

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**BALANCE HÍDRICO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DEL  
AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO,  
MUNICIPIO DE NEJAPA, DEPARTAMENTO DE SAN  
SALVADOR.**

PRESENTADO POR:

**IRWIN BATRES ÁVALOS**

**LUIS CÉSAR GÓMEZ RIVERA**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2014

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

**SECRETARIA GENERAL :**

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**DIRECTOR :**

**Ph.D. Ing. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**BALANCE HÍDRICO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DEL  
AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO,  
MUNICIPIO DE NEJAPA, DEPARTAMENTO DE SAN  
SALVADOR.**

Presentado por :

**IRWIN BATRES ÁVALOS**  
**LUIS CÉSAR GÓMEZ RIVERA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. ÉDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES**  
**ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR RIVAS**  
**ING. JOAQUÍN MARIANO SERRANO CHOTO**  
**M.Sc. ING. CARLOS VLADIMIR NAJARRO GÁLVEZ**

San Salvador, Agosto de 2014

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. ÉDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES**

**ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR RIVAS**

**ING. JOAQUÍN MARIANO SERRANO CHOTO**

**M.Sc. ING. CARLOS VLADIMIR NAJARRO GÁLVEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

El grupo de Trabajo de Graduación agradece a:

Asesores del Trabajo de Graduación, Ing. Edgar Alfredo Gavidia Paredes, Ing. Edwin Santiago Escobar, Ing. Joaquín Mariano Serrano Choto, M.Sc. Ing. Carlos Vladimir Najarro Gálvez, quienes con su experiencia y conocimientos en el área en que se desarrolla el presente trabajo de graduación nos ayudaron de forma valiosa a orientarnos en cada etapa para lograr los objetivos planteados desde el inicio.

Decanato, Vicedecanato y Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por el apoyo brindado para desarrollar en el tiempo necesario esta investigación, y permitirnos de manera considerada, utilizar recursos de la Facultad.

Escuela de Ingeniería Civil, por el apoyo recibido al realizar trámites necesarios de préstamo de equipo, y dar el soporte en el reconocimiento del grupo al solicitar ayuda en otras instituciones.

Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, por permitir el uso de sus instalaciones y equipo de laboratorio de suelos y materiales.

## **DEDICATORIA**

Dedico este triunfo a Dios, por permitirme la vida y darme las fuerzas para superar las adversidades que a diario se presentan.

Especialmente a mi madre Irma Avalos dedico este logro, que a lo largo de toda mi vida me ha ayudado con gran esfuerzo y sacrificio a cumplir las metas que me he propuesto, dándome siempre ánimos y fortaleciendo mi carácter para hacerme crecer como persona.

A mis hermanos Américo Avalos y Rodrigo Avalos, que me han acompañado y apoyado a lo largo de muchos años, deseando que con este logro pueda incentivarlos a finalizar sus carreras universitarias, y así enorgullecer a nuestra madre y marcar el camino de sus vidas.

A ti Liliana Murillo, por formar parte de mi vida, compartiendo mis alegrías y penas, ayudándome en los momentos difíciles con tu sabiduría y tus conocimientos.

A mi compañero de trabajo de graduación Cesar Gómez, que con el aporte de su conocimiento, dedicación y esfuerzo hemos concluido satisfactoriamente este estudio con el cual culminamos nuestra carrera universitaria.

Al Ing. Antonio Ramírez y Arq. Ana María Monteagudo por su comprensión y colaboración.

*Irwin Batres Avalos*

## DEDICATORIA

A Dios todopoderoso nuestro creador, por darme la fortaleza, la sabiduría y la fe necesaria para finalizar el presente trabajo de graduación.

A mi madre María Julia de Gómez, que con su gran amor y sacrificio de madre hizo todo lo que pudo por educarme, alimentarme, apoyarme a pesar de las adversidades y darme las fuerzas para poder culminar mi carrera.

A mi padre Ing. José Luis Gómez, mi primer profesor que con su ejemplo de esfuerzo y sacrificio para nuestra familia, marco mi norte a seguir en la vida, gracias por ser mi inspiración y por enseñarme a trabajar y por tus consejos de amor que siempre han acompañado mi vida.

A mi esposa Patricia Vásquez, porque siempre estuvo a mi lado, su apoyo incondicional, su sacrificio y sus consejos que fueron indispensables en la finalización de la investigación.

A mi hija Diana, por ser el motivo de querer superarme en la vida y dejar en su vida la enseñanza de que todo se puede y es posible con esfuerzo y perseverancia.

A mis Abuelos Amalia (Q.E.P.D), Melida y Santiago, que con su ejemplo de lucha nos forjaron el carácter para ser hombres trabajadores y de bien.

A mis hermano Pablo Gómez que con su apoyo paso a ser el tercer integrante del grupo, sin su apoyo no hubiera sido posible el desarrollo de este trabajo, que sea este un ejemplo en su vida, y que lo motive a seguir adelante esforzándose y no desmayando a pesar de las adversidades.

A mis amigos casi hermanos, Steve Ludovico Domínguez, David Ernesto García, Miguel Enrique Mena Gómez, por su amistad, sus consejos y sobre todo por ese apoyo incondicional a lo largo de la lucha en mi carrera.

A mi compañero del trabajo de graduación Irwin, por la confianza, dedicación y esmero que aportó en el desarrollo de este proyecto, sin su apoyo y amistad no hubiese sido posible la finalización de este estudio.

A todas aquellas personas que no terminaría de mencionar, pero que contribuyeron con su granito de arena para ayudarme a culminar mi carrera.

Gracias.

*Luis Cesar Gómez Rivera*



## INDICE GENERAL.

### CAPÍTULO I

<b>ANTEPROYECTO .....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.3 OBJETIVOS. ....	4
1.4 ALCANCES. ....	5
1.5 LIMITACIONES. ....	6
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	7

### CAPÍTULO II

<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>8</b>
2.1 UBICACIÓN Y FACTORES MEDIO AMBIENTALES DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	9
2.1.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	9
2.1.2 FACTORES AMBIENTALES DE NEJAPA. ....	10
2.1.3 FACTORES CLIMÁTICOS DE NEJAPA. ....	11
2.1.3.1 EL CLIMA EN EL MUNICIPIO DE NEJAPA. ....	12
2.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS. ....	14
2.1.5 USOS DEL SUELO. ....	16
2.2 DESARROLLO URBANÍSTICO, INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	22
2.2.1 URBANIZACIONES Y ASENTAMIENTOS HUMANOS EXISTENTES. ....	22
2.2.2 INDUSTRIA PREDOMINANTE EN LA ZONA. ....	26
2.2.3 AGRICULTURA PREDOMINANTE EN LA ZONA.....	27
2.3 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO.....	28

2.3.1 DELIMITACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	28
2.3.2 CONDICIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	30
2.3.3 CONDICIONES GEOLÓGICAS PREDOMINANTES DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	43
2.3.4 HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	51

### **CAPÍTULO III**

#### **PRUEBAS DE CAMPO ..... 53**

3.1 GENERALIDADES SOBRE LA PERMEABILIDAD EN LOS SUELOS. .	54
3.1.1 MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL SUELO. ....	55
3.2 MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	62
3.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO. ....	71
3.3.1 COMPONENTES FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE LAS AGUAS DEL RÍO SAN ANTONIO Y DE LOS POZOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DEL ICA. ....	73
3.3.2 PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DEL “ICA” .....	74
3.3.3 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA. ....	76
3.3.3.1 PROCEDIMIENTO EN CAMPO Y RESULTADOS DE LABORATORIO DE COMPONENTES FÍSICOS-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE LAS AGUAS DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	86

### **CAPÍTULO IV**

#### **BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA DEL RIO SAN ANTONIO. .... 96**

4.1 CONCEPTOS GENERALES. ....	97
4.1.1 DEFINICIÓN RECARGA DE ACUÍFEROS. ....	97

4.1.2 TIPOS DE RECARGA.....	98
4.1.3 ZONAS DE PERFIL.....	100
4.1.4 MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RECARGA EN ACUÍFEROS. ....	101
4.1.5 MÉTODO UTILIZANDO TRAZADORES.....	109
4.2 BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	115
4.2.1 ESTUDIOS ANTERIORES.....	116
4.2.2 METODOLOGÍA.....	117
4.2.3 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN PARA LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO, UTILIZANDO EL MÉTODO DE THORNTHWAITE. ....	118
4.2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MÉTODO DE HARGREAVES. ....	124
4.2.5 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA RECARGA POTENCIAL MEDIANTE EL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS MÉTODO GUNTHER SCHOSINSKY.....	125
4.2.5.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO.....	125
4.2.6 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS MÉTODO DE GUNTHER SCHOSINSKY.....	128
4.2.6.1 FACTOR POR PENDIENTE (KP). ....	128
4.2.6.2 FACTOR POR VEGETACIÓN (KV). ....	130
4.2.6.3 CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS (KFC).....	131
4.2.6.4 DENSIDAD DEL APARENTE DEL SUELO (DS). ....	132
4.2.6.5 PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES (PR).....	134
4.2.6.6 CAPACIDAD DE CAMPO, PUNTO DE MARCHITEZ Y DENSIDAD APARENTE (CC%). ....	135
4.2.6.7 PRECIPITACIÓN.....	139
4.3 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE RECARGA POTENCIAL ANUAL EN LA CUENCA. ....	148

4.3.2 CÁLCULO DEL CAUDAL DE SALIDA DE LA CUENCA POR EL RÍO. .....	151
4.3.3 DATOS DE PRUEBAS DE AFORO DE POZOS HISTÓRICOS.....	154
4.3.4 CÁLCULO DE LA RESERVA DEL ACUÍFERO.....	155

## **CAPÍTULO V.**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PLAN DE MONITOREO..... 158**

5.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA “ICA” DEL RÍO SAN ANTONIO.....	159
5.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA “ICA” DE POZOS EN LA REGIÓN DEL ACUÍFERO DE NEJAPA.....	161
5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE MUESTRAS DE AGUA PROVENIENTES DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	164
5.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE MUESTRAS DE AGUA PROVENIENTES POZOS.....	166
5.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO.....	168
5.5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS BALANCES HÍDRICOS REALIZADOS.....	168
5.6 PROPUESTA DE PLAN PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA. ....	177
5.6.1 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS. ....	177
5.7 MUESTREO EN CAMPO Y LINEAMIENTOS PARA LA MANIPULACIÓN.....	180
5.7.1 RECIPIENTES PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	180
5.7.2 RECOLECCIÓN Y MANIPULACIÓN DE MUESTRAS.....	181
5.7.3 FORMATOS PARA HOJAS DE DATOS DE CAMPO Y DE ETIQUETAS PARA MUESTRAS DE AGUA. ....	184

## **CAPÍTULO VI**

<b>CONSIDERACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>186</b>
<b>6.1 CONSIDERACIONES.....</b>	<b>187</b>
6.1.1 CONDICIONES GEOGRÁFICAS.....	187
6.1.2 CONDICIONES GEOLÓGICAS. ....	187
6.1.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	187
6.1.4 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL. ....	188
6.1.5 CÁLCULO DE LA RECARGA. ....	188
6.1.6 BALANCE HÍDRICO.....	188
6.1.7 CONSIDERACIONES PARA LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO. ....	189
<b>6.2 CONCLUSIONES.....</b>	<b>190</b>
6.2.1 CONCLUSIONES SOBRE EL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE LAS AGUAS DEL RÍO SAN ANTONIO, Y POZO ALEDAÑOS A ÉSTE. ....	190
6.2.2 CONCLUSIONES ACERCA DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	191
<b>6.3 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>193</b>
6.3.1 RECOMENDACIONES SOBRE EL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE LAS AGUAS DEL RÍO SAN ANTONIO, Y POZO ALEDAÑOS A ÉSTE. ....	193
6.3.2 RECOMENDACIONES ACERCA DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO. ....	195
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>197</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>204</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>206</b>

## INDICE DE FIGURAS.

FIG. 2-1. UBICACIÓN DEL MUNICIPIO DE NEJAPA DENTRO DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR. FUENTE: “BASE DE DATOS DE NEJAPA (SERVICIOS, MEDIO FÍSICO, MEDIO SOCIOECONÓMICO)”.....	9
FIG. 2-2. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DE NEJAPA. FUENTE “ELABORACIÓN PROPIA”.....	13
FIG. 2-3. MAPA PEDOLÓGICO DE SAN SALVADOR. FUENTE: MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. 2012.....	14
FIG. 2-4. USO DE SUELO DE NEJAPA. FUENTE: SNET.....	21
FIG. 2-5. DIVISIÓN POLÍTICA DE NEJAPA. FUENTE: “BASE DE DATOS DE NEJAPA (SERVICIOS, MEDIO FÍSICO, MEDIO SOCIOECONÓMICO)”.....	22
FIG. 2-6. MAPA DE TENENCIA DE TIERRA EN NEJAPA. FUENTE: “BASE DE DATOS DE NEJAPA (SERVICIOS, MEDIO FÍSICO, MEDIO SOCIOECONÓMICO)”.....	26
FIG. 2-7. UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO DENTRO DEL MUNICIPIO DE NEJAPA. FUENTE “ELABORACIÓN PROPIA”.....	29
FIG. 2-8. ORDEN DE LOS CAUCES DEL RÍO SAN ANTONIO. FUENTE “ELABORACIÓN PROPIA”.....	32
FIG. 2-9. GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO.....	49
FIG. 3-1. SISTEMA DE INFILTRACIÓN EN MÉTODO DE PORCHET. FUENTE “ELABORACIÓN PROPIA”.....	56
FIG. 3.2 UBICACIÓN DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN LA CUENCA.....	59
FIG. 3.3 UBICACIÓN DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN EL	

MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA.....	60
FIG. 3.4 UBICACIÓN DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN EL MAPA GEOGRÁFICO DE LA CUENCA.....	61
FIG. 3-5. SELECCIÓN DEL TRAMO DEL RÍO.....	63
FIG 3-6. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD.....	63
FIG 3-7. DETERMINACION DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL RÍO.....	64
FIG. 3.8. SITIO PARA LA MEDICIÓN DEL CAUDAL.....	67
FIG 3-9. SECCION TRANSVERSAL DE UN TRAMO DEL RÍO SAN ANTONIO.....	70
FIG 3-10. VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DE COLIFORMES FECALES.....	79
FIG. 3-11. VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DEL PH.....	80
FIG. 3-12. VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DE LA DBO <sub>5</sub> .....	81
FIG. 3-13. VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DEL NITRÓGENO.....	81
FIG. 3-14. VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DEL FÓSFORO.....	82
FIG. 3-15.VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.....	83
FIG. 3-16.VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DE LA TURBIDEZ. (NTU: UNIDAD NEFELOMÉTRICA DE TURBIDEZ).....	83
FIG. 3-17.VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DEL RESIDUO TOTAL.....	84
FIG. 3-18. VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN FUNCIÓN DEL % DE SATURACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO.....	85
FIG. 4-1. ESQUEMA ZONAS DE PERFIL FUENTE WIKIPEDIA.....	100

FIG. 4-2. ESQUEMA GENERAL DE BALANCE HÍDRICO DE SUELOS, FUENTE “MÉTODOS PARA DETERMINAR LA RECARGA EN ACUÍFEROS” MARÍA VICTORIA VÉLEZ OTÁLVARO, 1989.....	102
FIG. 4-3 LISÍMETRO CAPILAR INSTALADO EN LA ZONA NO SATURADA.....	103
FIG. 4-4. ESQUEMA DE MEDIDOR DE INFILTRACIÓN, FUENTE “MÉTODOS PARA DETERMINAR LA RECARGA EN ACUÍFEROS” MARÍA VICTORIA VÉLEZ OTÁLVARO.....	104
FIG. 4-5. ESQUEMA BALANCE DE AGUA, FUENTE “MÉTODOS PARA DETERMINAR LA RECARGA EN ACUÍFEROS” MARÍA VICTORIA VÉLEZ OTÁLVARO.....	106
FIG. 4-6. ESQUEMA DE BALANCE HÍDRICO APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO, NEJAPA, FUENTE “ELABORACIÓN PROPIA”.....	115
FIG. 4-7. ESQUEMA DE ELEMENTOS PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO PARA LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO. FUENTE “ELABORACIÓN PROPIA”.....	117
FIG. 4-8. DELIMITACIÓN DE NEJAPA EN MAPA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS. FUENTE “ELABORACIÓN PROPIA”.....	133
FIG. 4-9. PEDOLOGÍA DE LA CUENCA RÍO SAN ANTONIO FUENTE “MAG”.....	136
FIG. 4.10 - PRECIPITACIONES AÑO 2007.....	140
FIG. 4.11 - PRECIPITACIONES AÑO 2008.....	140
FIG. 4.12 - PRECIPITACIONES AÑO 2009.....	141
FIG. 4.13 - PRECIPITACIONES AÑO 2010.....	141
FIG. 4.14 - PRECIPITACIONES AÑO 2011.....	142
FIG. 4.15 - PRECIPITACIONES AÑO 2012.....	142
FIG. 4.16 - PRECIPITACIONES AÑO 2013.....	143
FIG. 4-17. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE ESTACIONES SOBRE EL	



ÁREA DE ESTUDIO, MAPA FUENTE “MAG” Y UBICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS “ELABORACIÓN PROPIA”.....	144
FIG. 4.18 - COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MÉTODO 1 (T) Y EL MÉTODO 2 (H).....	151
FIG. 4-19. CAUDAL BASE DEL RÍO SAN ANTONIO “ELABORACIÓN PROPIA”.....	152
FIG. 4.20 - PROYECCIÓN DE LA RESERVA ACUÍFERA DE NEJAPA...	157
FIG. 5.1 - INDICE DE CALIDAD DE AGUA, RÍO SAN ANTONIO.....	164
FIG. 5.2 - INDICE DE CALIDAD DE AGUA, POZOS.....	166
FIG. 5.3 RESULTADOS BALANCE HIDRICO METODOS THORNTHWAITTE VS HARGREAVES.....	169
FIG. 5.4 RESERVA ACUÍFERA DE NEJAPA.....	170
FIG. 5-5. TOMA SATELITAL DE NEJAPA, 1970.....	171
FIG. 5-6. TOMA SATELITAL DE NEJAPA, 2005.....	172
FIG. 5-7. TOMA SATELITAL DE NEJAPA, 2010.....	173
FIG. 5-8. TOMA SATELITAL DE NEJAPA, 2013.....	174
FIG. 5.9 - COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE BALANCE HÍDRICO CON ESTUDIOS DE OTROS AUTORES.....	176

## INDICE DE TABLAS.

TABLA 2.1 - DURACIÓN APROXIMADA DE LAS ESTACIONES.....	12
TABLA 2.2 - CLASES DE SUELO Y APTITUDES PARA EL CULTIVO (BASE DE DATOS DE NEJAPA).....	17
TABLA 2.3 - USOS DEL SUELO EN EL MUNICIPIO DE NEJAPA (BASE DE DATOS DE NEJAPA).....	19
TABLA 2.4 – CANTONES Y COMUNIDADES DEL MUNICIPIO DE NEJAPA (BASE DE DATOS DE NEJAPA).....	23
TABLA 2.5 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO.....	31
TABLA 2.6 - RELACIONES DE BIFURCACIÓN.....	33
TABLA 2.7 - PUNTOS Y ELEVACIONES DEL MÉTODO DE LA RED DE PUNTOS.....	40
TABLA 2.8 – RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RÍO SAN ANTONIO.....	43
TABLA 2.9 - RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS DISTINTAS FORMACIONES GEOLÓGICAS.....	50
TABLA 3.1 – MÉTODOS PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD DE UN SUELO.....	55
TABLA 3.2– RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE PRUEBAS DE PERMEABILIDAD POR EL MÉTODO DE PORCHET Y PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE SUELO EN EL LABORATORIO.....	58
TABLA 3.3 – MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL RÍO.....	68
TABLA 3.4– MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL RÍO.....	69
TABLA 3.5– CLASIFICACIÓN DEL ICA.....	77

