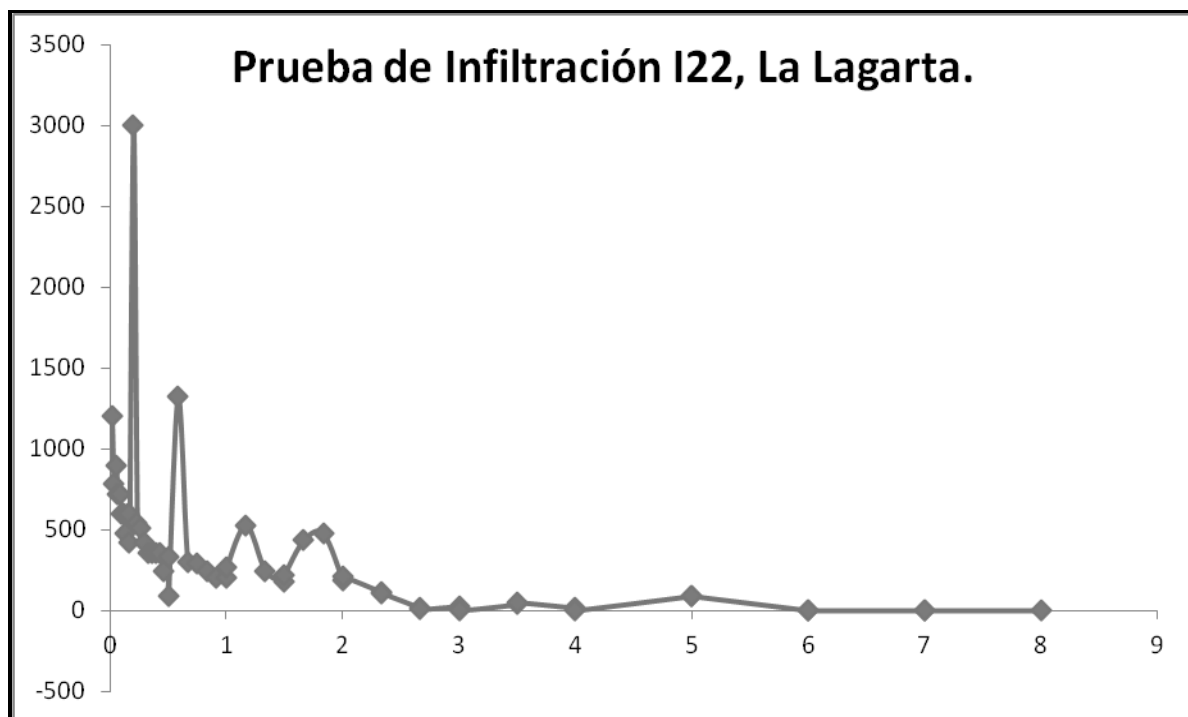
**Grafico 7.19. Prueba de Infiltración I19, Las Mesas-San Pedro.**



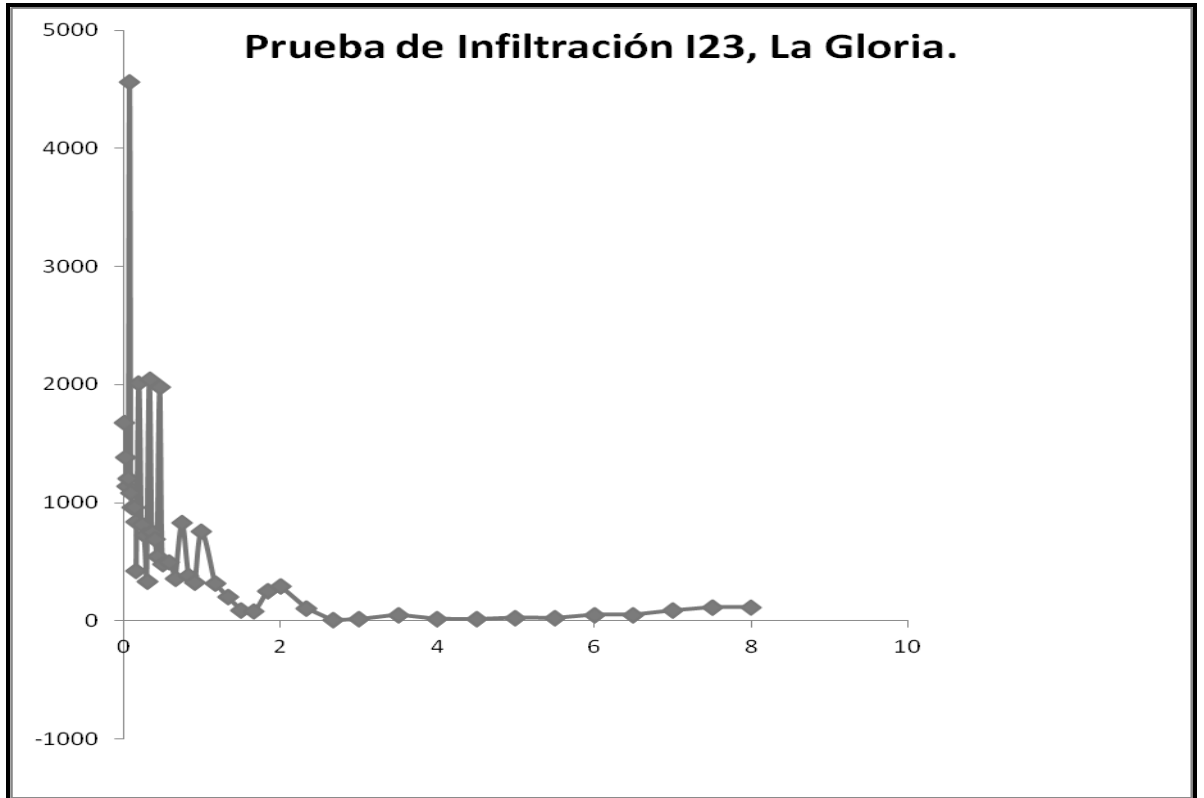
**Grafico 7.20. Prueba de Infiltración I20, Las Mesas.**