TABLA 3.6– PESOS RELATIVOS PARA LOS PARÁMETROS DEL “ICA”.....	78
TABLA 3.7–SOLUBILIDAD DEL OXÍGENO EN AGUA DULCE.....	85
TABLA 3.8–TABLA PARA EL CÁLCULO DEL “ICA <sub>M</sub> ”.....	86
TABLA 3.9 – IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE RÍO.....	88
TABLA 3.10 – IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE POZO.....	89
TABLA 3.11 RESULTADOS DE LABORATORIO PARA LAS MUESTRAS TOMADAS DEL RÍO.....	90
TABLA 3.12 RESULTADOS DE LABORATORIO PARA LAS MUESTRAS TOMADAS DE POZOS.....	91
TABLA 3.13 – RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DEL “ICA” EN MUESTRAS DE RÍO.....	92
TABLA 3.14 – RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DEL “ICA” EN MUESTRAS DE POZO.....	93
TABLA 3.15– CLASIFICACIÓN DEL ICA.....	94
TABLA 3.16 – RESUMEN DE RESULTADOS DEL “ICA” PARA MUESTRAS DE RÍO Y POZO.....	94
TABLA 4.1 – TEMPERATURAS PROMEDIO DIARIAS DURANTE LOS MESES DEL AÑO.....	120
TABLA 4.2 –NÚMERO DE HORAS EFECTIVAS DE SOL SEGÚN LA LATITUD DE LA CUENCA.....	121
TABLA 4.3 – RESULTADOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN MÉTODO THORNTHWAITE.....	122
TABLA 4.4 – RESULTADOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN MÉTODO THORNTHWAITE.....	123
TABLA 4.5 – DATOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN MÉTODO UTILIZADO HARGREAVES, PROPORCIONADOS POR SNET. SERVICIO HIDROLÓGICO NACIONAL. BALANCE HÍDRICO CUENCA LAGO DE ILOPANGO.....	124

TABLA 4.6 – ELEMENTOS DEL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS MÉTODO DE GUNTHER SCHOSINSKY.....	128
TABLA 4.7 – PARÁMETROS DE FACTOR DE PENDIENTE.....	129
TABLA 4.8 – FACTOR DE PENDIENTE.....	129
TABLA 4.9 – VALOR DE KV EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VEGETACIÓN.....	130
TABLA 4.10 – FACTORES DE VEGETACIÓN KV, PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	130
TABLA 4.11 – RESULTADOS DE ENSAYOS DE INFILTRACIÓN OBTENIDOS EN CAMPO.....	131
TABLA 4.12 – PARÁMETROS DE DENSIDAD APARENTE DE LOS SUELOS.....	133
TABLA 4.13 – PROFUNDIDAD DE RAÍCES (PR) PARA DIFERENTES CULTIVOS (GREASSI, 1976).....	134
TABLA 4.14 – PROFUNDIDAD DE RAÍCES SEGÚN LOS CULTIVOS EXISTENTES EN LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO.....	135
TABLA 4.15 – PARÁMETROS DE PUNTO DE MARCHITEZ, CAPACIDAD DE CAMPO Y DENSIDAD APARENTE.....	136
TABLA 4.16 – CAPACIDAD DE CAMPO SEGÚN LA PEDOLOGÍA Y TEXTURA DE SUELOS EXISTENTES EN LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO.....	137
TABLA 4.17 – PUNTO DE MARCHITEZ PARA LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO.....	138
TABLA 4.18 – RESUMEN DE CÁLCULO PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL BALANCE DE SUELOS, CUENCA RÍO SAN ANTONIO.....	139

TABLA 4.19 – PRECIPITACIONES ACUMULADAS 5 AÑOS 1ER SEMESTRE.....	145
TABLA 4.20 – PRECIPITACIONES ACUMULADAS PERIODO 5 AÑOS 2º SEMESTRE.....	146
TABLA 4.21 –TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE BALANCE HÍDRICO DE SUELOS UTILIZANDO EL MÉTODO GUNTHER SCHOSINSKY UTILIZANDO ETP THORNTHWAITE (MÉTODO 1).....	147
TABLA 4.22 – RESUMEN DE RESULTADOS DE BALANCE HÍDRICO DE SUELOS UTILIZANDO EL MÉTODO GUNTHER SCHOSINSKY, UTILIZANDO ETP HARGREAVES (MÉTODO 2).....	148
TABLA 4.23 – TABLA VOLUMEN EN MILLONES DE METROS CÚBICOS, PARA LOS RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO GUNTHER SCHOSINSKY PARA LOS DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE ETP.....	150
TABLA 4.24 – TABLA DE CAUDALES PROMEDIO MENSUALES DEL RÍO SAN ANTONIO. FUENTE: “CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL MUNICIPIO DE NEJAPA”.....	152
TABLA 4.25 – TABLA RESERVA ACUÍFERA DE NEJAPA.....	156
TABLA 4.26 – BALANCE HÍDRICO REALIZADO POR EL MÉTODO DE BALANCE HÍDRICO DE AGUA.....	156
TABLA 5.1 – RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE AGUAS DEL RÍO SAN ANTONIO, TESIS DE INGENIERÍA QUÍMICA.....	159
TABLA 5.2 – RESULTADOS DE ICA RÍO SAN ANTONIO, TESIS DE INGENIERÍA QUÍMICA.....	160
TABLA 5.3 – ESTIMACIÓN DE ICA RÍO SAN ANTONIO, TESIS DE INGENIERÍA QUÍMICA.....	161

TABLA 5.4 – RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE AGUAS DE POZO, GEÓLOGOS DEL MUNDO.....	162
TABLA 5.5 – RESULTADOS DE ICA DE AGUAS DE POZO, GEÓLOGOS DEL MUNDO.....	163
TABLA 5.6 – ESTIMACIÓN DE ICA DE AGUAS DE POZO, GEÓLOGOS DEL MUNDO.....	164
TABLA 5.7 – RESUMEN COMPARATIVO DE ICA, ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE MUESTRAS TOMADAS DEL RÍO SAN ANTONIO.....	165
TABLA 5.8 – RESUMEN COMPARATIVO DE ICA, ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE MUESTRAS TOMADAS DE POZOS.....	167
TABLA 5.9 –BALANCE HÍDRICO ETP THORNTHWAITE.....	168
TABLA 5.10 – BALANCE HÍDRICO ETP HARGREAVES.....	168
TABLA 5.11 – BALANCE HÍDRICO PROMEDIO.....	169
TABLA 5.12 – NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE LOS PARÁMETROS PARA LA CALIDAD DEL AGUA.....	177
TABLA 5.13 – FRECUENCIA DEL MUESTREO PARA ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO.....	179
TABLA 5.14 – RECIPIENTES PARA MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRA.....	181

# **CAPÍTULO I**

## **ANTEPROYECTO**

## **1.1 ANTECEDENTES.**

El balance hídrico en El Salvador está siendo fuertemente afectado debido principalmente a la actividad humana, a nivel local y al cambio climático a nivel global; interfiriendo cada vez más en el equilibrio del sistema, factores que alteran la disponibilidad de agua en los mantos acuíferos, esto también genera un impacto las condiciones medio ambientales de los diversos ecosistemas existentes en la zona, así como también cambios críticos en las diversas actividades humanas que involucran el consumo y utilización del recurso hídrico, las cuales se ven limitadas debido a la cantidad de agua disponible para los diversos usos locales.

Entre las principales actividades de origen humano que afectan el balance hídrico, se tiene el abuso en la extracción de los mantos acuíferos subterráneos, los cambios de uso de suelo, la deforestación, el vertido de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, prácticas agrícolas inadecuadas y el incremento de urbanizaciones en zonas de recarga o producción hídrica, entre otros.

La Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), anteriormente conocido como SNET, inició en el año 2003, la evaluación del Balance Hídrico Nacional con el objeto de determinar el estado actual de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico, así como la presión por la demanda del mismo, teniendo en cuenta su distribución espacial y temporal, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección y conservación, que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

La cuenca del Río San Antonio forma parte importante en la recarga hídrica del acuífero de Nejapa, el menos estudiado de los acuíferos ubicados en el área metropolitana de San Salvador (AMSS), a pesar que una buena parte de



población de la región se abastece directamente de éste, de acuerdo con el Artículo “Gestión Ambiental del Municipio de Nejapa”, realizado por FUNDE, en el año de 1996, al menos el 20% de la población total del municipio de Nejapa se abastece de éste acuífero.

Existe mucha literatura la cual hace alusión al estado del recurso hídrico en El Salvador y en el AMSS, en los cuales se aborda la temática de coordinación institucional, marco legal y participación ciudadana, pero en general no existe documentación acerca de estudios específicos del Río San Antonio; existen únicamente estudios parciales acerca del recurso hídrico, aunque la mayoría de éstos fueron realizados a escala nacional.

En cuanto a la calidad del agua, son diversos los estudios que se han realizados en la zona de la cuenca del Río San Antonio, los cuáles se limitan a la medición de los parámetros de contaminantes sin establecer el índice de calidad del agua superficial específicamente en el cauce del Río San Antonio, lo cual es importante para establecer un control de la evolución de los contaminantes depositados en el cauce del río y las consecuencias que tienen en la vida acuática y fauna disponibles en el río.

Es importante señalar que de los estudios consultados sobre el acuífero de Nejapa, ninguno abarca su totalidad, sino que en su mayoría se refieren sólo a una parte del acuífero del municipio de Nejapa.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En nuestro País así como en la mayoría de países en vías de desarrollo, existen serios problemas en el manejo eficiente de los recursos hídricos, en El Salvador principalmente en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), a la fecha no se conoce la magnitud o alcance incluso la naturaleza exacta de estos problemas, sin embargo, existe una crisis creciente que se manifiesta por medio de la escases de agua en los asentamientos urbanos y rurales lo cual afecta

directamente las posibilidades de desarrollo sostenible y a la calidad de vida de las personas.

La cuenca del Río San Antonio, ubicada en el Municipio de Nejapa, departamento de San Salvador, presenta diversos problemas los cuales afectan tanto la disponibilidad del recurso hídrico así como también la calidad de éste, debido a esto autoridad municipal público en el año 2007 una Ordenanza Municipal cual tiene como principal objetivo conservar y proteger la cuenca, cauce y riveras así como también fue creada con el propósito de recuperar las zonas de recarga en la cuenca.

El mayor problema que enfrenta la comuna municipal es la falta de mecanismos de control y monitoreo para la regulación del uso del recurso hídrico, así como la falta de control en el tratamiento de vertidos locales tanto en industrias como también en zonas urbanizadas crecientes.

### **1.3 OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL.**

- Realizar el balance hídrico superficial de la cuenca y el análisis de calidad del agua en la cuenca del Río San Antonio, contemplando los cambios en el equilibrio hídrico de la cuenca producto de las actividades antropogénicas en la zona, para que sirva de línea base para el inicio del monitoreo estratégico del lugar, realizando una recopilación de información proporcionada por la alcaldía de Nejapa, CNR, DGOA/MARN (antes SNET), y la OPAMSS.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar el caudal del cauce principal de la cuenca del Río San Antonio, medir la capacidad de infiltración de las diferentes formaciones geológicas, auxiliándonos de aforos y ensayos de permeabilidad para este fin.
- Estudiar la calidad del agua de la cuenca, tomando muestras en pozos cercanos a la zona y directamente del agua superficial del río, para determinar las posibles fuentes de contaminación.
- Realizar la medición de parámetros de calidad de agua en campo (PH y sólidos totales disueltos entre otros).
- Proponer un programa de monitoreo de la cantidad y calidad del recurso hídrico de la cuenca, para auxiliar a la Alcaldía Municipal de Nejapa a preservar los valores ecológicos del cauce del Río San Antonio.

### **1.4 ALCANCES.**

La investigación pretende realizar el balance hídrico superficial de la cuenca del Río San Antonio, evaluando la recarga del acuífero mediante modelos matemáticos y recopilación de datos meteorológicas así como también realizar pruebas de campo para observar el comportamiento que está teniendo producto de la actividad humana; también se pretende realizar un estudio fisicoquímico y bacteriológico en diversos puntos de interés del cauce del Río San Antonio para determinar el índice de calidad del agua del Río San Antonio.

El estudio hídrico de la cuenca del Río San Antonio, estará basado en el análisis de condiciones climáticas, hidrográficas y geológicas de la zona.

La recolección, análisis y evaluación de los datos se orientará a establecer una propuesta de programa de monitoreo de la disponibilidad del recurso hídrico, así mismo como de la calidad de éste, para que se pueda establecer acciones para mitigar los impactos en la cuenca del Río San Antonio, y a la Alcaldía Municipal de Nejapa para el control de los usos agrícolas e industriales que están ubicados actualmente en la zona de la cuenca del Río San Antonio.

### **1.5 LIMITACIONES.**

Para poder realizar un análisis de las condiciones que han dado origen a la situación actual del balance hídrico de la Cuenca del Río San Antonio se deberá de contar con datos históricos de los proyectos y actividades antropogénicas de la zona de la cuenca, dada la casi inexistencia de registros históricos significativos que reflejen la evolución de la problemática, nos limitaremos a utilizar únicamente datos recientes de estas actividades. Hay poca literatura existente debido a la falta de controles y planes de manejo de la Cuenca del Río San Antonio por parte de las autoridades correspondientes, por lo que será necesario contar con la asistencia de la Alcaldía de Nejapa, así como del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Debido a la longitud del cauce del Río San Antonio será necesario realizar los ensayos de permeabilidad, mediciones de caudal y toma de muestras para análisis de laboratorio, solo en puntos estratégicos del cauce.

El difícil acceso a parte de la información conocida, las dificultades para verificar la información proporcionada, la baja calidad de la información, la reducida fiabilidad de los datos de análisis físico químico y la aparente falta de información específica, dificultará nuestra investigación. Por lo anterior, la limitante más grande es la falta de interés de las autoridades locales,

especialmente en lo concerniente a la recopilación y levantamiento de información.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN.**

Actualmente aunque existen esfuerzos e investigaciones de diferentes entidades encaminadas a la protección y preservación del recurso hídrico, no hay una evaluación de la disponibilidad y calidad hídrica actual de la cuenca del Río San Antonio ni de una proyección a futuro, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros. Los estudios realizados sobre el acuífero de Nejapa, y más aún sobre la cuenca del Río San Antonio, no constituyen estudios significativamente relevantes para la cuenca del Río San Antonio, la cual puede presentar características diferentes en cuanto al balance hídrico y la calidad de las aguas, por lo que la realización de estos estudios específicamente en la zona de interés representa una fuente de información apropiada para elaborar planes de desarrollo sostenible y acciones municipales para regular la calidad del agua y hacerla apta para las diferentes actividades en las que el agua se hace necesaria, siendo las de más interés las actividades de explotación para el consumo humano.

# **CAPÍTULO II**

## **GENERALIDADES.**

## 2.1 Ubicación y Factores Medio Ambientales de la Zona de Estudio.

### 2.1.1 Ubicación y localización de la zona de estudio.

#### Ubicación General

El territorio de La República de El Salvador tiene una extensión aproximada de 21,000km<sup>2</sup>, geográficamente ubicado entre las siguientes coordenadas:

- ✓ Latitud 13° 9´N / 14° 26´N
- ✓ Longitud 87° 43´E / 90° 08´E

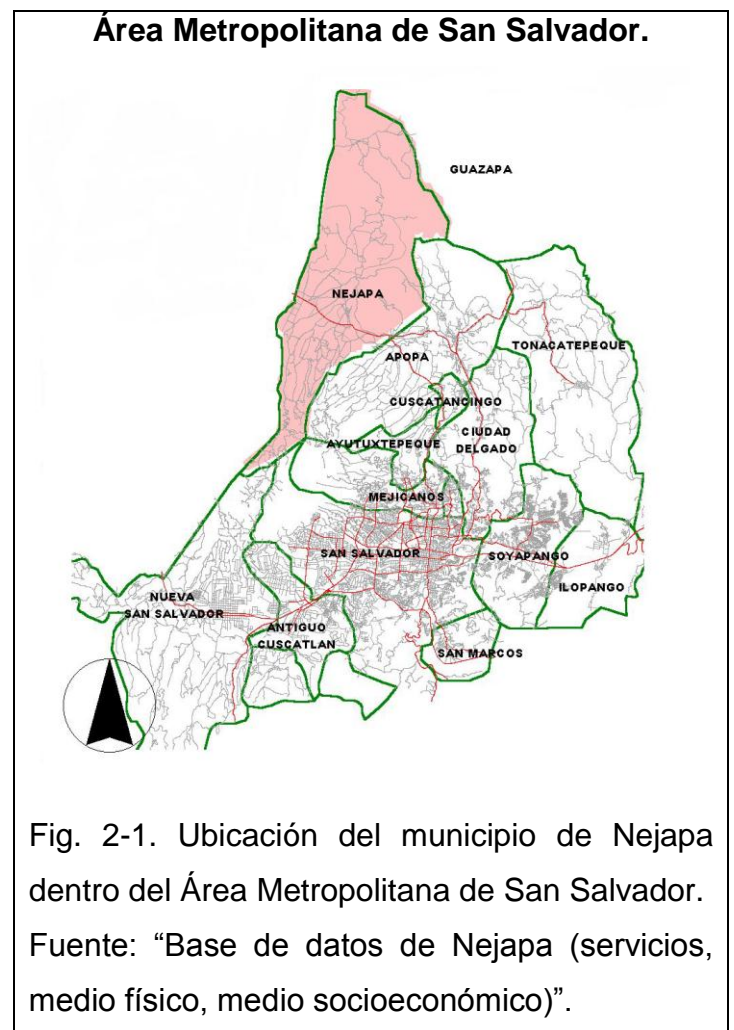
Situado en América Central limita al norte y al este con Guatemala, al norte y al oeste con Honduras, y al sur con el Océano Pacífico.

#### Ubicación Particular

El país está dividido en 14 departamentos, situándose el municipio de Nejapa en el

departamento de San Salvador. La ubicación geográfica del municipio al norte de la zona metropolitana de San Salvador puede verse en la Figura 2-1.

El municipio de Nejapa, tiene una extensión de 82.82 km<sup>2</sup>, con la altitud de la cabecera municipal a 450 msnm, se ubica a 21 km al norte del área metropolitana de San Salvador (Figura 2-1), perteneciendo al distrito de



Tonacatepeque y al departamento de San Salvador. El municipio de Nejapa está limitado por los siguientes municipios: al norte, por Quezaltepeque (departamento de La Libertad) y Aguilares; al este, por Guazapa y Apopa; al sur, por San Salvador y Nueva San Salvador (departamento de La Libertad); y al oeste, por Quezaltepeque (departamento de La Libertad).

El municipio de Nejapa está comprendido dentro de un área definida aproximadamente por las siguientes coordenadas geográficas:

N 13° 55' 30"	N 13° 55' 30"	N 13° 44' 00"	N 13° 44' 00"
W 89° 17' 00"	W 89° 10' 30"	W 89° 10' 30"	W 89° 17' 00"

En cuanto a la orografía del municipio de Nejapa, sus cerros principales son:

**Cerro Redondo o Tutultepeque:** Situado a 10.0 kilómetros al norte de la ciudad de Nejapa, cuya elevación es de 580.0 metros sobre el nivel del mar.

**Cerro Ojo de Agua:** Situado a 5.0 kilómetros al norte de la ciudad de Nejapa, cuya elevación es de 640.0 metros sobre el nivel del mar.

**Cerro Nejapa:** Situado a 2.0 kilómetros al este de la ciudad de Nejapa, cuya elevación es de 918.8 metros sobre el nivel del mar. En sus faldas nacen varias quebradas que desembocan en los ríos: Acelhuate, San Antonio y El Ángel.

### **2.1.2 Factores ambientales de Nejapa.**

Vegetación.

La vegetación es un factor fundamental dentro de la conservación de los suelos. Directamente ejerce un efecto de sujeción del mismo por medio de las raíces.



También evita que la lluvia incida directamente sobre el suelo y ponga en suspensión los elementos del mismo, llevándoselos del lugar; es decir, minimiza la acción erosiva del agua. Otro aspecto importante a considerar de la vegetación es que aumenta la capacidad de infiltración del agua hacia zonas profundas del suelo, aumentando los aportes de agua a los acuíferos subterráneos. Esto es así porque hace labor de retención del agua lluvia, disminuyendo la escorrentía superficial y la velocidad con la que el agua se desplaza por la superficie.

Las especies arbóreas más notables existentes en el área de estudio son: conacaste, castaño, amate, morro, madre cacao, nance, roble, níspero, ojushte, tambor, capulín de monte, mulo, zopilocuavo, chaparro, volador, cedro, ceiba, copinol, nacaspilos, café, copalchi, mango, aguacate, izote, limón, naranja, aguacate, marañón, mamón, Chaquito, eucalipto, laurel, guarumo, guachapilín, canelillo, pepeto, nance y crotolaria.

### **2.1.3 Factores climáticos de Nejapa.**

El clima en El Salvador.

Desde el punto de vista climatológico, El Salvador se encuentra situado en la parte exterior del Cinturón Climático de los Trópicos, caracterizado por tener unas propiedades térmicas casi constantes durante todo el año y dos estaciones muy marcadas, una lluviosa y otra seca. Las precipitaciones se concentran casi exclusivamente durante la estación lluviosa, si bien, dentro de ella pueden aparecer grandes oscilaciones. Sus valores máximos suelen darse unas semanas después del paso del sol por su cenit.

La estación seca se presenta durante el semestre invernal que comprende los meses de noviembre a abril, presentándose las máximas temperaturas al final de la misma, en el mes de abril, antes del comienzo de la estación lluviosa.

Otra característica del clima del país son los vientos Alisios, predominantes de rumbo aproximando NE y los vientos Nortes, que transportan aire frío procedente del Ártico hacia los trópicos. Se puede observar, también, un buen desarrollo del sistema que lleva aire del mar hacia tierra y sus zonas inmediatas.

Tabla 2.1 - Duración aproximada de las estaciones.

<b>Época del año</b>	<b>Principio</b>	<b>Final</b>	<b>Días</b>
Estación seca	14 noviembre	19 abril	157
Transición seca-lluviosa	20 abril	20 mayo	31
Estación lluviosa	21 mayo	16 octubre	149
Transición lluviosa-seca	17 octubre	13 noviembre	28

### **2.1.3.1 El clima en el municipio de Nejapa.**

Como el resto del país, Nejapa está dentro de la región climática de los trópicos semi-húmedos. Según la clasificación climática de Köppen (K. Köppen. Sistema de Clasificación Climática, 2000), el municipio de Nejapa se puede dividir, teniendo en cuenta su elevación respecto al nivel del mar, en tres zonas (Fig. 2-2):

Sabana tropical caliente o Tierra caliente: Corresponde a la mayor parte del municipio. Agrupa las zonas situadas entre los 200 y 800 m de altura sobre el nivel del mar, abarcando el área comprendida desde la desembocadura del río San Antonio en el Acelhuate a las faldas del volcán de San Salvador, incluyendo el Cerro de Nejapa hasta los 800 m.

Las temperaturas medias mensuales oscilan entre 22 y 28°C, con una precipitación media anual de 1600 a 1700 mm. Corresponde principalmente a los cantones de Tutultepeque, Galera Quemada, El Bonete, Camotepeque, Nejapa y Aldea de las Mercedes.

Sabana tropical calurosa o Tierra templada: Se trata de áreas con elevaciones entre 800 y 1200 m. Corresponde a la franja limitada por estas cotas en el volcán de San Salvador y la parte más alta del Cerro de Nejapa. En esta zona se registran temperaturas anuales de 19 a 21°C, siendo la precipitación media anual de 1800 mm. Comprende aproximadamente los cantones de El Salitre y Conacaste.

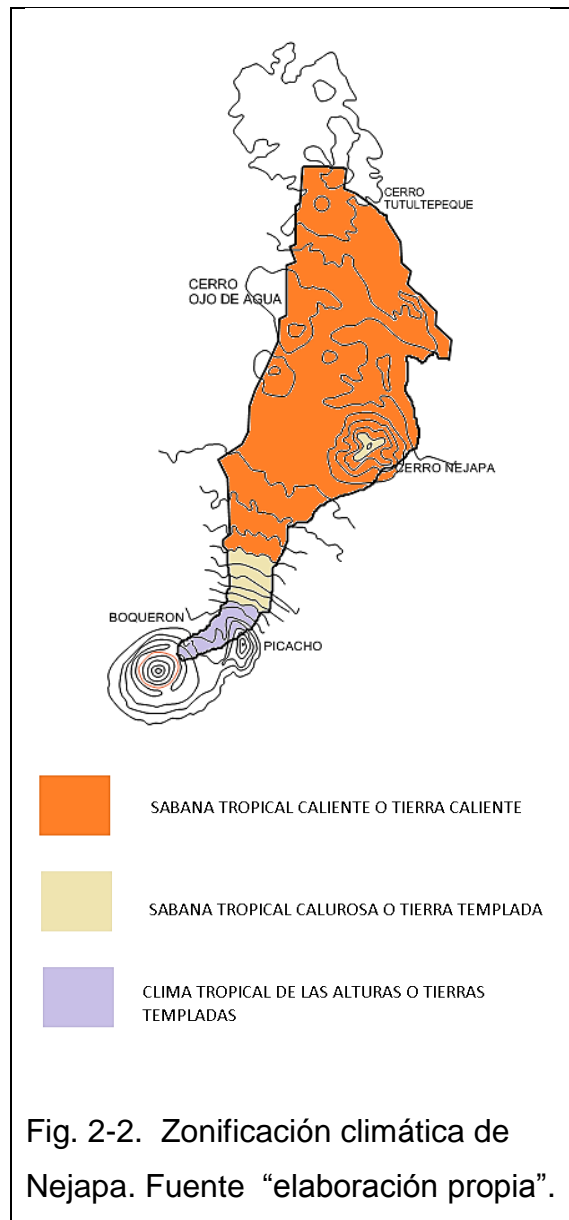


Fig. 2-2. Zonificación climática de Nejapa. Fuente “elaboración propia”.

Clima tropical de las alturas o Tierra Templada: Este clima es el de las elevaciones de 1200 a 1800 m. Dentro del área de estudio correspondería a las zonas más altas del volcán de San Salvador. Las variaciones de temperatura son de 16 a 19 °C, con escaso riesgo de heladas. El área definida comprende el volcán de San Salvador, San Jerónimo Los Planes y San Juan los Planes.

#### 2.1.4 Clasificación de los suelos.

Existen diversos sistemas de clasificación de suelos. La acción conjunta de los factores que condicionan la formación y evolución del suelo conduce al desarrollo de diferentes perfiles o tipos de suelos. La clasificación de los mismos puede basarse en diferentes criterios. Entre otros, podemos mencionar:

- Características intrínsecas del suelo, dependientes de los procesos genéticos que los desarrollan.
- Propiedades del suelo como permeabilidad, salinidad, composición y que se relacionan estrechamente con los factores de formación.
- Según su aptitud para diferentes usos, fundamentalmente agrícola.

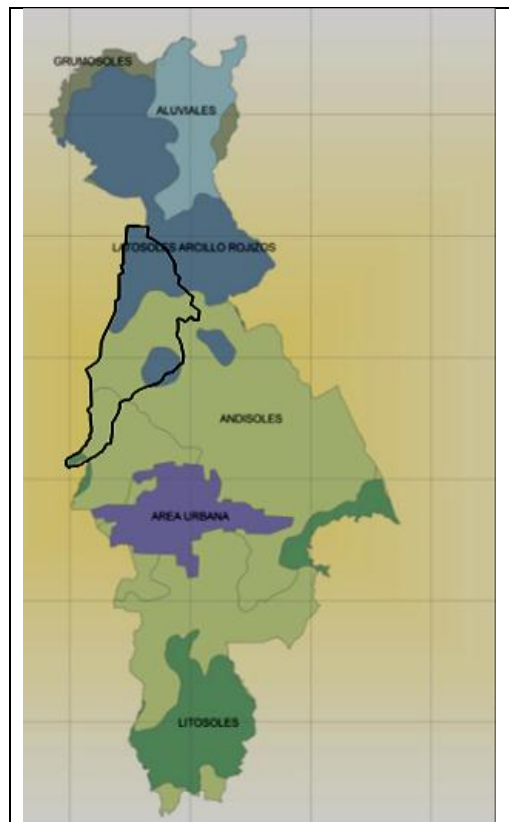


Fig. 2-3. Mapa pedológico de San Salvador. Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2012.

Los órdenes Pedológicos presentes en los suelos del municipio de Nejapa son los siguientes:

### **Andisoles.**

Suelos originados de cenizas volcánicas, de distintas épocas y en distintas partes del país, tienen por lo general un horizonte superficial entre 20 y 40 centímetros de espesor, de color oscuro, textura franca y estructura granular. Su capacidad de producción es de alta a muy alta productividad, según la topografía son suelos aptos para una agricultura intensiva mecanizada para toda clase de cultivos.

### **Latosoles arcillo – rojizos.**

Suelos arcillosos de color rojizo en lomas y montañas. Son bien desarrollados con estructura en forma de bloques con un color generalmente rojo aunque algunas veces se encuentran amarillentos o cafésosos.

Esta coloración se debe principalmente a la presencia de minerales de hierro de distintos tipos y grados de oxidación. La textura superficial es franco arcillosa y el subsuelo arcilloso.

La profundidad promedio es de un metro aunque en algunos sitios se observa afloración de roca debido a los procesos de erosión. La fertilidad puede ser alta en terrenos protegidos pudiendo utilizarse maquinaria agrícola cuando la pendiente es moderada. Son suelos aptos para casi todos los cultivos.

### **Litsoles.**

Suelos de muy poca profundidad sobre roca pura, son suelos muy complejos. La mayoría son suelos cuyos horizontes superficiales han sido truncados a causa de una severa erosión laminar o sea que la erosión ocurre en láminas y no en forma de cárcavas, son suelos arcillosos pero muy superficiales. Las texturas varían de gruesa, arenas y gravas hasta muy pedregosos sobre la roca dura. El uso potencial es muy pobre de bajo rendimiento.

### **2.1.5 Usos del suelo.**

Antes de describir los usos del suelo en el municipio de Nejapa, se describirán los diferentes tipos de suelos que se encuentran dentro del municipio. Los suelos que predominan se agrupan en las clases II, III, IV, VI, VII y VIII. Según las aptitudes de los suelos para el cultivo, las tierras de esta zona se clasifican en dos tipos generales: adecuadas para cultivos intensivos, bosques, praderas y otros (clases II, III y IV) y tierras de uso limitado y, generalmente, no adecuadas para cultivos intensivos (clases VI, VII y VIII). A medida que aumenta el número que identifica a cada clase de tierra, disminuye su vocación de uso agrícola y aumenta su vulnerabilidad al no ser utilizada bajo una permanente cubierta forestal (Tabla 2.2).

En el municipio de Nejapa, las tierras corresponden principalmente a las clases III, VI y VII, siendo las dos últimas las que ocupan aproximadamente la mitad del área total y que constituyen tierras con limitaciones muy severas para la implementación de cultivos agrícolas. La otra mitad es ocupada por tierras que tienen vocación agrícola (clases II, III y IV), con diferentes grados de facilidad en la aplicación de prácticas de manejo y conservación, y con diferentes limitaciones para su uso agrícola.

Tabla 2.2 - Clases de suelo y aptitudes para el cultivo (Base de datos de Nejapa).

<b>CLASE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>II</b>	Son tierras que requieren prácticas cuidadosas de manejo y moderadas prácticas de conservación, fáciles de aplicar. Sus limitaciones de uso son pocas. Permiten los cultivos de una gran diversidad de productos transitorios, semipermanentes, o perennes, requiriendo prácticas de manejo de más cuidado que los de la clase I, que son fáciles de aplicar, como es el caso cuando se hace necesario prevenir o controlar la erosión, si es que hay susceptibilidad; construir avenamientos en las áreas de drenaje moderado, lo cual beneficia al cultivo de plantas arbóreas, recoger las pocas piedras, y hacer las demás prácticas agronómicas usuales
<b>III</b>	Tierras que tienen algunas limitaciones para los cultivos intensivos y requieren prácticas y obras especiales de conservación costosas de aplicar. En esta clase ya se presentan problemas de erosiones moderadas en suelos muy profundos a profundos, de relieves planos a ligeramente planos, o moderadamente inclinados.
<b>IV</b>	Estas tierras tienen severas limitaciones que restringen la elección de plantas. Requieren cuidadosas prácticas y obras de manejo y conservación, las cuales a veces son difíciles y costosas de aplicar y mantener. Limitan la explotación económica a gran número de cultivos. Sin embargo, aplicando medidas muy rigurosas como manejo y conservación de suelos, se espera que ofrezcan rendimientos más altos. Igualmente, el control adecuado de inundaciones de tipo moderado permitirá alejar los riesgos de los cultivos y otras explotaciones agropecuarias sensibles a ese tipo de limitaciones.
<b>VI</b>	Son tierras con limitaciones muy severas que hacen inadecuado su uso para cultivos permanentes como frutales, bosques y pradera. Se requiere usar cuidadosas medidas de conservación y manejo. Las malas características que ofrece esta clase, en razón de las severas limitaciones, impone la necesidad de manejar y conservar los suelos con normas muy estrictas. Preferentemente, deberán ser áreas en donde se debe incrementar la vegetación permanente. Si es de pasto, por ningún motivo deberá haber sobre pastoreo, ya que esta práctica tiende a precipitar la erosión. Aquellas áreas donde la profundidad efectiva, la pendiente, la pedregosidad y textura, permitan la construcción económica de terrazas, podrán dedicarse a cultivos de semipermanentes o cultivos permanentes.
<b>VII</b>	Son tierras con limitaciones muy severas que las hacen inadecuadas para cultivos. Son aptas para vegetación permanente como bosque y pradera, los cuales requieren de un manejo muy cuidadoso. Estas tierras tienen limitaciones permanentes, pues, en general, son

	pendientes muy abruptas. Debido a las limitaciones tan graves que presenta esta clase, su uso se limita principalmente a la vegetación permanente y, en las áreas de pendientes menos abruptas y potreros, con muy cuidadoso manejo. En general, los suelos de esta clase requieren prácticas de manejo muy especiales en relación con la conservación de las cuencas hidrográficas y protección de la vida silvestre.
<b>VIII</b>	Tierras que no son aptas para el uso agrícola, y únicamente lo son para la vegetación permanente con fines de protección silvestre y de recreo.

Por la riqueza natural existente en el municipio de Nejapa, la actividad que más se desarrolla en sus tierras es la siembra y en especial el cultivo de la caña de azúcar, granos básicos y café. Importante destacar que al oeste se encuentran desarrollos de zonas industriales, que está actualmente cobrando un mayor auge. El uso actual del suelo en Nejapa (Fig. 2-4) está caracterizado por la agricultura de caña de azúcar y granos básicos, que representa el 60% de su uso. El 25% se utiliza para plantaciones de café y el 10% para vivienda. En la Tabla 2.3 se hace una distribución pormenorizada del uso del suelo en todo el municipio y el porcentaje que representa. Se puede constatar que en la ladera del volcán, en el Picacho y en el cerro Ojo de Agua, así como en un pequeña área en el este del cerro El Bonete y en Tutultepeque, se practica el cultivo del café, caracterizado por ser permanente y utilizar árboles para dar sombra al arbusto, lo que produce una cobertura vegetal que protege el suelo de los impactos directos de las gotas de lluvia. Igualmente, facilita la infiltración del agua, favoreciendo la recarga de los acuíferos subterráneos.



Tabla 2.3 - Usos del suelo en el municipio de Nejapa (Base de datos de Nejapa).

<b>Uso de Suelo</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje</b>
Baldío	0.15	0
Bosque Natural	3.29	3.66
Botadero	0.05	0
Café	18.53	23.17
Caña y Granos Básicos	46.51	57.32
Comercial	0.01	0
Frutales	1.96	2.44
Industrial	0.47	0
Industrial Artesanal	0.02	0
Institucional	0.48	0
Otro	1.2	1.22
Vivienda	8.9	10.98
Vivienda Proyectada	0.35	0
Zona Urbana	0.79	1.22

Sólo una pequeña área del municipio conserva parte del bosque original. Éste se encuentra principalmente en el Picacho y algunas zonas de fondo de quebrada, que por su mala accesibilidad, alta pendiente y tipo de terreno no han sido utilizadas para el cultivo. Así mismo, en el Cerro Ojo de Agua, y en el Cerro de Nejapa, debido al comercio y mal uso de la tierra, se ha podido comprobar cómo la vegetación natural va invadiendo los cultivos de café abandonados.

En los cerros de Tutultepeque, Mulunga, La Tabla y Las Mesas se encuentra un cultivo arbóreo de teca. Son plantaciones realizadas en zonas de altas pendientes y con una morfología lineal. En las zonas llanas del municipio se cultiva la caña de azúcar, situándose, en general, en una franja que recorre de sur a norte la parte central del municipio y que comienza en la base del volcán de San Salvador y acaba en Tutultepeque. Se trata de un cultivo en línea, que deja al suelo relativamente desprotegido después de la corta del mismo. A esto, hay que añadirle la costumbre de quemar la caña antes de su corta.

Debido a la presión demográfica existente en el municipio, se ha observado que el cultivo de los granos básicos se realiza en zonas de muy alta pendiente. El ejemplo más ilustrativo se puede encontrar en el cerro de Nejapa, donde los agricultores están trabajando el terreno de las laderas con una fuerte pendiente. Esto provoca una desprotección del suelo que, durante la época de lluvias, se traduce en el lavado y arrastre del material hacia el fondo de los valles (erosión), y en el consiguiente descalce de los bloques de basalto-andesita englobados en el mismo y que pueden llegar a rodar ladera abajo. Sólo unas pequeñas áreas en el norte del municipio se pueden considerar como zonas de matorral o potreros; las cuales suelen utilizarse como pasto para el ganado.