**Grafico 7.21. Prueba de Infiltración I21, El Progreso, Las Mesas.**



**Grafico 7.22. Prueba de Infiltración I22, La Lagarta, La Cruz.**



**Grafico 7.23. Prueba de Infiltración I23, La Gloria, La Cruz.**

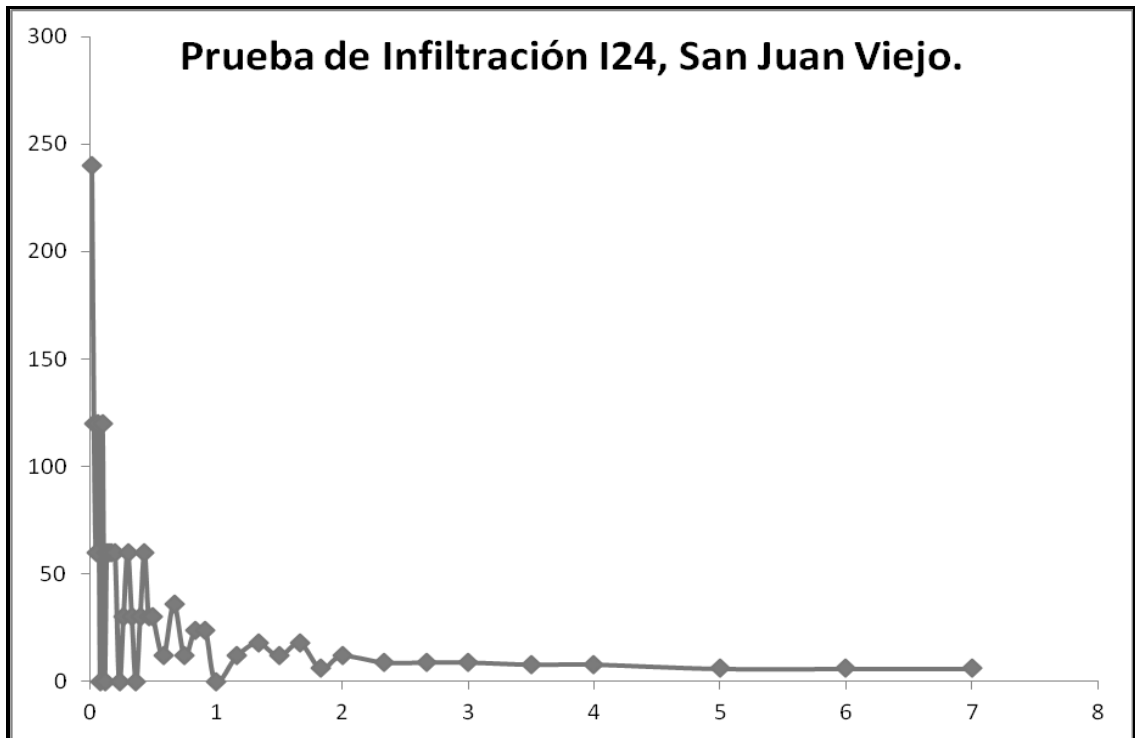




Grafico 7.24. Prueba de Infiltración I24, San Juan Viejo.