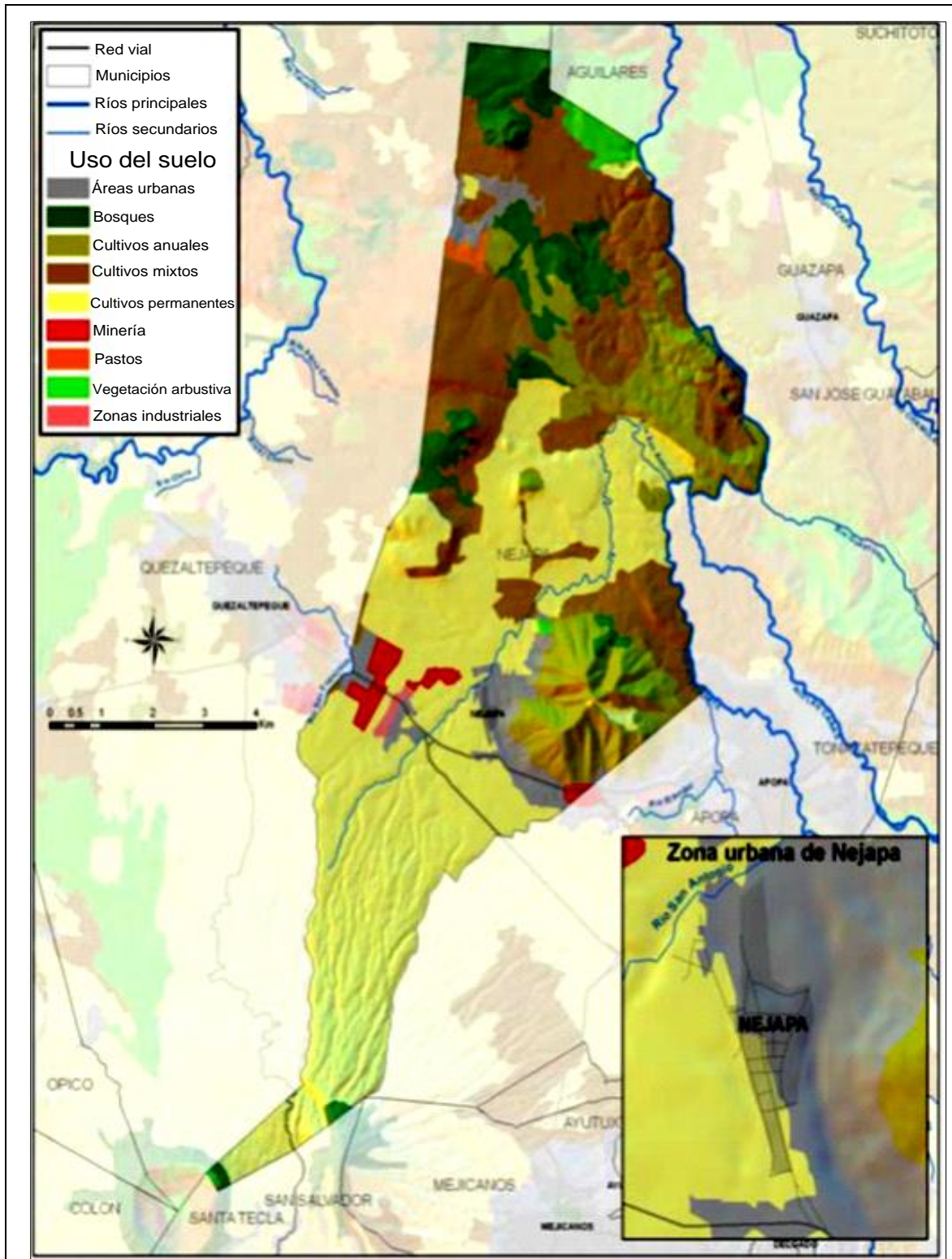
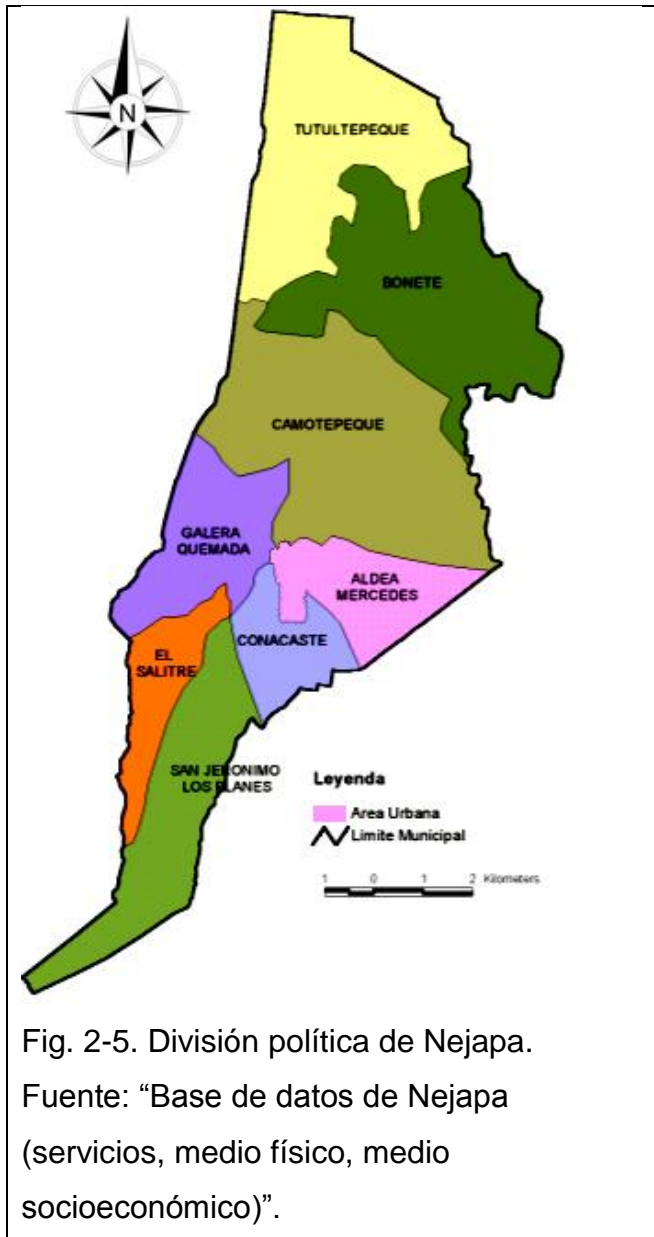


Fig. 2-4. Uso de suelo de Nejapa. Fuente: SNET

## 2.2 Desarrollo Urbanístico, Industrial y Agrícola de la Zona de Estudio.



### 2.2.1 Urbanizaciones y asentamientos humanos existentes.

El municipio de Nejapa tiene una tasa de crecimiento demográfico estimada en un 2.42%, colocándose como una de las más altas del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).

La dinámica demográfica del municipio de Nejapa es bastante regular en lo que a su distribución territorial se refiere, presentando características propias de incrementos en los niveles poblacionales en las cercanías del casco urbano, generados, sobre todo, por nuevos proyectos habitacionales y gente procedente de otros municipios. El municipio de

Nejapa está conformado por un total de 78 comunidades ubicadas dentro de 8 cantones (Fig. 2-5), distribuyéndose como se indica en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 – Cantones y comunidades del municipio de Nejapa (Base de datos de Nejapa).

<b>ZONA DEL CASCO URBANO</b>			
		<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>
<b>1</b>	Casco Urbano	Colonia Macance	Urbana
<b>2</b>		Barrio El Centro	Urbana
<b>3</b>		Col. San Felipe	Urbana
<b>4</b>		Barrio El Calvario	Urbana
<b>5</b>		Barrio Concepción	Urbana
<b>6</b>		Barrio El Rosario	Urbana
<b>7</b>		La Estación	Urbana
<b>8</b>		Barrio San Antonio	Urbana
<b>9</b>		Col. San Blas	Urbana
<b>10</b>		Col. Orantes	Urbana
<b>11</b>		Res. Las Mercedes	Urbana
<b>12</b>		Pasaje Vista Hermosa	Urbana
<b>13</b>	Aldea Mercedes	Sector 85	Urbana
<b>14</b>		Cuesta blanca	Suburbana
<b>15</b>		Col. Suchinanguito	Suburbana
<b>16</b>		Los Angelitos	Suburbana
<b>17</b>		El Cedral	Suburbana
<b>18</b>		El Llanito	Suburbana
<b>19</b>		Aldea Mercedes	Urbana
<b>20</b>		Lot. Los Osunas	Suburbana
<b>21</b>		Col. La Esperanza	Suburbana
<b>22</b>		Col. San Luis	Suburbana
<b>23</b>		Col. Los Tejadas	Suburbana
<b>24</b>		Col. San Jorge	Suburbana
<b>25</b>		Col. Los Ramos	Suburbana
<b>26</b>		Col. El Pitarrío	Suburbana
<b>27</b>		Col. El Nance	Suburbana

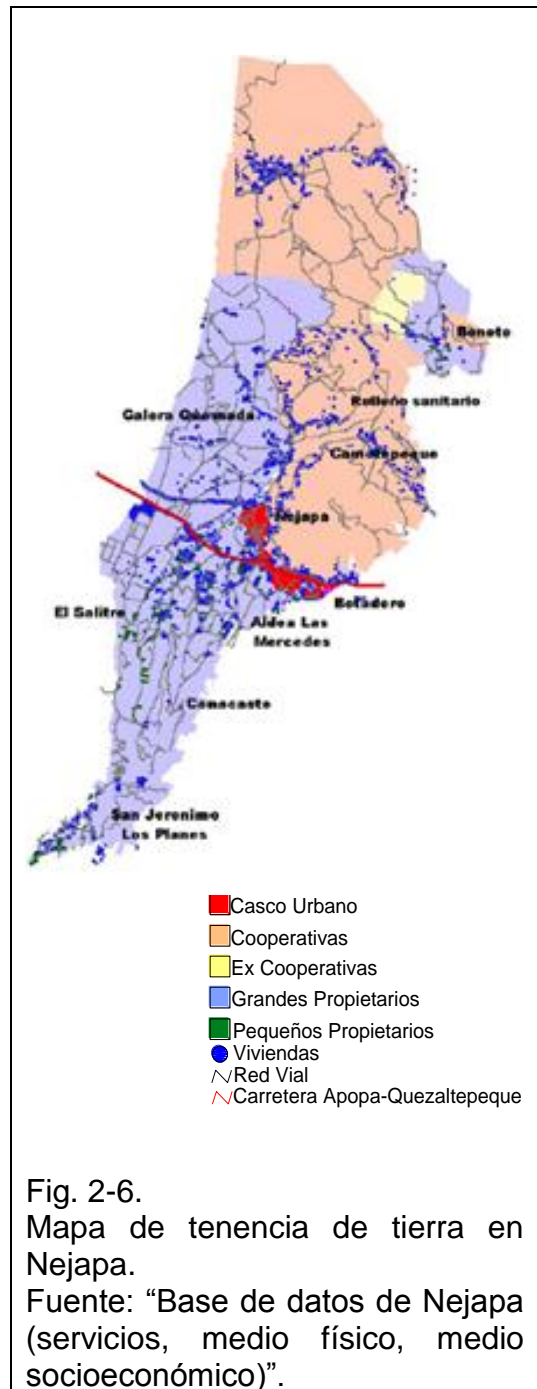
<b>ZONA INTERMEDIA</b>			
<b>28</b>	Galera Quemada	Calle Vieja Sector 2	Suburbana
<b>29</b>		Las Mesas	Rural
<b>30</b>		La Granada	Suburbana
<b>31</b>		El Cambio	Suburbana
<b>32</b>		Calle Vieja Sector 3	Suburbana
<b>33</b>		El Jabalí 1	Suburbana
<b>34</b>		Lot. Las Américas	Suburbana
<b>35</b>		Calle Vieja Sector 1	Suburbana
<b>36</b>		El Jabalí 2	Suburbana
<b>37</b>		Camotepeque	El Llano
<b>38</b>	Mapilapa		Rural
<b>39</b>	La Tabla		Rural
<b>40</b>	Las Vegas		Rural
<b>41</b>	Las Mariás		Rural
<b>42</b>	El Atonal		Rural
<b>43</b>	Barba Rubia		Rural
<b>44</b>	Joya Galana		Rural
<b>45</b>	La Portada		Rural
<b>46</b>	Los Naranjos		Rural
<b>47</b>	Las Mariíitas		Rural
<b>48</b>	Las Veguitas		Rural
<b>49</b>	El Chorizo		Rural
<b>50</b>	El Junquillo		Rural
<b>51</b>	El Sunza		Rural

<b>ZONA SUR</b>			
<b>52</b>	El Salitre	La Adelaida	Rural
<b>53</b>		La Escuela	Rural
<b>54</b>		La Ermita	Rural
<b>55</b>		Nuevo Ferrocarril	Suburbana
<b>56</b>		El Pacayal	Rural
<b>57</b>	San Jerónimo	La Escuela	Rural
<b>58</b>		Cajamarca	Rural
<b>59</b>	Conacaste	El Castaño	Rural
<b>60</b>		Las Mercedes	Suburbana
<b>61</b>		Castañito	Rural
<b>62</b>		Los Moranes	Suburbana
<b>63</b>		El Angelito	Suburbana
<b>64</b>		El Chorizo	Suburbana
<b>65</b>		Lot. Los Ortiz	Suburbana
<b>66</b>		Lot. San José	Suburbana
<b>67</b>		Col. Los Esquiveles	Suburbana
<b>ZONA NORTE</b>			
<b>68</b>	El Bonete	El Bonete	Rural
<b>69</b>		El Relámpago	Rural
<b>70</b>	Tutultepeque	El Chirinal	Rural
<b>71</b>		Casco Hacienda	Rural
<b>72</b>		El Puerto	Rural
<b>73</b>		El Mojón	Rural
<b>74</b>		San Luis	Rural
<b>75</b>		Las Vegas	Rural
<b>76</b>		El Gramal	Rural
<b>77</b>		Ceiba Arrozal	Rural
<b>78</b>		El Cabral	Rural

### 2.2.2 Industria predominante en la zona.

Económicamente, Nejapa se caracteriza por el predominio de actividades agrícolas aglutinadas en cooperativas, las cuales son propietarias en su conjunto de 39.69 Km<sup>2</sup> de suelo (51% del territorio municipal). La mayor parte de cooperativas están ubicadas en la zona norte e intermedia del municipio. Estas cooperativas son responsables de la mayor parte de la producción de caña de azúcar (Ingenios El ángel y La Cabaña), y una parte importante de café (Oyarzun) y granos básicos (agricultura local).

Los grandes propietarios tienen sus tierras en la ladera del volcán y en el medio oeste del centro del municipio, representando el 37% de la tierra. Se considera un gran propietario aquél que posee una extensión territorial superior a 10 manzanas. Es en la zona sur, en las faldas del volcán de San Salvador, donde las actividades económicas están relacionadas principalmente con la producción de café.





Sólo el 1% pertenece a pequeños propietarios, situándose éstos en la ladera del volcán, entre las tierras pertenecientes a los grandes propietarios de plantaciones de café.

Las principales actividades de la población en el casco urbano son las comerciales y de servicios (30%, En el comercio local existen tiendas, farmacias, ferreterías, zapaterías, librerías, comedores, tienda de artesanías, talleres, panaderías, carpinterías, entre otros.), siguiendo en importancia, las familias que viven principalmente de la agricultura. En la Figura 2-6 pueden verse la distribución de la tenencia de la tierra. La agricultura industrial es la actividad predominante en municipio de Nejapa, además de esta actividad, un pequeña parte del área total de Nejapa es ocupada para otras actividades industriales, como lo es la minería la cual se dedica a extraer arena, hormigón y material selecto que se ocupa para la construcción.

### **2.2.3 Agricultura predominante en la zona.**

El principal uso de la tierra en el municipio de Nejapa corresponde a los cultivos de pastos (principalmente caña de azúcar) y granos básicos.

Estas actividades se desarrollan al norte del casco urbano. El resto de los cantones al sur del municipio, corresponden a tierras cultivadas con café aledañas al volcán de San Salvador.

La caña de azúcar es cultivada básicamente en Galera Quemada y Hacienda Mapilapa. Los pastos y los granos básicos son cultivados en la zona de Camotepeque, El Naranjo y La Lagartera. El cultivo del café comprende principalmente el área entre el Picacho-El Boquerón y Galera Quemada,

incluyendo El Salitre, San Francisco, San Jerónimo Los Planes, San Juan Los Planes y Conacaste.

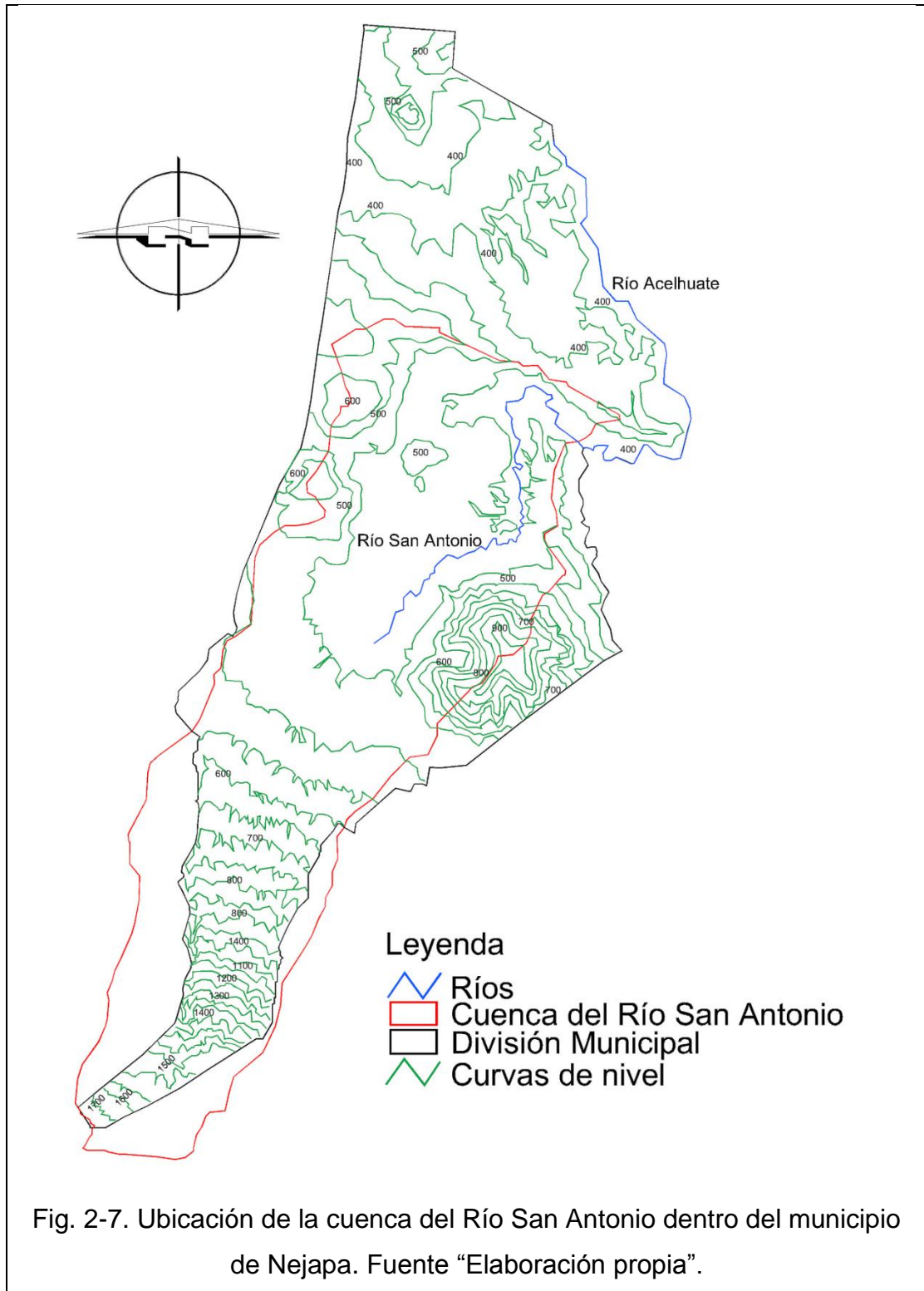
En el municipio de Nejapa se encuentran principalmente especies cultivables como: Maíz, Maicillo, Arroz, Caña de Azúcar, Café, Pepino, Ayote, Pipián, Frijol, Huerta. Además de diversas especies arbóreas tales como: Limón, Naranja, Aguacate, Mango, Marañón, Mamón Chaquiro, Eucalipto, Cedro, Madre cacao, etc.

### **2.3 Descripción de la Cuenca del Río San Antonio.**

#### **2.3.1 Delimitación topográfica de la Cuenca del Río San Antonio.**

La subcuenca del río San Antonio (Fig. 2-7) forma parte de la cuenca del río Acelhuate que, a su vez, desemboca en el río más importante del país, el Lempa. El río nace en el pueblo de Nejapa y recorre la zona llana del municipio hasta desembocar en el río Acelhuate.

El área de la cuenca es de 57.672 km<sup>2</sup> y limita al norte con el cerro Ojo de Agua (646 m) y por un escarpe de origen tectónico comprendido desde El Bonete hasta la loma El Quebracho (559 m), al oeste con loma Las Mesas (616 m), al sur con el volcán de San Salvador, este volcán tiene como chimenea en estado de inactividad al Boquerón (1893 m) y el Picacho (1960 m) al lado, y al este con el cerro de Nejapa (919 m). La elevación mayor está en el volcán de San Salvador (1960 m.s.n.m.) y la menor a 350 m.s.n.m., que corresponde a la desembocadura del río San Antonio en el río Acelhuate.



### **2.3.2 Condiciones hidrológicas de la Cuenca del Río San Antonio.**

El río San Antonio nace en el municipio de Nejapa. La primera parte de su recorrido discurre por la planicie que rodea la localidad en dirección norte, hasta llegar al escarpe de origen tectónico que limita el cantón El Bonete, a partir de este punto sigue su curso hacia el sureste hasta su desembocadura en el río Acelhuate.

El río San Antonio recibe aportes, tanto de las quebradas que tienen su nacimiento en el Boquerón, al sur, como de las quebradas que provienen del Cerro de Nejapa, al este, y las que se originan en los cerros Ojo de Agua y Las Mesas, al oeste.

La pendiente del tramo que discurre por la llanura es baja, dando una morfología meandriforme al río. En este tramo el lecho es predominantemente arenoso, si bien pueden aparecer tramos con grava y otros con limo. Esto revela continuos procesos geológicos de transporte y depósitos de materiales. De la misma manera, pueden aparecer tamaños superiores, como cantos rodados de varios centímetros o bloques, que provienen de los aportes de las quebradas en los momentos de mayor actividad de las mismas. Estos materiales también son transportados por el río en etapas de grandes avenidas.

### 2.3.2.1 Características hidrológicas físicas de la cuenca del Río San Antonio.

Tabla 2.5 - Características físicas de la cuenca del Río San Antonio.

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Área (km <sup>2</sup> )	57.67
Perímetro (m)	42,489.73
Elevación máxima (m)	1,810.00
Elevación mínima (m)	310.00
Desnivel máximo (m)	1,500.00
Longitud del cauce principal (m)	10,084.00
Diferencia máxima de elevación en el cauce principal (m)	120.00
Longitud máxima de la cuenca (m)	15,650.00
Número de corrientes de orden 4	1
Número de corrientes de orden 3	4
Número de corrientes de orden 2	16
Número de corrientes de orden 1	60
Número total de corrientes de todos los ordenes	81
Longitud media de corrientes de orden 4 (m)	10,470.00
Longitud media de corrientes de orden 3 (m)	2,775.00
Longitud media de corrientes de orden 2 (m)	2,255.00
Longitud media de corrientes de orden 1 (m)	1,364.00
Suma de la longitud total de todos los órdenes (m)	14,4925.00
Menor distancia entre el inicio y el fin del cauce principal (m)	5,155.00

### Relación de bifurcación.

La relación de bifurcación es la relación existente entre el número de segmentos de un orden dado y los del orden inmediato superior.

$$R_b = U_n / N_{u+1} \text{ (ecuación 2.1)}$$

Donde:

$R_b$  = Relación de Bifurcación

$U_n$  = Número de corrientes de orden "u"

$N_{u+1}$  = Número de corrientes del orden inmediato superior a "u"

Los valores de bifurcación obtenidos para las quebradas están comprendidos entre los valores 3 y 4, que se corresponden con los pertenecientes a áreas de montaña sin demasiada dependencia estructural.

En concreto, los valores obtenidos de la relación de bifurcación vienen a definir una cuenca bien jerarquizada ya que a lo largo de su trazado presenta relaciones de bifurcación homogéneas.

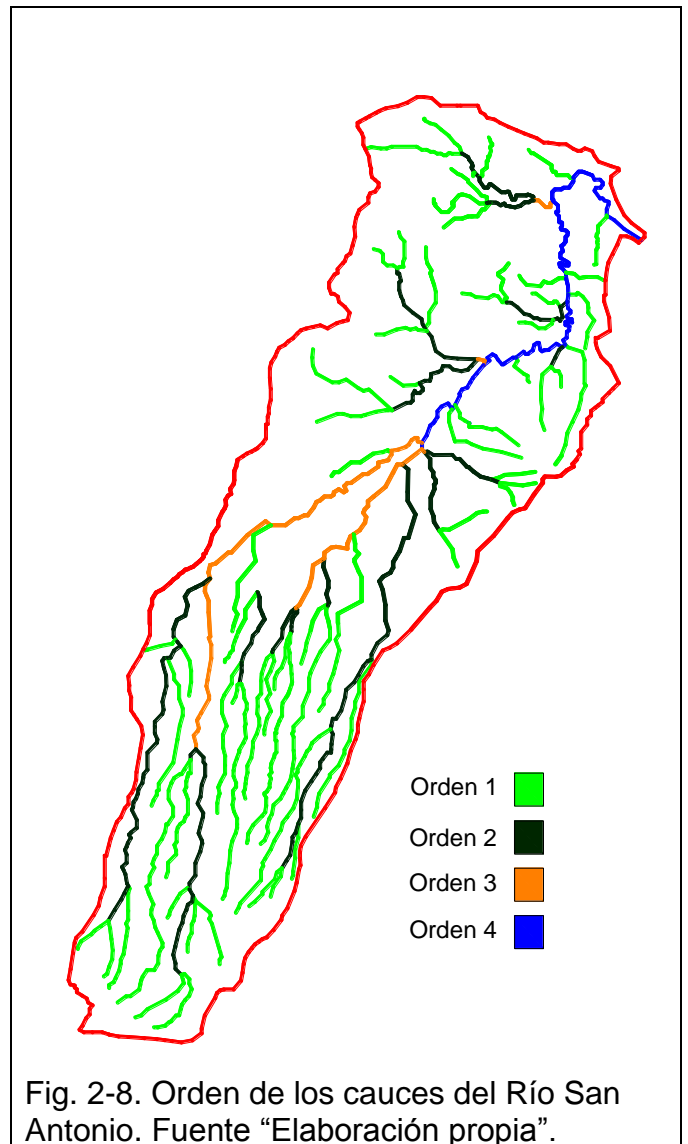


Tabla 2.6 - Relaciones de bifurcación.

<b>Cuenca del Río San Antonio</b>		
<b>Orden de corriente</b>	<b>Número de corrientes</b>	<b>Rb</b>
1	60	3.75
2	16	4.00
3	4	4.00
4	1	-
		3.92

Desde el punto de vista de la implicación hidráulica, estas relaciones de bifurcación indican un alto riesgo de inundación por concentración brusca de la escorrentía, la cual, en principio, presentaría un marcado retardo y alcanzaría un pico de crecida importante. Esto hace que sean potencialmente erosionables por acción lineal y sobre todo, laminar; siempre que exista un cambio brusco de las condiciones que mantienen la estabilidad actual, como son la pérdida de suelo o el cambio de nivel de base de la cuenca. En este caso las laderas expuestas están cubiertas por una vegetación permanente, si bien se trata de cultivos de café, existiendo árboles aislados que se mantienen por las exigencias del propio cultivo.

#### **Factor de forma o relación de elongación.**

Sala y Gay (SALA, M. y GAY, R. (1981): Notas de Geografía Física, Nº 4. Departamento de Geografía), definen este factor como la razón entre el diámetro de un círculo con el mismo área de la cuenca y la longitud del cauce principal de la misma. Cuanto más se acerca la razón al valor 1, más se aproxima la forma de la cuenca al círculo; cuanto mayor sea el valor hallado en esta relación, menos elongada será la cuenca.

Para calcular el valor de la relación de elongación se utiliza la fórmula de Schumm (Schumm, S.A; Geol. Soc. Am. Bull 1956):

$$R_e = A^{0.5} / L \quad (\text{ecuación 2.2})$$

Donde:

$R_e$  = Factor de forma o relación de elongación.

A = Superficie de la cuenca.

L = Longitud máxima de la cuenca.

Cálculo:

$$R_e = A^{0.5} / L$$

$$R_e = ((57,672,849.28 \text{ m}^2)^{0.5}) / 15,650 \text{ m}$$

$$R_e = 0.50$$

El valor máximo, para cuencas circulares es de 1.275. El valor obtenido para la cuenca en estudio es de 0.50, muy inferior al valor de una cuenca circular, lo que nos indica que es una cuenca elongada.

Este tipo de cuencas presentan un claro retardo de la concentración de la escorrentía, lo que da lugar a una mayor brusquedad de la crecida una vez concentradas las aguas.

#### **Factor de circularidad.**

Se trata de un parámetro que relaciona el área de la cuenca y el área de un círculo con igual perímetro.

$$R_c = (4\pi A) / p^2 \quad (\text{ecuación 2.3})$$



Donde:

$R_c$  = Factor de circularidad.

$A$  = Área de la cuenca.

$P$  = Perímetro de la cuenca.

Cálculo:

$$R_c = (4\pi A) / p^2$$

$$R_c = 4\pi (57,672,849.28 \text{ m}^2) / (42489.73 \text{ m})^2$$

$$R_c = 0.40$$

Si consideramos que el valor máximo, correspondiente a una cuenca circular, es 1, se puede observar que el valor resultante de 0.4, coincide con la conclusión obtenida a partir del factor de forma o relación de elongación, donde se definía a la cuenca como elongada.

### **Densidad de drenaje.**

Se considera este parámetro como uno de los más importantes en el análisis morfométrico, ya que describe el estado erosivo de la cuenca. Strahler A. (1964 "Geomorfología cuantitativa de las cuencas de drenaje y redes de canales", Manual de Hidrología Aplicada), lo define como la relación entre el sumatorio de la longitud total de los cauces de todos los órdenes y el área total de la cuenca.

$$D = \Sigma L_k / A_k \text{ (ecuación 2.4)}$$

Donde:

$D$  = Densidad de drenaje expresada en Km. de cauce por  $\text{Km}^2$ .

$\Sigma L_k$  = Suma de la longitud total de los cauces de todos los órdenes.

$A_k$  = Área total de la cuenca.

Cálculo:

$$D = \Sigma L_k / A_k$$

$$D = 144.925 \text{ km} / 57.67 \text{ km}^2$$

$$D = 2.5 \text{ km} / \text{km}^2$$

Para Strahler, los valores menores de 10, y en este caso el valor obtenido es de 2.5, indican una baja densidad de drenaje y una textura gruesa, lo que suele darse en zonas de gran masividad litológica y espesa cobertura vegetal, así como en materiales permeables y con alta infiltración. Según la interpretación de Morisawa (Morisawa (1985) - Rivers (Ríos), M. Morisawa, Longman, 1985.), los valores menores de 8 caracterizan a un suelo permeable o con roca resistente dentro de un clima lluvioso con vegetación abundante y una textura gruesa de la red.

La cuenca estudiada está situada dentro de un clima tropical cálido no desértico, con una estación lluviosa que aporta agua a la cuenca. Las rocas existentes en la zona son, en su mayor parte, basaltos-andesitas y piroclastos, presentando una permeabilidad de moderada a alta. Así mismo, la vegetación existente en la zona es abundante y de carácter permanente, tratándose de cafetales y árboles asociados a los mismos. Estas características concuerdan bastante con la interpretación que hacen Strahler y Morisawa para el valor obtenido de la densidad de drenaje en la zona.

### **Densidad de Corriente.**

Este es un indicador el cual nos permite conocer el grado de bifurcación de una cuenca, este coeficiente es expresado como la relación entre el número de corrientes totales, es decir de todos los órdenes sean estas perennes o intermitentes, entre el área de drenaje de la cuenca.

$$D_s = N_s / A \quad (\text{ecuación 2.5})$$

Donde:

Ns: Número de corrientes perennes e intermitentes.

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

Cálculo:

$$D_s = N_s / A$$

$$D_s = 81 / 57.67 \text{ km}^2$$

$$D_s = 1.40 \text{ Corrientes / Kms}^2$$

### **Pendiente del Cauce Principal.**

El cálculo de la pendiente media del cauce principal es un parámetro que nos permite apreciar el potencial que tiene un río para erosionar el lecho y las laderas por donde se conduce las aguas que discurren de manera permanente, inclusive durante la estación seca de una región.

Dadas las diferencias de nivel que se presentan a lo largo del recorrido del río, es necesario calcular una pendiente media de los diferentes tramos del cauce principal. La pendiente media es igual a la diferencia de nivel entre los extremos de la corriente, dividido entre la longitud medida en un plano horizontal que parte del extremo más elevado del cauce principal, al más bajo.

$$S = (H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}) / L \quad (\text{ecuación 2.6})$$

Donde:

S = Pendiente media del cauce principal.

H<sub>máx</sub> = máxima elevación del cauce principal.

H<sub>mín</sub> = menor elevación del cauce principal.

L = longitud en un plano horizontal.

Cálculo:

$$S = (H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}) / L$$

$$S = [(120.00) / 10084] \times 100$$

$$S = 1.19 \%$$

### **Pendiente Media de la Cuenca.**

La pendiente modifica la velocidad de drenado de la esorrentía superficial en la cuenca, por lo cual se ve afectado el tiempo de concentración de las aguas drenadas superficialmente a través de los diferentes lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de la cuenca, por lo que controla en gran medida la magnitud de las avenidas o crecidas.

La pendiente media puede estimarse a través de la siguiente fórmula:

$$S = D \cdot L_L / A \quad (\text{ecuación 2.7})$$

Donde:

$L_L$ : Longitud total de todas las curvas de nivel comprendidas dentro de la cuenca.

$D$ : Equidistancia entre curvas de nivel del mapa topográfico.

$A$ : Área de la cuenca.

Cálculo:

$$S = D \cdot L_L / A$$

$$S = [(0.1 \text{ km}) (55.267 \text{ km}) / (57.67 \text{ km}^2)] \times 100$$

$$S = 9.60 \%$$

La pendiente de la cuenca tiene una importante relación con la infiltración, el escurrimiento, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo del cauce. La pendiente media obtenida es debida principalmente a las

elevaciones del área sur de la cuenca, elevaciones pertenecientes a las quebradas tributarias al Río San Antonio que se originan en el volcán de San Salvador.

### **Elevación Media de la Cuenca.**

La elevación media de la cuenca tiene influencia fundamental en el régimen hidrológico, determina principalmente las formas de las precipitaciones que alimentan el ciclo hidrológico de la cuenca, cuyo efecto de distribución varía aún más en cuencas de gran área, es decir, la lluvia no se distribuye uniformemente. Esta es una elevación promedio de las diferentes elevaciones de existentes en la cuenca, estas elevaciones están referenciadas al nivel medio del mar.

a) Método de la elevación promedio:

$$H_m = (H_{m\acute{a}x} + H_{m\acute{i}n})/2 \quad (\text{ecuación 2.8})$$

Donde:

$H_m$ : Elevación media de la cuenca.

$H_{m\acute{a}x}$ : Elevación máxima de la cuenca.

$H_{m\acute{i}n}$ : Elevación mínima de la cuenca.

Cálculo:

$$H_m = (H_{m\acute{a}x} + H_{m\acute{i}n})/2$$

$$H_m = (1,810.00 \text{ m} + 310.00 \text{ m})/2$$

$$H_m = 1060.00 \text{ m.s.n.m.}$$

b) Método de la red de puntos:

Para este método es necesario generar al menos 100 puntos con elevaciones conocidas al interior de la cuenca, la elevación media será el promedio de los puntos intersección.

Tabla 2.7 - Puntos y elevaciones del método de la red de puntos.

Nº	Elev. (mts)	Nº	Elev. (mts)	Nº	Elev. (mts)
1	1750	45	610	89	420
2	1650	46	605	90	415
3	1575	47	510	91	480
4	1610	48	505	92	490
5	1580	49	490	93	480
6	1550	50	510	94	550
7	1565	51	520	95	490
8	1510	52	495	96	450
9	1490	53	450	97	410
10	1470	54	410	98	420
11	1490	55	490	99	405
12	1480	56	405	100	430
13	1450	57	490	101	600
14	1410	58	410	102	420
15	1415	59	395	103	410
16	1310	60	450	104	480
17	1315	61	550	105	430
18	1260	62	540	106	390
19	1210	63	610	107	450
20	1150	64	590	108	410
21	1080	65	580	109	420
22	1100	66	500	110	500
23	1090	67	495	111	450
24	1080	68	490	112	410
25	990	69	600	113	405
26	790	70	810	114	600
27	800	71	450	115	405
28	800	72	420	116	425
29	810	73	390	117	385
30	780	74	480	118	380
31	790	75	490	119	350
32	750	76	590	120	390
33	760	77	810	121	580
34	740	78	890	122	480
35	780	79	520	123	450
36	710	80	490	124	440
37	690	81	480	125	390
38	680	82	470	126	410
39	685	83	490	127	600
40	690	84	520	128	500
41	660	85	710	129	510
42	655	86	550		
43	610	87	490		
44	595	88	485		
Sumatoria	48355		23235		18510

$H_m = \sum \text{Elevación de cada punto} / \text{Número total de puntos}$  (ecuación 2.9)

$$H_m = (48355+23235+18510) / 129$$

$$H_m = 698.45 \text{ m.s.n.m.}$$

### **Índice de Compacidad de Gravelius.**

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca.

$$K_C = P / [2 \pi (A / \pi)^{1/2}] = 0.28P / A^{1/2} \quad (\text{ecuación 2.10})$$

En donde:

P: Perímetro de la cuenca en Km.

A: Área de drenaje de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

Cálculo:

$$K_C = 0.28P / A^{1/2}$$

$$K_C = 0.28 (42.48 \text{ km}) / (57.67 \text{ km}^2)^{1/2}$$

$$K_C = 1.56$$

Cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Una cuenca circular posee el coeficiente de compacidad mínimo = 1, y por el contrario mientras más irregular sea la cuenca, el coeficiente de compacidad será mucho mayor que la unidad. Se ha detectado una mayor tendencia a las crecidas en la medida en que este número se aproxima a la unidad. El valor obtenido de 1.56 nos indica que la forma de la cuenca es irregular, esta valor es confirmado por el factor de circularidad el cual nos indica que es una cuenca con forma elongada.