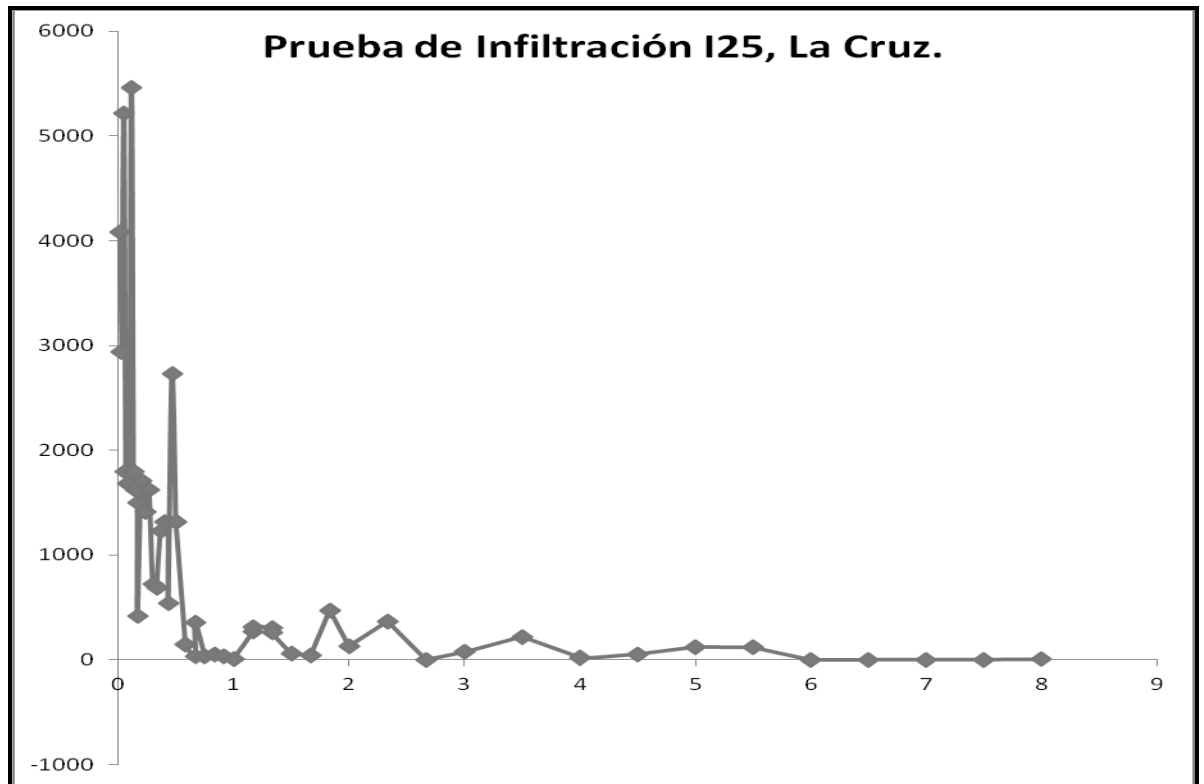
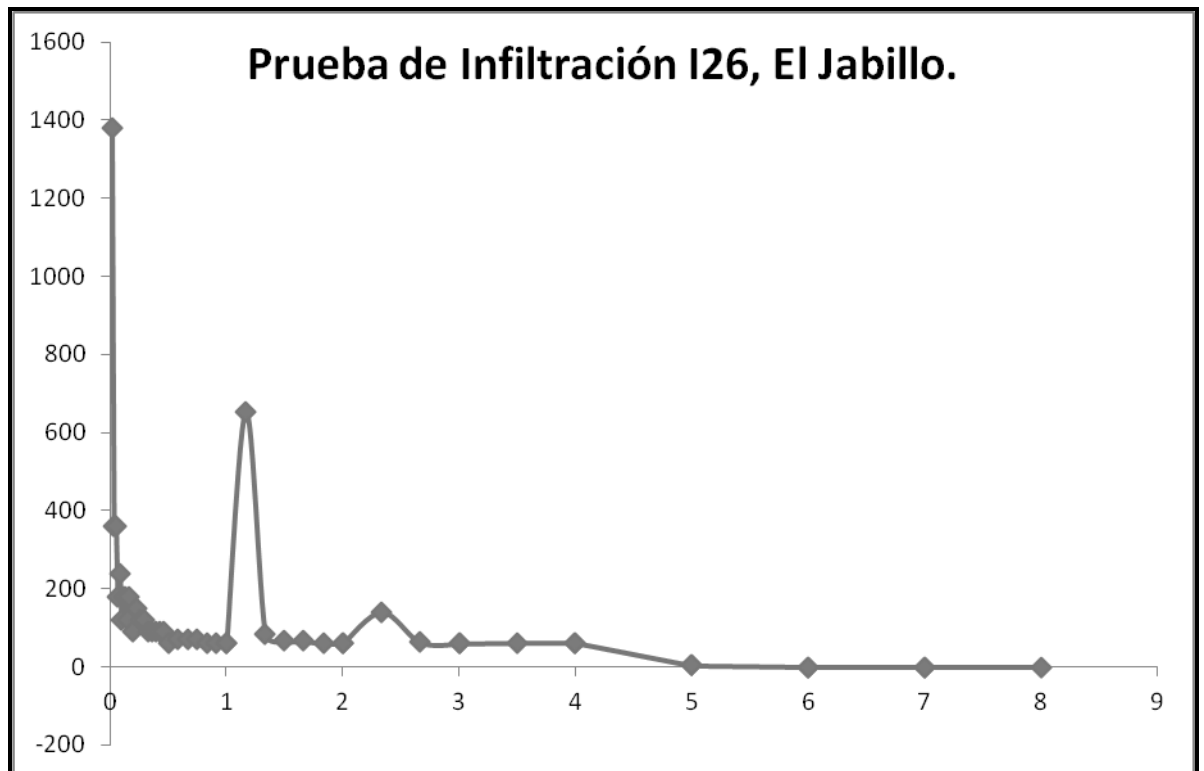
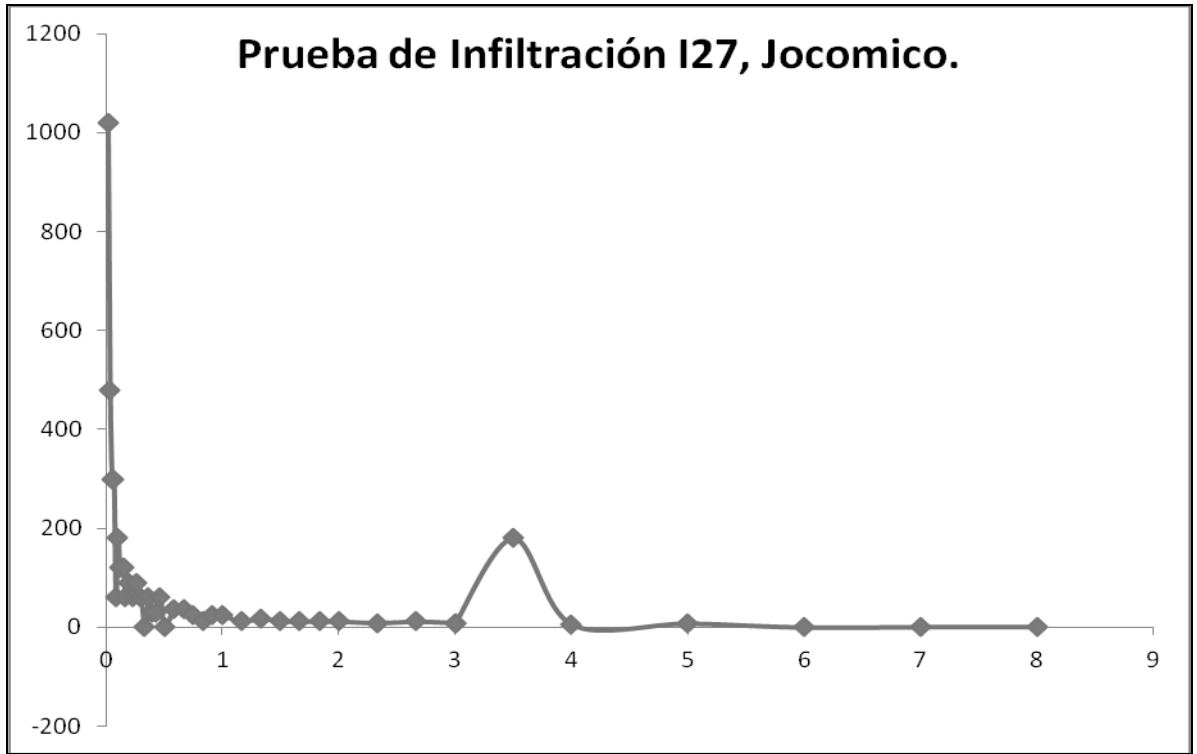