### **Sinuosidad del Cauce Principal.**

La sinuosidad de un río es el índice que representa cuanto el cauce del río se aparta de una línea recta. Se mide por la relación entre la longitud del cauce principal, y la distancia en línea recta del valle del cauce principal. Un cauce en línea recta tiene una sinuosidad de 1.0, mientras que se describen los ríos como meándricos cuando la sinuosidad es mayor de 1.5 (Mueller, Jerry 1968, Introducción a la Sinuosidad Hidráulica y Topográfica. Asociación Americana de Geógrafos.).

$$S_i = L_c / L_t \quad (\text{ecuación 2.11})$$

Donde:

$S_i$ : Sinuosidad del cauce principal.

$L_c$ : longitud del cauce principal.

$L_t$ : longitud del valle del cauce principal.

Cálculo:

$$S_i = L_c / L_t$$

$$S_i = 10,084.00 \text{ m} / 5,155.00 \text{ m}$$

$$S_i = 1.96$$

El valor obtenido para la sinuosidad del cauce principal del Río San Antonio es de 1.96 el cual nos indica que este es un cauce con una sinuosidad pronunciada, dando como resultado un alto grado de erosión de las riveras de la corriente natural, el efecto de erosión se ve más acentuado en la zona norte del río, donde se desarrolla una curvatura muy pronunciada antes de desembocar al Río Acelhuate.



Tabla 2.8 – Resumen de las características físicas del Río San Antonio.

<b>Características Físicas.</b>	
Relación de bifurcación.	3.92
Orden de las Corrientes	4
Forma de la Cuenca.	Elongada (Nervada)
Factor de Forma.	0.50
Factor de circularidad.	0.40
Densidad de Drenaje.	2.5 km / km <sup>2</sup>
Densidad de Corriente.	1.40 Corrientes / Kms <sup>2</sup>
Pendiente del Cauce Principal.	1.19 %
Pendiente Media de la Cuenca.	9.60 %
Índice de Compacidad de Gravelius.	1.56
Sinuosidad del Cauce Principal.	1.96
Elevación Media de la Cuenca:	
-Método A: Promedio Aritmético.	1060.00 m.s.n.m.
-Método B: Red de Puntos.	698.45 m.s.n.m.

### **2.3.3 Condiciones geológicas predominantes de la Cuenca del Río San Antonio.**

#### **2.3.3.1 Marco geológico de El Salvador.**

Resultado de la subducción en dirección NE de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe, se genera la cadena volcánica centroamericana que se extiende desde Guatemala hasta Costa Rica con una longitud de 1,100 Km., situándose El Salvador aproximadamente en la parte central. La compresión producida por la subducción genera un intenso fallamiento en todo el país y es también el origen de la acentuada actividad volcánica y sísmica. Por esta razón, la geología general del país se define por la masiva presencia de rocas volcánicas

y su morfología por la alternancia de edificios volcánicos elevados sobre las planicies. El Salvador es, desde el punto de vista geológico, un país extremadamente joven si se considera que una cuarta parte del territorio nacional es de edad pleistocena y tres cuartas partes están cubiertas por rocas de edad terciaria, predominando las de época pliocena.

Los terrenos más antiguos son de edad cretácica y cubren aproximadamente un 5% del territorio salvadoreño. Únicamente estos últimos son de origen sedimentario marino, las demás rocas, con pocas excepciones, están originadas por fenómenos volcánicos. En algunos puntos aparecen, además, rocas intrusivas que pertenecen a la época miocena (terciarias).

A continuación se describen las principales formaciones que aparecen en El Salvador.

### **Rocas Sedimentarias.**

Se trata de una sucesión de rocas sedimentarias marinas, formada por rocas clásticas y calizas que sólo aparecen en el extremo NW cerca de Metapán, donde cubren un área aproximada de 200 km<sup>2</sup>. Estos materiales han sido datados mediante fósiles y pertenecen principalmente al Albiense-Medio (Cretácico), aunque afloran también materiales del Jurásico.

Aparte de estas series marinas, en el país sólo se conocen rocas sedimentarias lacustres y fluviales que tienen extensiones muy limitadas. Se trata de productos piroclásticos redepositados de menor importancia y algunos depósitos de diatomita y lignito de carácter calcáreo.

Estos sedimentos lacustres y fluviales cuentan con intercalaciones de productos piroclásticos, lo que indica que son contemporáneos a la actividad volcánica joven, también se encuentran aluviones recientes a lo largo de los ríos más

importantes y en depresiones locales, sobre todo, en las planicies costeras de la parte suroeste y sureste donde cubren un área aproximada de 3.5 km<sup>2</sup>.

### **Rocas Volcánicas.**

La mayor parte del territorio nacional está cubierta por rocas de origen volcánico de carácter riolítico a basáltico. Al norte de los ríos Lempa y Torola afloran rocas de carácter ácido, se trata de productos piroclásticos que litológicamente se consideran de riolitas a dacitas, una gran parte de El Salvador está cubierta por una serie volcánica que consiste en una sucesión compuesta de andesitas a basaltos hasta aglomerados de carácter andesítico, el espesor de esta sucesión es mayor de 1,500 m. Estos tipos de rocas forman algunas regiones como la Sierra Tacuba, la Cordillera del Bálsamo, la Cordillera Jucuarán-Intipucá y la parte norte de Santa Ana.

Las formaciones volcánicas hasta aquí descritas se presentan siempre en forma de extensiones considerables, sin que haya sido posible reconocer los centros de actividad volcánica que produjeron estas series, también existen en El Salvador formaciones volcánicas originadas por un vulcanismo individual, en las que es fácil localizar el centro de actividad. Se distinguen dos zonas volcánicas de este tipo:

- La primera, al sur de las montañas del norte en forma de faja de volcanes individuales que atraviesa toda la República. A esta franja pertenecen, por ejemplo, el Volcán de Guazapa y el Volcán Cacahuatique. Éstos se caracterizan por su alto grado de erosión. Sus productos efusivos son lavas de carácter predominantemente basáltico y tobas con diferente grado de consolidación.

- La segunda zona de volcanes individuales se halla al Sur y se orienta paralelamente a la anterior. A esta faja pertenecen más de 50 volcanes, tales como: Laguna Verde, Santa Ana, Izalco, San Salvador, San Vicente, Tecapa, San Miguel y Conchagua, algunos de los cuales todavía se encuentran activos. Existen también depresiones volcano-tectónicas, tales como los Lagos de Ilopango y Coatepeque. El carácter de las lavas originadas es basáltico y la mayoría de los productos piroclásticos son de carácter dacítico. También se conocen productos piroclásticos de erupciones lineares (fisurales) como los que se encuentran cerca de Zaragoza y Comalapa.

El vulcanismo Sur es más variado que el de la zona Norte, sin embargo, en ambas zonas, el tipo de estructura volcánica predominante es la de estratovolcanes.

### **Rocas Intrusivas.**

En las montañas de la zona norte entre Metapán y Chalatenango, se conocen rocas intrusivas de carácter granítico-diorítico. En el lugar de contacto de éstas últimas con las series sedimentarias marinas, existe un metamorfismo de contacto que puede ser observado en los niveles calcáreos. Al sur, desde San Miguel hasta San Isidro, se encuentran afloramientos de carácter muy ácido. La característica principal de estos afloramientos es que corren paralelos a las fajas volcánicas y están conectados a yacimientos metalíferos sub-volcánicos que se encuentran bajo las cubiertas basalto-andesíticas.

### 2.3.3.2 Marco geológico de la Cuenca del Río San Antonio.

La geología del municipio de Nejapa, al igual que la del resto del país, está caracterizada por la presencia casi exclusiva de rocas volcánicas, procedentes de las erupciones de los volcanes que aparecen diseminados por todo el territorio salvadoreño. Wiesemann G. (“Observaciones sobre la estructura geológica de la República de El Salvador, Centro América” 1975), establece tres formaciones geológicas que afloran en esta cuenca (Fig. 2-9), las cuales se describen de la más antigua a la más reciente:

- **Formación Bálsamo:** son rocas tipo ácido en las partes bajas e intermedias y básicas en la parte superior de la formación, pertenecientes al Plioceno, y está conformada por dos miembros denominados b1 y b3.
  - Miembro b1: constituido por epiclastitas volcánicas, piroclastitas e ignimbritas con lapilli de pómez y limo rojo. Se encuentran además intercalaciones de lavas efusivas básicas intermedias.
  - Miembro b3: constituido únicamente por rocas efusivas básicas-intermedias.
- **Formación Cuscatlán:** se describe como una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas del Plio-Pleistoceno. Los miembros de esta formación son el c1 y el c3.
  - Miembro c1: formado por tobas de lapilli con pómez y fragmentos líticos de lavas dacíticas vítreas y andesitas, inmersas en una matriz de cenizas finas no estratificadas.
  - Miembro c3: compuesto por rocas volcánicas de tipo andesítica y basáltica. Baxter (“Léxico Estratigráfico de El Salvador “,1984), asocia los productos de este último miembro como resultado de un estratovolcán erosionado.

- **Formación San Salvador:** compuesta por una secuencia de piroclastitas ácidas y efusivas ácidas-básicas intercaladas. Su edad es Pleistoceno Superior a Holoceno. El 80% del área de estudio está cubierto por materiales pertenecientes a esta formación y los miembros aflorantes son: s2, s3'a, s4, s5'b y Qf.
  - El miembro s2 está compuesto por una secuencia de coladas lávicas andesítico-basálticas, tanto en forma lajeada como escoriácea y presenta piroclastos intercalados.
  - El miembro s3'a está constituido por una secuencia de piroclastitas ácidas y epiclastitas subordinadas, denominadas comúnmente “Tobas color café”, las cuales en las cercanías del volcán de San Salvador presentan intercalaciones de escoria negra y capas de suelos desarrollados en diferentes horizontes.
  - El miembro s4: está formado por una secuencia de piroclastitas ácidas, lapilli, pómez y cenizas volcánicas y es denominado comúnmente como “Tierra Blanca”.
  - El miembro s5'b: está compuesto por conos de escorias y en el sector del Boquerón por andesitas con fenocristales de labradorita, olivino y augita. Por su parte, los depósitos sedimentarios del Cuaternario (Qf) están constituidos principalmente por depósitos coluviales.

A continuación se detallan algunas de las propiedades de los materiales geológicos agrupados (Tabla 2.9), a los que se les definirán principalmente su resistencia, su cohesión, permeabilidad y grado de alteración, parámetros que caracterizan tanto la matriz como las discontinuidades, en el caso de los materiales rocosos.

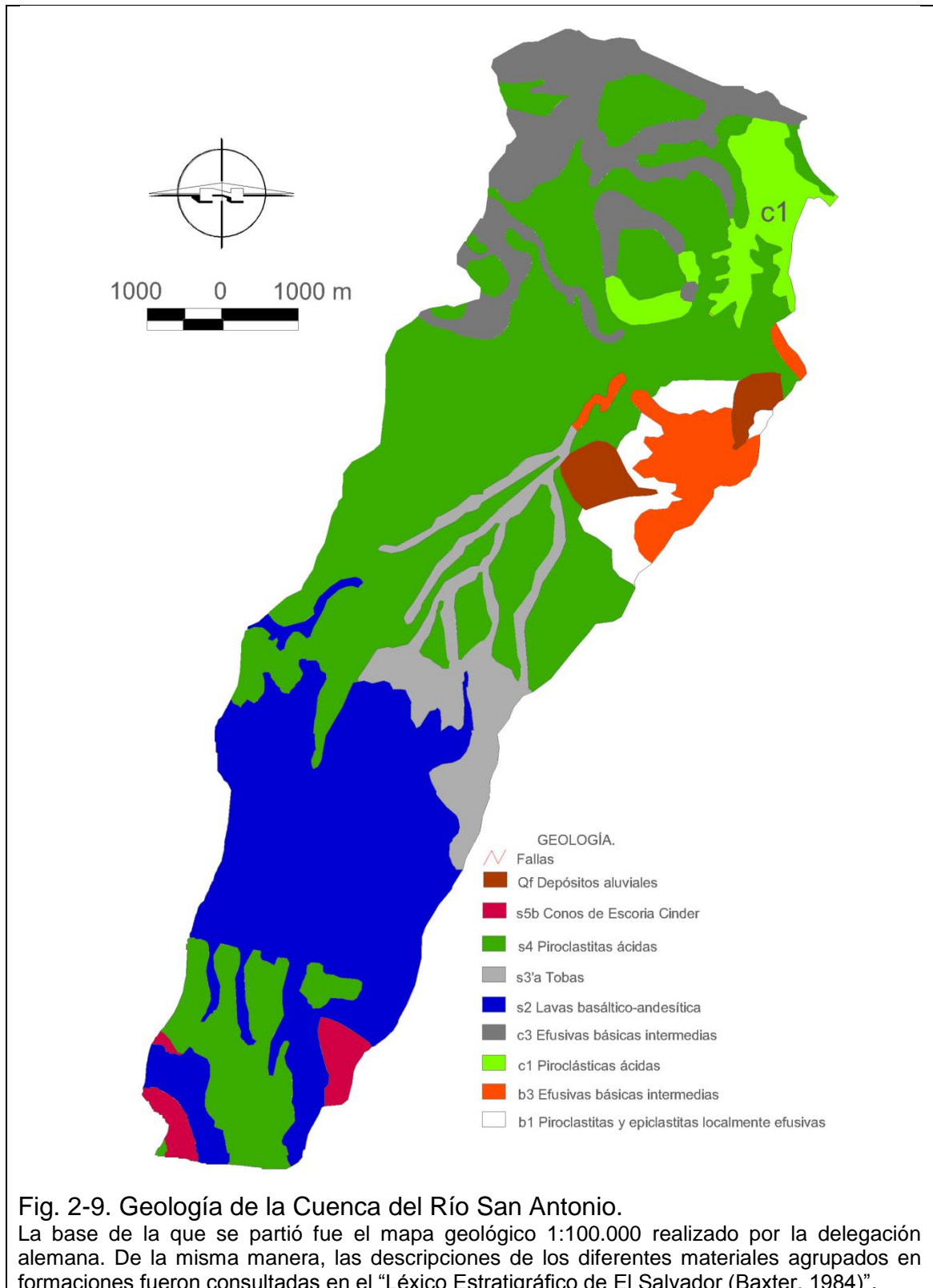


Tabla 2.9 - Resumen de las características de las distintas formaciones geológicas.

<b>Geología</b>	<b>Características</b>
Basaltos-andesitas con piroclastos y tobas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rocas duras (lavas), alternadas con materiales de menor competencia (piroclastos y tobas).</li> <li>- Fracturación alta (cruce de dos o más fracturas).</li> <li>- Muy alterada.</li> <li>- Permeabilidad baja.</li> </ul>
Basaltos-andesitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rocas duras.</li> <li>- Fracturación alta (cruce de dos o más fracturas).</li> <li>- Muy alterada.</li> <li>- Permeabilidad secundaria alta.</li> </ul>
Basaltos-andesitas con piroclastos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rocas duras (lavas) alternadas con materiales de menor competencia (piroclastos).</li> <li>- Fracturación alta (cruce de dos o más fracturas).</li> <li>- Muy baja alteración.</li> <li>- Alternancia de materiales de distinta competencia.</li> <li>- Permeabilidad primaria nula, permeabilidad secundaria muy alta.</li> </ul>
Tobas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rocas blanda.</li> <li>- Ausencia de fracturación o alguna fractura individualizada, generada por la acción de las raíces.</li> <li>- Baja alteración (más alta en el lecho del río).</li> <li>- Permeabilidad media-baja o baja.</li> </ul>
Escorias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suelo.</li> <li>- Cohesión nula y alto ángulo de rozamiento.</li> <li>- Ausencia de fracturación.</li> <li>- Permeabilidad muy alta.</li> </ul>
Cenizas volcánicas (Tierra blanca)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suelo.</li> <li>- Cohesión muy baja o nula, ángulo de rozamiento (38°).</li> <li>- Ausencia de fracturación o alguna fractura individualizada, generada por la acción de las raíces.</li> <li>- Permeabilidad media a baja</li> </ul>
Depósitos sedimentarios del Cuaternario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suelo.</li> <li>- Ausencia de fracturación.</li> <li>- Permeabilidad alta a media.</li> </ul>



### **2.3.4 Hidrogeología de la Cuenca del Río San Antonio.**

El área de estudio está muy relacionada geológicamente con el complejo del volcán de San Salvador. Las características hidrogeológicas están condicionadas por la naturaleza, espesor y relación entre los estratos de lava y piroclastos provenientes de éste, los flujos de lava intercalados con tobas y piroclastos pumíticos, son generalmente de tipo básico y están dispuestos radialmente entorno al cono del volcán, con espesores que varían desde unos pocos metros hasta más de 50 m.

Las dos formaciones hidrogeológicas más importantes en la zona son:

- Formación San Salvador: Se trata de lavas, tobas y piroclastos, pertenecientes al cuaternario volcánico (Holoceno reciente).
- Formación Cuscatlán: Formada por lavas, tobas piroclastos, pertenecientes al terciario-cuaternario volcánico (Plioceno-Pleistoceno).

#### **Formación San Salvador.**

Conforma el acuífero de Nejapa y está formada por:

- Depósitos sedimentarios formados por conos de deyección y material aluvial en los ríos. No son muy extensos, pero tienen una porosidad buena y una permeabilidad alta a media. Por sí solos no forman una unidad acuífera, por su escasa extensión, pero sí son una zona de recarga en función de su conexión con otros acuíferos.
- Cenizas dacíticas o tierra blanca con inclusión de piedra pómez predominando en la parte central del municipio, aunque se pueden encontrar en todo el territorio. Tienen una buena porosidad y una permeabilidad media a baja en

función de la granulometría predominante. En general, forman acuíferos de bajo rendimiento.

- Tobas de color café, en forma de franjas estrechas que bajan desde la ladera del volcán, y cubren parte del área central del municipio. Tienen una porosidad buena y una permeabilidad media-baja. Forman acuíferos de bajo rendimiento.
- Lavas básicas-intermedias (basaltos y andesitas) que provienen del volcán de San Salvador y que cubren parte de sus laderas. La porosidad es casi nula y su permeabilidad primaria también, en cambio, tiene una permeabilidad secundaria muy alta, debido a la presencia de una gran cantidad de fisuras. Pueden formar acuíferos de alto rendimiento.

### **Formación Cuscatlán.**

Estos materiales dan lugar a un acuífero de rendimiento medio conectado al acuífero de Nejapa. Esta formación está compuesta por:

- Lavas básicas e intermedias y piroclastos en los cerros más septentrionales. Tienen una buena permeabilidad secundaria por fisuración y son acuíferos con rendimiento medio-alto.
- Epiclastitas volcánicas y piroclastitas que rellenan zonas aisladas en la parte norte del área de estudio y, en mayor proporción, el cauce del río Acelhuate. Tienen una porosidad y permeabilidad más baja que las de la formación San Salvador, ya que están más compactadas.

# **CAPÍTULO III**

## **PRUEBAS DE CAMPO**

### **3.1 GENERALIDADES SOBRE LA PERMEABILIDAD EN LOS SUELOS.**

Se dice que un material es permeable cuando contiene vacíos interconectados, estos vacíos existen en todos los suelos, incluyendo las arcillas más compactas y el granito sano, por lo tanto dichos materiales son permeables. La circulación de agua a través de la masa de estos obedece aproximadamente a leyes idénticas, de modo que la diferencia entre una arena limpia y un granito, es en concepto, solo una diferencia de magnitud.

Tomando en cuenta esto los suelos y las rocas no son sólidos ideales, sino que forman sistemas con 2 ó 3 fases: partículas sólidas y gas, partículas sólidas y líquidas, o bien, partículas sólidas, gas y líquido. El líquido es normalmente agua y el gas se manifiesta a través de vapor de agua. Por lo tanto se habla de medios porosos. A estos medios se los caracteriza a través de su porosidad y a su vez esta propiedad condiciona la permeabilidad del medio o del material en estudio.

La permeabilidad de los suelos se define como la capacidad de un suelo de transmitir o permitir el paso del agua, tiene un efecto decisivo sobre el balance hídrico de una región, ya que a través de la permeabilidad de una formación geológica se determina el grado de infiltración del agua a través de los suelos, que viene a formar parte de la recarga hídrica de un acuífero, de allí la importancia de su estudio y determinación. En un suelo real es normal que los minerales de fracciones muy finas y coloidales tengan su peso específico mayor que los minerales de la fracción más gruesa. A mayor peso específico será menor la permeabilidad, siendo los factores más determinantes:

- La relación de vacíos del suelo.
- La estructura y estratificación del suelo.

- Tamaño de las partículas.
- Grado de saturación.
- Polaridad.
- Densidad Relativa.
- Peso específico.

### 3.1.1 Métodos para la determinación de la permeabilidad del suelo.

Para la estimación de la tasa de infiltración en campo se utilizó el método de Porchet, sin embargo existen diferentes métodos; los ensayos de laboratorio, los efectuados en el lugar y los métodos empíricos, donde el valor de k es obtenido indirectamente a través de relaciones empíricas con otras propiedades de los suelos, a continuación se resumen los distintos métodos:

Tabla 3.1 – Métodos para determinar la permeabilidad de un suelo.

MÉTODOS	ENSAYO
DIRECTOS	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Permeámetro de carga constante.</li> <li>2. Permeámetro de carga variable.</li> </ol>
INDIRECTOS	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calculo a partir de la curva granulométrica.</li> <li>2. Calculo a partir de la prueba de consolidación.</li> <li>3. Calculo con la prueba horizontal de capilaridad.</li> </ol>
INSITU	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prueba de agotamiento y recuperación <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prueba de perforación entubada.</li> <li>• Prueba de perforación no entubada.</li> </ul> </li> <li>2. Prueba de infiltración. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagunas de infiltración</li> <li>• Infiltrómetro de doble anillo.</li> <li>• Método de Bouwer.</li> <li>• Método de Porchet.</li> <li>• Pruebas de inyección o extracción de agua (SlugTest).</li> </ul> </li> </ol>

### 3.1.2 Metodología para la estimación de la tasa de infiltración.

Para la estimación de la tasa de infiltración mediante el método de Porchet, se debe excavar un cilindro de radio  $R$  y llenarlo con agua hasta una altura  $h$  (ver Figura 3-1). La superficie a través de la cual se infiltra agua es:

$$S = \pi \cdot R \cdot (2h + R) \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Para un tiempo, " $dt$ " suficientemente

pequeño para que pueda suponerse que la capacidad de infiltración, " $k$ ", es constante, para lo cual se verificará la igualdad:

$$\pi \cdot R \cdot (2h + R)k = -\pi \cdot R^2 \frac{dh}{dt} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Simplificando y separando variables:

$$k \cdot dt = -R \frac{dh}{2h+R} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Integrando la ecuación anterior y evaluando para " $t_1$ ", " $t_2$ ", " $h_1$ " y " $h_2$ " se tiene finalmente:

$$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right) \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

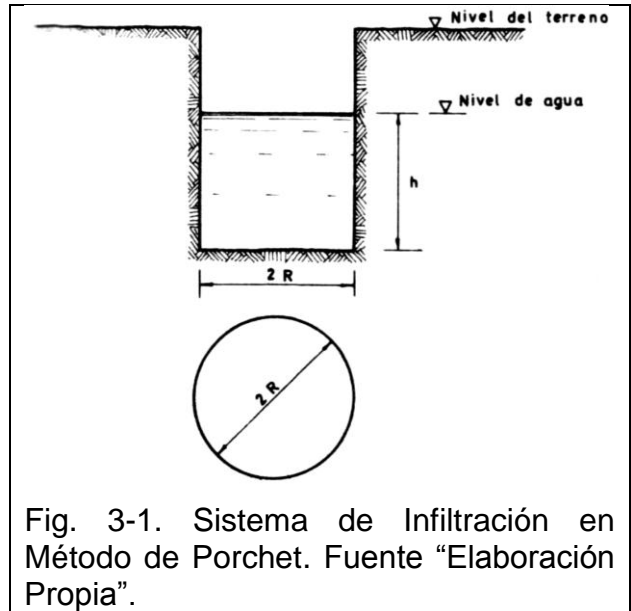


Fig. 3-1. Sistema de Infiltración en Método de Porchet. Fuente "Elaboración Propia".

Así pues, para determinar “k”, basta con medir pares de valores (h1, t1) y (h2, t2), de forma que “t2”y “t1”no difieran demasiado ( $1 \text{ min} \leq t \leq 5 \text{ min}$ ) y luego evaluarlo en la expresión anterior.

### **3.1.2.1 Procedimiento de campo.**

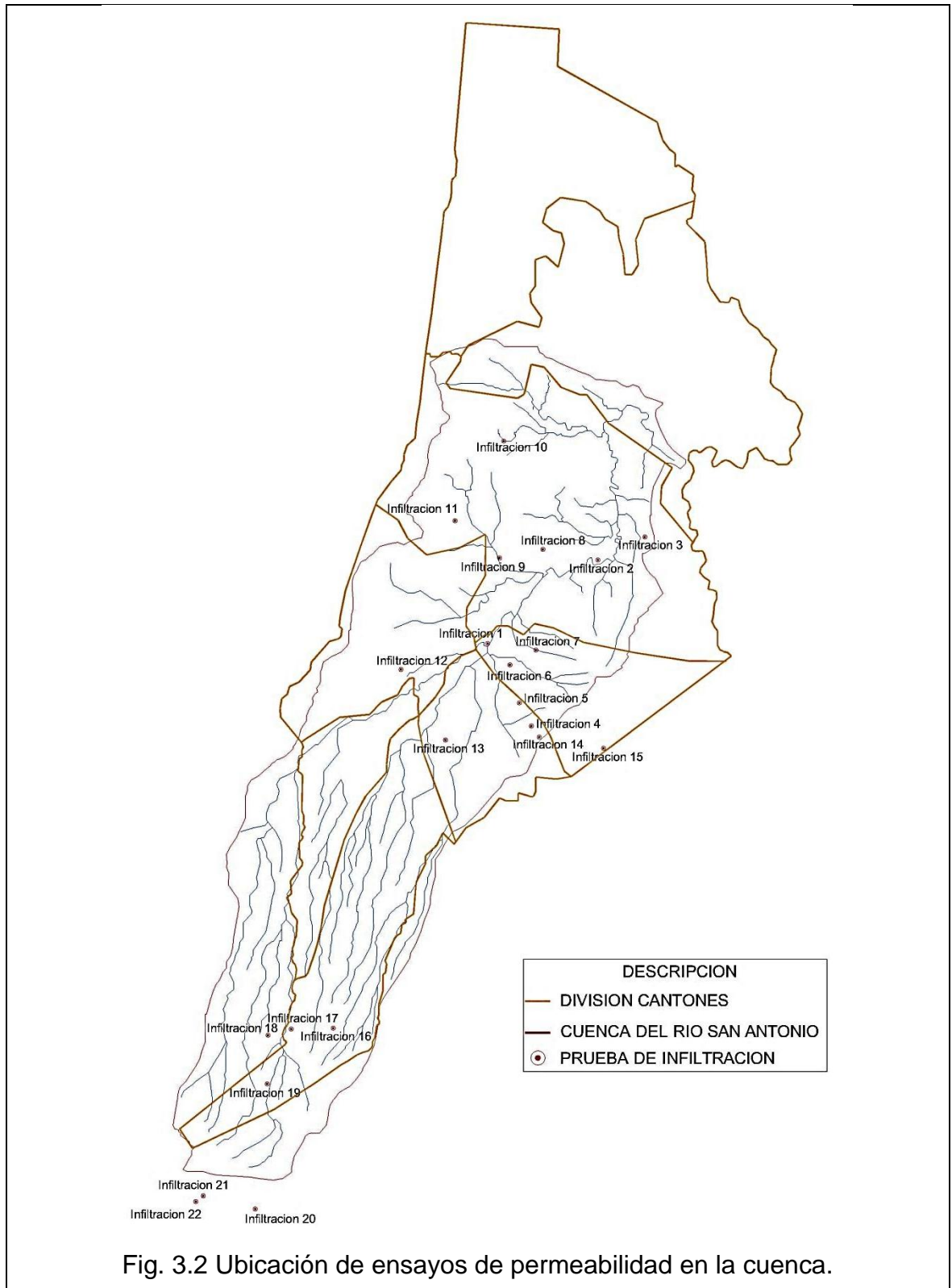
- Seleccionar el lugar previamente, con el criterio que el suelo en el que se realiza la prueba sea representativo del área en estudio.
- Excavar un cilindro en suelo, de radio R y altura H.
- Colocar dentro del cilindro excavado una regla graduada para ir midiendo la variación de la altura con respecto al tiempo.
- Rellenar el cilindro excavado con agua hasta una determinada altura la cual será la lectura inicial para la prueba.
- Medir el tiempo en que desciende el agua dentro del cilindro y tomar las lecturas de la altura que se muestra en la regla graduada, así como también del tiempo que le ha tomado al agua llegar hasta la lectura de altura.

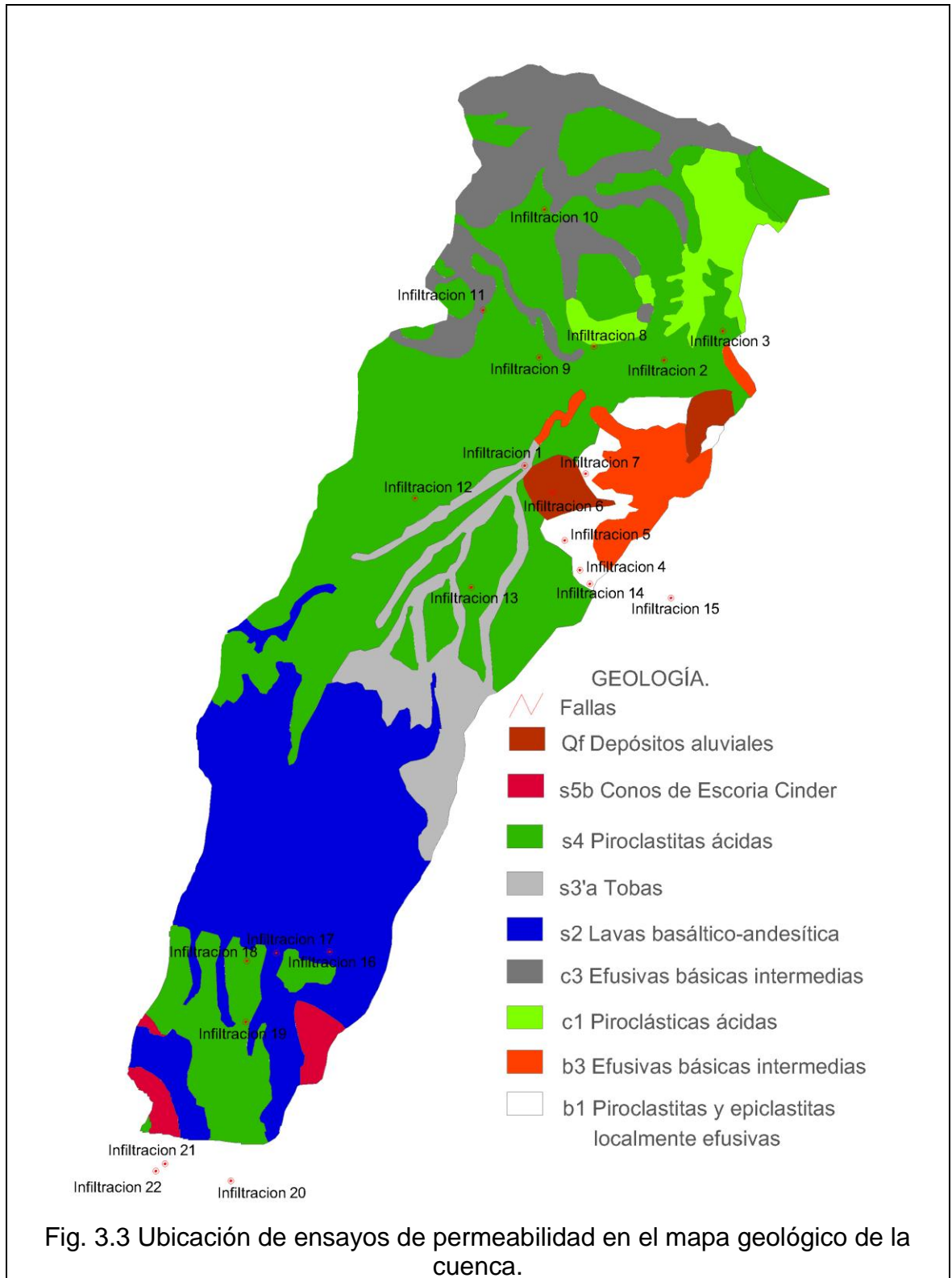
A continuación se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de campo para la determinación de la permeabilidad de las diferentes formaciones geológicas presentes en los suelos de la cuenca del Río San Antonio (ver cálculos en Anexo III-I). Además de la determinación de la permeabilidad, en cada sitio de ensayo se tomaron muestras alteradas de suelo para determinar la humedad existente en el suelo posteriormente en el laboratorio (ver cálculos en Anexo III-I).

Tabla 3.2– Resumen de los resultados de pruebas de permeabilidad por el método de Porchet y porcentaje de humedad de las muestras de suelo en el laboratorio.

<b>Ensayo</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación (m.s.n.m)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tasa de Infiltración (cm/seg)</b>	<b>% Humedad del Suelo</b>
1	475043	299755	432	Ciudad de Nejapa	0.0149	8.45
2	476971	301211	410	Cantón El Camote	0.00443	19.66
3	477787	301616	413	Cantón El Camote	0.000581	20.65
4	475807	298311	506	Cantón El Cedral	0.00828	18.63
5	475600	298720	513	Cantón El Cedral	0.00371	18.29
6	475428	299384	452	Ciudad de Nejapa	0.0364	21.46
7	475886	299642	499	Cantón El Cedral	0.00226	11.52
8	476006	301401	424	Cantón El Puchero	0.00275	14.15
9	475247	301248	431	Cantón Mapilapa	0.00140	24.18
10	475319	303293	454	Cantón El Llano	0.00221	10.20
11	474470	301902	470	Cantón Camotepeque	0.00438	26.02
12	473526	299305	467	Cantón El Salitre	0.00221	12.71
13	474304	298070	498	Cantón Los Morales	0.000744	12.83
14	475944	298117	496	Canto El Nance	0.00245	8.19
15	477069	297923	489	La Puerta	0.0170	8.33
16	472346	293034	1375	Picacho	0.000365	15.89
17	471609	293017	1424	Picacho	0.000329	22.22
18	471203	292906	1374	Picacho	0.00115	14.67
19	471187	292060	1482	Picacho	0.00508	11.10
20	470981	289867	1582	Cantón la Esperanza	0.00753	6.45
21	470070	290100	1764	El Boquerón	0.00510	13.31
22	469943	290000	1793	El Boquerón	0.00321	13.02







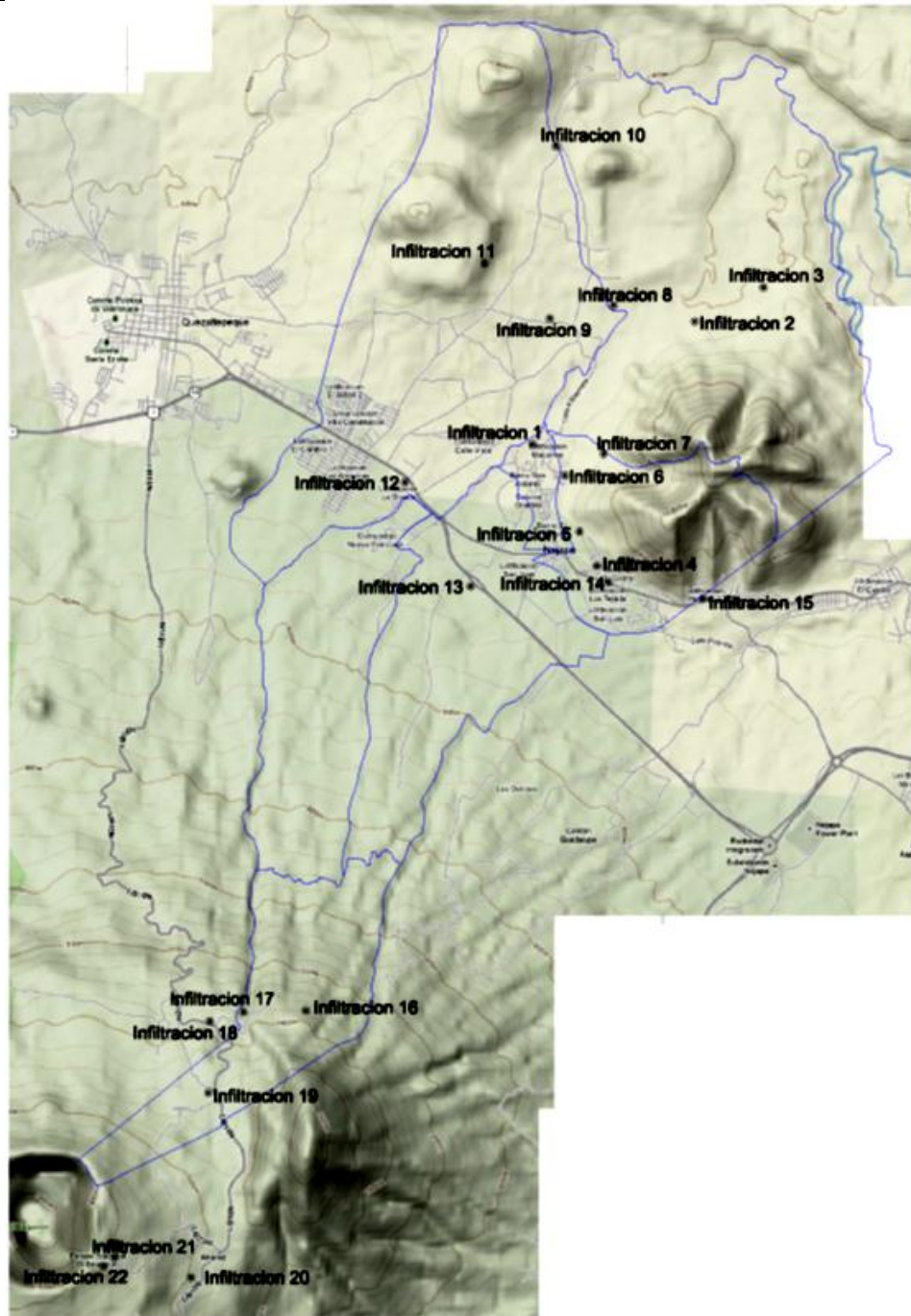


Fig. 3.4 Ubicación de ensayos de permeabilidad en el mapa geográfico de la cuenca.

### **3.2 Medición del Caudal del Río San Antonio.**

Existen diversos métodos para calcular el caudal que circula por un río, es por ello que a continuación se resumen los más importantes y de mayor aplicación para la determinación, en campo, de los caudales.