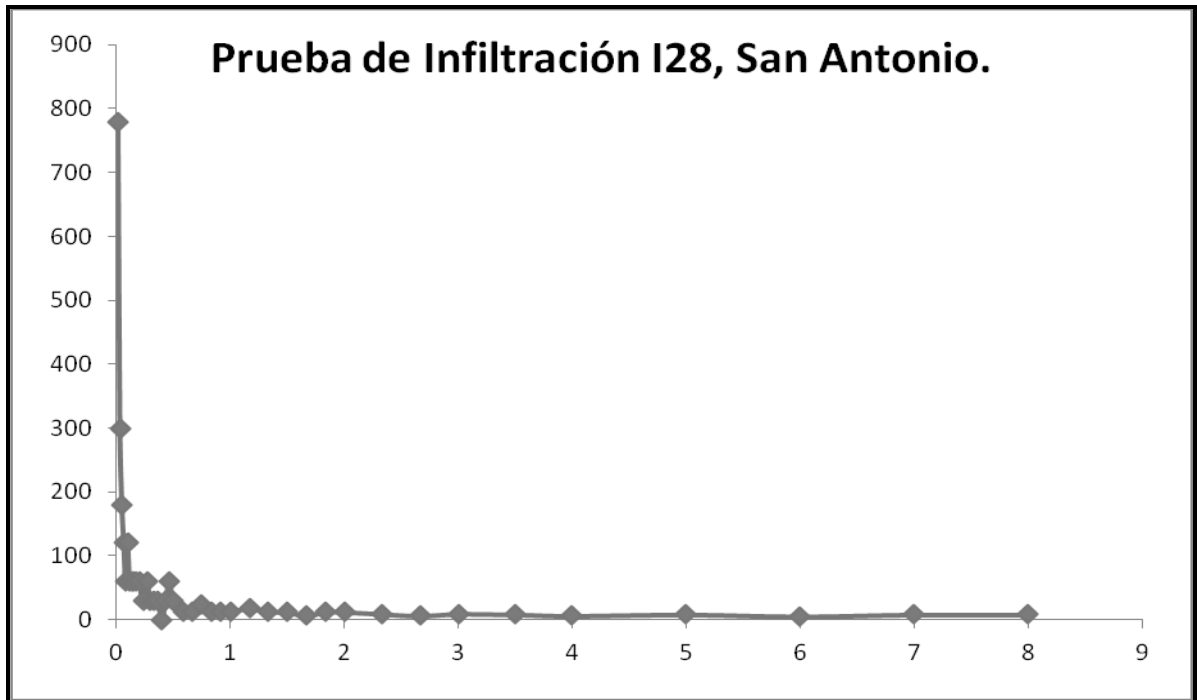
Grafico 7.25. Prueba de Infiltración I25, La Cruz.



**Grafico 7.26. Prueba de Infiltración I26, El Jabillo, San Antonio.**



**Grafico 7.27. Prueba de Infiltración I27, Jocomico, San Antonio.**



**Grafico 7.28. Prueba de Infiltración I28, San Antonio.**

## Apéndice B.

### 7.2 Temperatura y Precipitación

Tabla 7.1 Temperatura Media Estación Nandaime, Periodo 1958-2010.

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
<b>Máxima</b>	32.1	33.1	34.3	34.8	35.1	32.9	32.4	32.6	32.5	31.9	31.6	31.6
<b>Miníma</b>	19.6	20	20.2	22	22	21.7	21.3	21.4	21	20.7	20.1	19.7
<b>Media</b>	25.8	26.3	27.1	28	27.7	26.5	26.3	26.3	25.8	25.8	25.7	25.7

Tabla 7.2. Temperatura Media Estación Rivas, Periodo 198-2010.

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
<b>Máxima</b>	30.9	31.9	33.3	34.1	34.1	32.4	31.8	32.2	32.1	31.7	31.2	30.8
<b>Miníma</b>	20.9	21.1	21.8	22.8	22.6	22.3	22.1	22.2	22	21.9	21.8	21.5
<b>Media</b>	26.2	26.5	27.6	28.6	28.4	27.3	27	27.1	26.8	26.7	26.6	26.3

**Tabla 7.3 Precipitación Media Estación Rivas. Periodo 1968-2010.**

Período	Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
1967-2009	Máximo	43.3	24.7	57.4	93.4	627.5	565.9	382.2	468.8	659.8	948.7	224.1	116.4
	Minímo	0	0	0	0	0	58.3	60.5	39	86.2	36.9	12.5	0.2
	Media	9.7	3.8	3.4	8.9	8.175	245.9	158.2	189.9	288.1	291.6	93	27.3

**Tabla 7.4. Precipitación Media Estación Nandaime. Periodo 1957-2008.**

Período	Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
1967-2009	Máximo	28.9	10.9	81.3	135.6	701.3	529	340.9	461.3	600.3	778	193.1	45.4
	Minímo	0	0	0	0	15	67.8	37	36.5	62.2	49.9	10.5	0
	Media	6.8	1.8	5.7	21.6	217	239.7	146.6	162.5	286.2	309.2	74.3	14.3

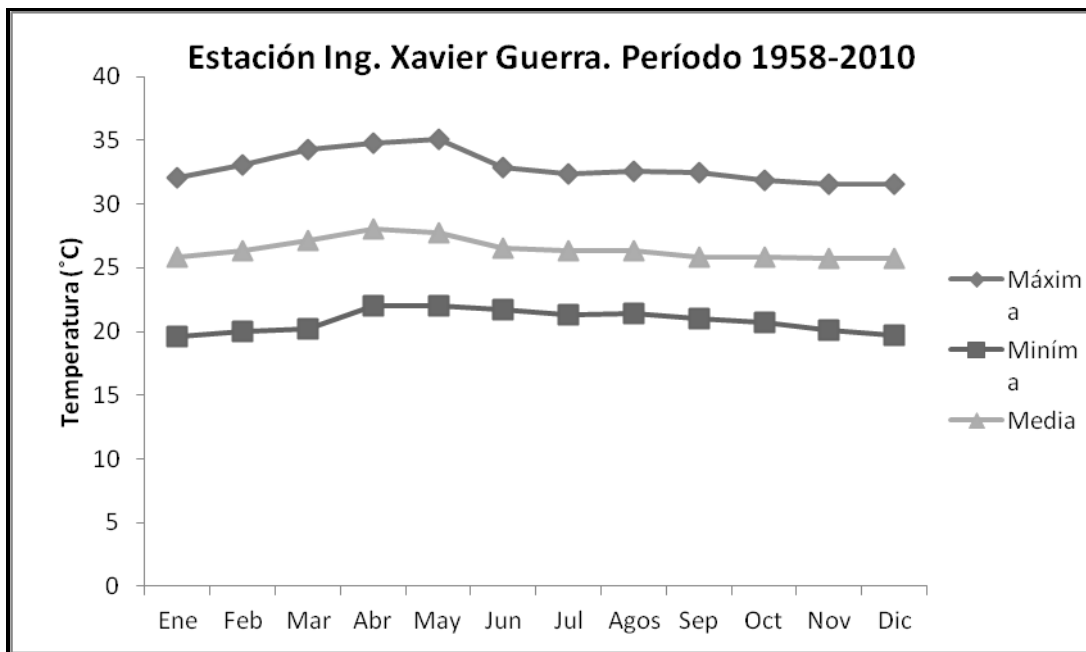


Figura 7.29. Temperatura Media Estación Nandaime, periodo 1958-2010.

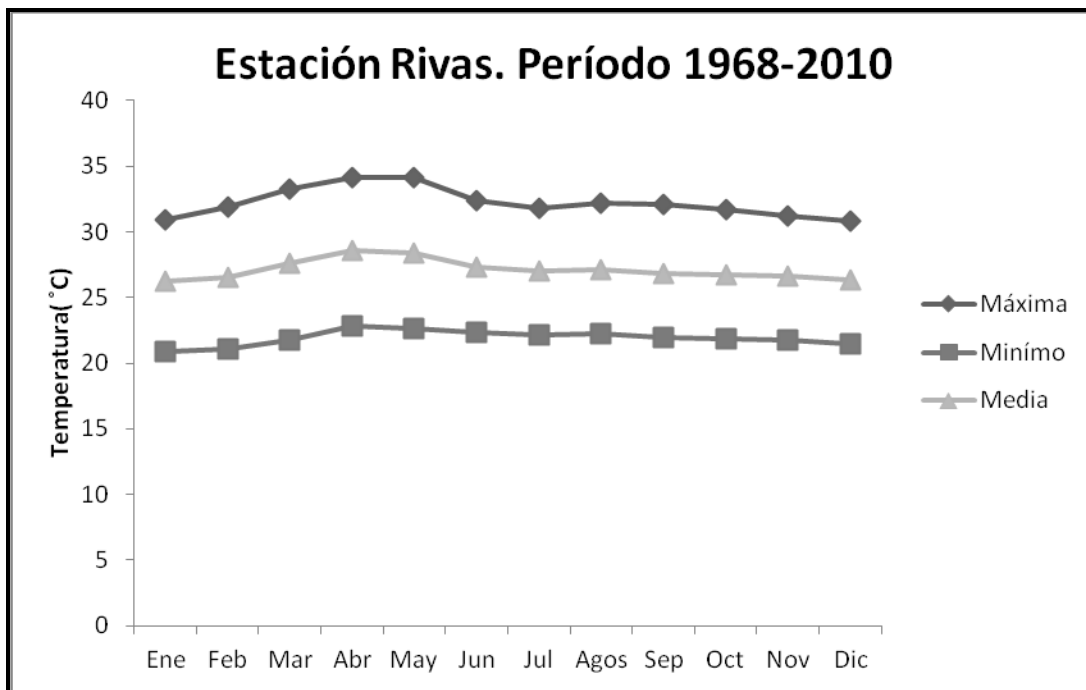


Figura 7.30. Temperatura Media Estación Rivas, periodo 1968-2010.

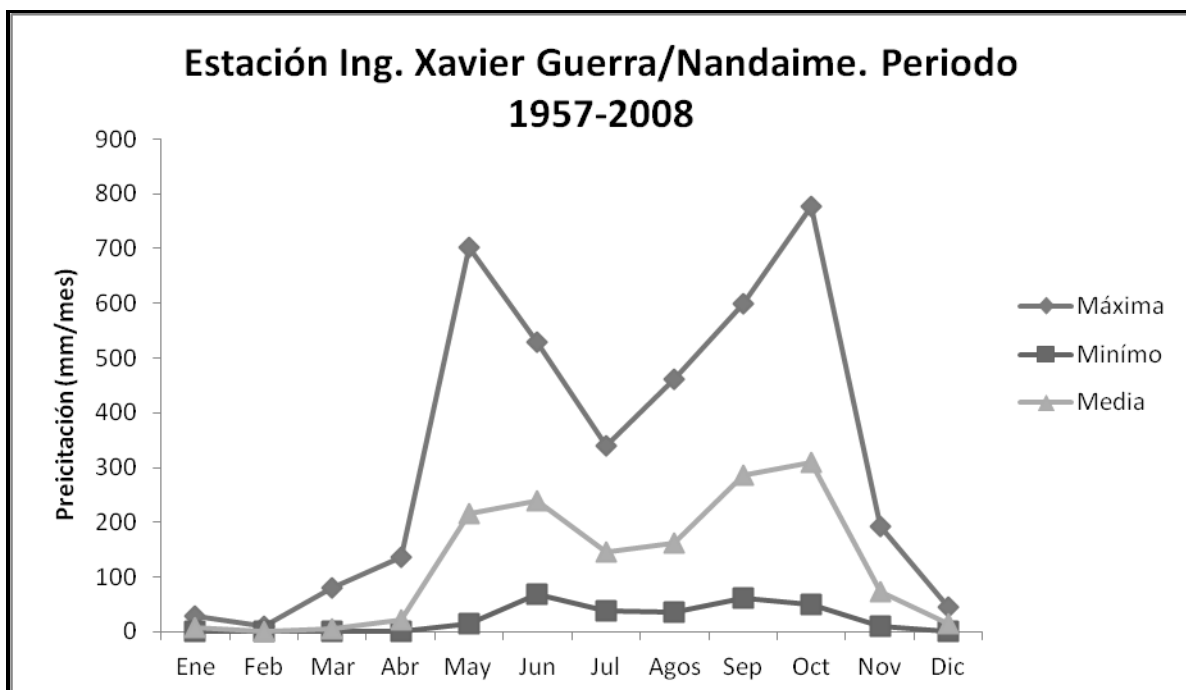


Grafico 7.31. Precipitación Media estación Nandaime. Periodo 1957-2008.

## Apéndice C

### 7.3 Isotopos.

Tabla 7.5. Colecta de muestras de agua para análisis isotópico de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ .

<u>Tipos de Muestra</u>	<u>Cantidad</u>
Precipitación	1
Pozos	7
Manantiales	5
Ríos	6

Canales de Riego	2
Laguna de Ñocarime	2
Lago Cocibolca	1
Total	25

Tabla 7.6. Resultados de  $\delta^{18}\text{H}$  y  $\delta^2\text{H}$  en la Subcuenca Rio Gil González, Noviembre 2011.

<u>Código</u>	<u>Elevación (m.s.n.m)</u>	<u><math>\delta^{18}\text{H}</math></u>	<u><math>\delta^2\text{H}</math></u>
LN1G.G	34	-7.2	- 45.2
LN2G.G	33	-2.1	- 11.9
LG1.G.G	30	-2.1	- 10.8
I1.G.G	66	-3.3	- 23.5
I2.G.G	60	-5.9	- 39.1
S1G.G	166	-6.8	- 43.8

S2G.G	130	-6.7	- 42.7
S3G.G	184	-7.1	- 44.1
S4G.G	143	-7.0	- 45.7
S5G.G	105	-6.5	- 42.0
R1.G.G	104	-7.0	- 42.4
R2.G.G	92	-7.1	- 44.9
R3G.G	94	-6.8	- 42.5
R4.G.G	96	-7.0	- 42.8
R5.G.G	87	-7.1	- 44.5
R6.G.G	57	-6.8	- 42.8
P1.G.G	131	-6.7	- 45.0
P2.G.G	139	-6.5	- 42.4
P3.G.G	135	-6.8	-



			42.7
P4.G.G	117	-7.2	- 46.4
P5.G.G	54	-6.8	- 42.9
PP6.G.G	75	-7.0	- 44.3
PP7.G.G	87	-7.0	- 46.3
PV1.G.G	125	-11.5	- 76.3

## Apéndice D

### 7.4 Datos Hidroquímicos.

Tabla 7.7. Datos Físicoquímicos de muestras de aguas superficiales y subterráneas dentro de la subcuenca Río Gil González, 2010-2011.

<u>Sitio</u>	<u>Época Seca</u>					<u>Época Lluviosa.</u>				
	<u>Ph</u>	<u>Turbidez</u>	<u>CE</u>	<u>Color Verdadero</u>	<u>STD</u>	<u>Ph</u>	<u>Turbidez</u>	<u>CE</u>	<u>Color Verdadero</u>	<u>STD</u>
Mata de Caña	8,23	4,80	637	< 5,0	392.98	8,13	1,30	656	5,0	415.59

La Ermita	8,29	4,45	620	< 5,0	392.49	8,02	3,80	648	< 5,0	417.88
San Juan	8,28	1,70	592	< 5,0	378.48	8,19	2,80	579	< 5,0	382.57
Las Mesas	8,05	41,00	627	5,0	447.32	7,87	2,90	649	< 5,0	438.55
La Lagarta	8,21	15,95	573	5,0	407.13	8,07	5,80	607	< 5,0	406.95
San Antonio	8,29	23,50	403 .75	< 5,0	561	8,15	12,60	560	< 5,0	384.59
San Jerónimo	8,40	26,80	559	5,0	406.85	8,25	5,80	552	< 5,0	382.42
El Bosque	8,38	24,40	575	5,0	413.6	8,01	6,60	579	< 5,0	392.13
Mata de caña	7,4	1,40	694	< 5	413.5	7,4	0,60	680	< 5	423.28
La Ermita	7,5	1,60	569	< 5	368.43	7,5	1,30	536	< 5	366.92
San Juan	7,4	0,90	722	< 5	469.35	7,4	1,60	934	< 5	603.95
La Mesas	7,5	0,80	642	< 5	430.93	7,5	1,45	660	< 5	462.65
La Lagarta	7,2	0,90	435	< 5	315.12	7,2	1,05	383	< 5	316
San Antonio	6,9	0,90	590	< 5	442.52	6,9	0,80	752	< 5	573.54

Tabla 7.8. Relación pH y Temperatura para muestras de ríos, Subcuenca Río Gil González, 2010-2011.

<u>Ubicacion</u>	<u>pH (Unds)</u>		<u>Temp. (°C)</u>	
	Nov-10	Mar-11	Nov-10	Mar-11
PE Mata de Caña	7.26	6.96	28.80	28.90
PE La Ermita	7.47	7.13	28.60	29.40
PP San Juan	7.42	7.22	27.90	28.80
PE San Pedro- Las Mesas	7.60	7.20	28.30	28.90
PE La Lagarta	7.25	6.71	28.70	29.70
PE San Antonio	7.03	6.46	28.20	28.60

Tabla 7.9. Tipos Hidroquímicos de aguas subterráneas y relación rMg/rCa, subcuenca Río Gil González, 2010-2011.

<u>Ubicación</u>	<u>Tipo Hidroquimico</u>		<u>rMg/rCa</u>	
	Nov.10	Mar.11	10-Nov	11-Mar
PE Mata de Caña	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	0.15	0.64
PE La Ermita	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	0.22	1.03
PP San Juan	Ca-Mg-	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	0.24	0.71

	<b>HCO<sub>3</sub></b>			
<b>PE San Pedro- Las Mesas</b>	<b>Ca-HCO<sub>3</sub></b>	<b>Ca-HCO<sub>3</sub></b>	<b>0.17</b>	<b>0.86</b>
<b>PE La Lagarta</b>	<b>Ca-Mg- HCO<sub>3</sub></b>	<b>Ca-Mg-HCO<sub>3</sub></b>	<b>0.29</b>	<b>0.83</b>
<b>PE San Antonio</b>	<b>Ca-Mg- HCO<sub>3</sub></b>	<b>Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>- Cl-N</b>	<b>0.30</b>	<b>0.79</b>