- Métodos Volumétricos
- Medición de caudal mediante el uso del molinete
- Vertederos contruidos para el aforo, estos pueden ser de pared de agua, pared ancha y pared delgada.
- Canal de aforo Parshall
- Limnigrafos
- Uso de estructuras existentes
- Método de aforo mediante flotadores

Este es un método sencillo para medir un caudal de pequeño a grande con bastante exactitud. Este método conviene emplearlo en agua tranquila, en momentos de buen tiempo, cuando hay poco viento. En este método se utilizan los valores promedio de las variables determinadas.

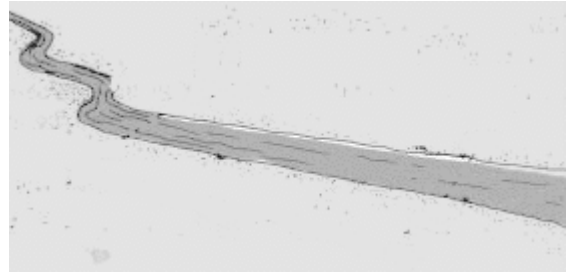
Para los procedimientos de este método, se requieren los siguientes materiales y equipos:

- Un objeto flotante, puede ser una bola de ping-pong, una botella plástica pequeña, una rama, un trozo de madera que flote libremente en el agua.
- Un reloj o cronómetro.
- Una cinta medidora.
- Nylon o cinta.

- a) Primer paso: Seleccionar el lugar adecuado.

Se selecciona en el río un tramo uniforme, sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos.

Fig. 3-5. Selección del tramo del río.



- b) Segundo paso: Medición de la velocidad.

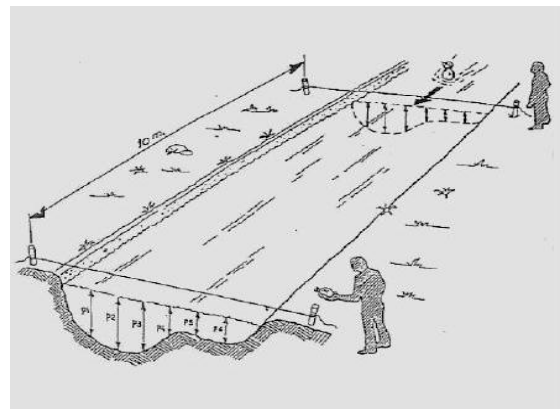
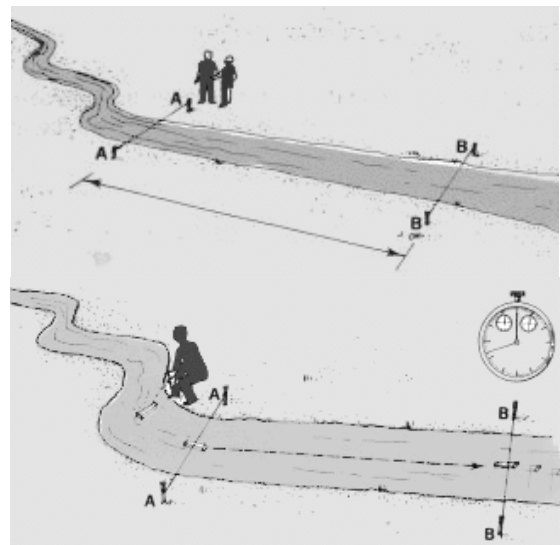
En el tramo seleccionado ubicar dos puntos, A (de inicio) y B (de llegada) y medir la distancia, por ejemplo 10 metros (cualquier medida preferiblemente, del orden de los 10 metros.).

Una persona se ubica en el punto A con el flotador y otra en el punto B con el reloj o cronómetro.

Se medirá el tiempo de recorrido del flotador del punto A al punto B.

Se recomienda realizar un mínimo de 3 mediciones y calcular el promedio.

Fig 3-6. Medición de la velocidad.



Puede aumentar la exactitud de este método si se incrementan las medidas del tiempo a 5, 7 o incluso 10 veces.

La velocidad de la corriente de agua del río se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Distancia}_{A-B}}{\text{Tiempo de recorrido}}$$

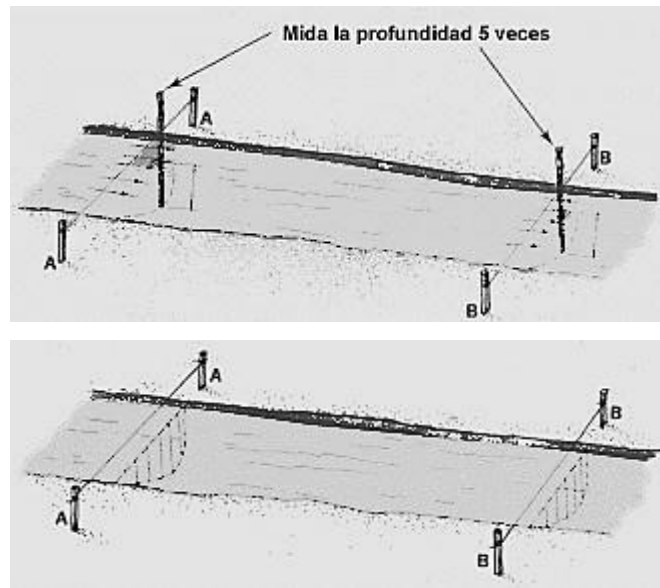
(Ecuación 3.5)

- c) Tercer paso: Medición del área de la sección transversal del río.

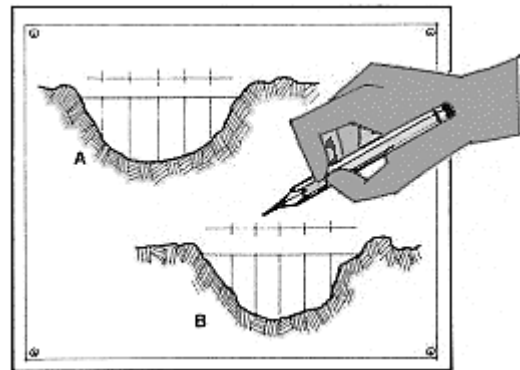
En el tramo seleccionado, ubicar la sección o el ancho del río que presente las condiciones promedio en la que se facilite la medición del área transversal. La

sección transversal del arroyo será distinta al comienzo (AA) y al final (BB). Por ello se tendrá que determinar la sección transversal media.

Fig 3-7. Determinación de la sección transversal del río.



Será más fácil registrar las medidas que se tomen en los puntos AA y BB si se prepara un pequeño esquema con una hoja de registros en la cual hacer las anotaciones.



Mida en 5 puntos diferentes la profundidad del agua (en metros) a distancias iguales a través del arroyo en el punto AA. Cuando se ha tomado todas las medidas en el punto AA, sume las cinco cifras de la profundidad y divida por cinco para encontrar la profundidad media del agua en AA. La sección transversal (en m<sup>2</sup>) en el punto AA es la profundidad media, multiplicada por el ancho del río o arroyo. Tome en el punto BB las mismas medidas que en el punto AA para averiguar la profundidad media, anchura del arroyo y sección transversal en BB. Para calcular la sección transversal media en los puntos AA y BB sume los dos valores de la sección transversal que ha determinado y se obtenga el promedio de estos valores.

La sección transversal del río en AA y BB se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$A_{\text{Trans}} = \text{Profundidad}_{\text{Prom}} * \text{Ancho}_{\text{Río}} \quad (\text{Ecuacion 3.6})$$

La sección transversal promedio del río se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$A_{\text{prom}} = \frac{A_{\text{Trans AA}} + A_{\text{Trans BB}}}{2} \quad (\text{Ecuacion 3.7})$$

d) Cuarto paso: Cálculo del Caudal del río.

Para calcular el caudal de agua (en m<sup>3</sup>/s) multiplique la velocidad media del agua por la sección transversal media.

Con los datos obtenidos se procede a calcular el caudal del río con base en la siguiente ecuación (Ecuación de continuidad):

$$Q_{\text{Río}} = \text{Velocidad} \times \text{Area}_{\text{prom}} \quad (\text{Ecuacion 3.8})$$

Donde:

$Q_{\text{Río}}$ : Caudal del río.

Velocidad: Velocidad promedio del río.

$\text{Area}_{\text{prom}}$ : Sección transversal promedio.

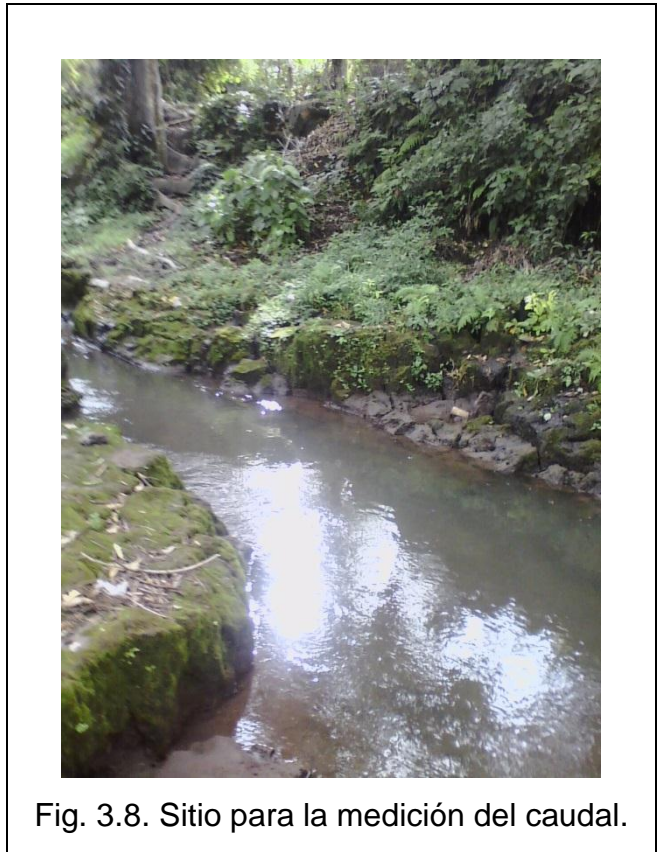
Este método puede resultar más exacto si se aumenta la distancia de AA a BB a 30 m, a 50 m o incluso a 100 m. Se recomienda una distancia mayor entre AA y BB si la corriente es rápida. Cuanto más veloz sea el agua, mayor deberá ser la distancia.

Las mediciones de caudal del cauce del Río San Antonio se determinaron mediante el método del flotador, este método proporciona datos muy confiables para ríos de caudales pequeños, tal y como es el caso del Río San Antonio, los procedimientos empleados para la determinación del caudal son descritos en el apartado anterior, a continuación se muestran los resultados de las pruebas de determinación de caudal.

- a) Selección del sitio para la realización de las mediciones.

Este es un tramo del río ubicado en las cercanías de la ciudad de Nejapa, se caracteriza por ser recto, sin variaciones de dirección del cauce, ni obstáculos que causen una lectura errónea del caudal.





La ubicación del sitio se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud	Longitud	Elevación
476976	301218	405

b) Medición de la velocidad.

Para la medición de la velocidad se tomó un tramo de 10 metros para los que se realizaron las siguientes mediciones de velocidad.

Tabla 3.3 – Medición de la velocidad del río.

Tramo (m)	Tiempo (Seg)	Velocidad (m/seg)
10	18.7	0.535
10	21.3	0.469
10	22.5	0.444
10	20.3	0.493
10	18.50	0.540
10	19.8	0.505
10	17.5	0.571
10	21.3	0.469
10	21.9	0.457
10	19.8	0.505
10	19.7	0.508

Promediando las velocidades obtenemos:

$$\text{Velocidad}_{\text{prom}} = \frac{0.535 + 0.469 + 0.444 + 0.493 + 0.540 + 0.505 + 0.571 + 0.469 + 0.457 + 0.505 + 0.508}{11}$$

$$\text{Velocidad}_{\text{prom}} = 0.50 \text{ m/seg}$$

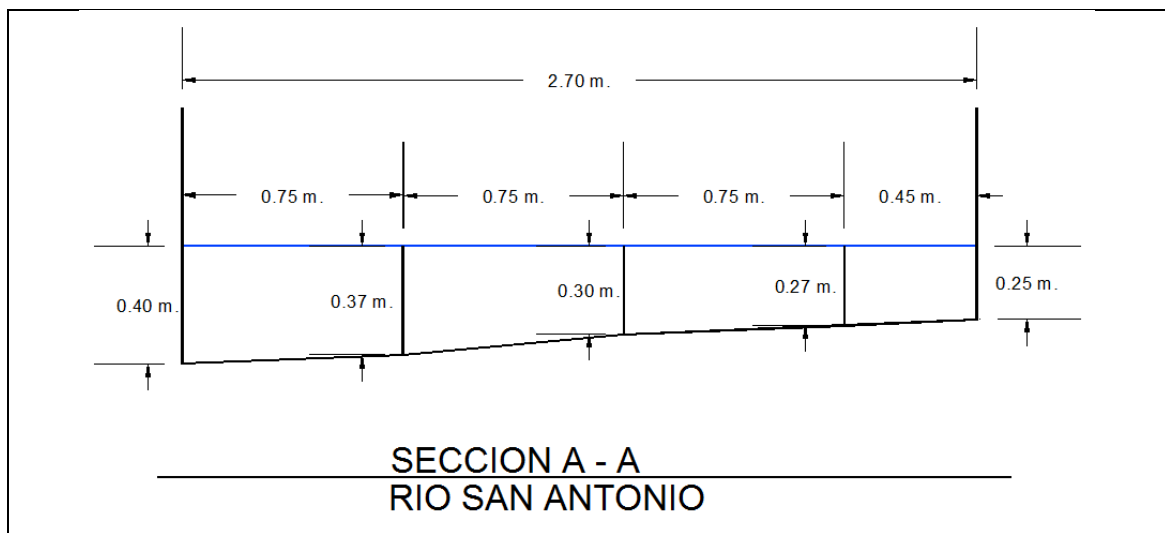
El valor obtenido resulta ser bastante exacto, principalmente debido a las dimensiones del río, el cual maneja caudales bajos durante la mayor parte del año, viendose influenciado a mayor manera únicamente durante la época lluviosa.

c) Medición del área de la sección transversal del río.

La medición de la sección transversal se realizó en los puntos de inicio y final del tramo seleccionado obteniendo los siguientes resultados para las diferentes medidas de profundidad.

Tabla 3.4– Medición de la profundidad del río.

Tramo AA		Tramo BB	
Ancho del tramo AA= 2.70 metros		Ancho del tramo BB= 2.90 metros	
Medición	Valor de profundidad (m)	Medición	Valor de profundidad (m)
1	0.40	1	0.37
2	0.37	2	0.36
3	0.30	3	0.26
4	0.27	4	0.21
5	0.25	5	0.21
Profundidad promedio tramo AA= 0.318 metros		Profundidad promedio tramo BB= 0.282 metr	



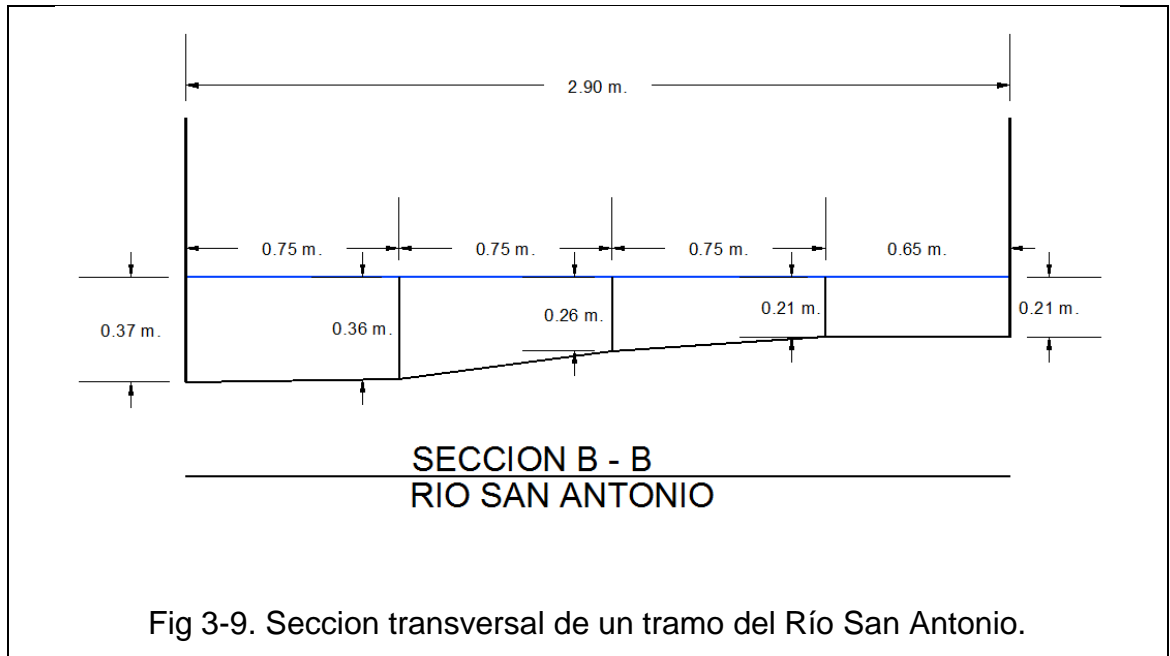


Fig 3-9. Sección transversal de un tramo del Río San Antonio.

A continuación se muestran los cálculos para determinar el área de la sección transversal de los puntos AA y BB.

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Trans (AA)}} &= \text{Profundidad}_{\text{Prom(AA)}} * \text{Ancho}_{\text{Río(AA)}} \\
 A_{\text{Trans (AA)}} &= 2.7 * 0.318 \\
 A_{\text{Trans (AA)}} &= 0.859 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Trans (BB)}} &= \text{Profundidad}_{\text{Prom(BB)}} * \text{Ancho}_{\text{Río(BB)}} \\
 A_{\text{Trans (BB)}} &= 2.9 * 0.282 \\
 A_{\text{Trans (BB)}} &= 0.818 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

La sección transversal promedio del río se calcula de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{prom}} &= \frac{A_{\text{Trans AA}} + A_{\text{Trans BB}}}{2} \\
 A_{\text{prom}} &= \frac{0.859 + 0.818}{2} \\
 A_{\text{prom}} &= 0.839 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

d) Cálculo del Caudal del río.

Para el cálculo del caudal del río únicamente debemos multiplicar la velocidad promedio obtenida por el área transversal promedio.

$$Q_{\text{Río}} = \text{Velocidad} \times \text{Area}_{\text{prom}}$$
$$Q_{\text{Río}} = 0.50 \text{ m/seg} \times 0.839 \text{ m}^2$$
$$Q_{\text{Río}} = 0.42 \text{ m}^3/\text{seg}$$

### **3.3 Análisis Físicoquímico y Bacteriológico.**

Diversas actividades humanas producen degradación de la calidad en las aguas naturales, por ejemplo, las actividades agrícolas aportan al ambiente sustancias productos de la fertilización agrícola y residuos fitosanitarios provenientes de los plaguicidas; aguas de desecho de establecimientos ganaderos o agroindustriales, vertidos de origen humano como aguas de alcantarilla.

Para buscar soluciones a los problemas de contaminación de las aguas superficiales, el primer paso es conocer las características o la situación de los ríos, fuentes o cuerpos de agua, que se desea analizar; para lo anterior, es necesario recolectar información de su calidad y cantidad, en una forma confiable, periódica y lineal, de tal manera que permita al investigador evaluar la calidad de las aguas a través de la aplicación de herramientas de medición de contaminación en campo, y de esta forma identificar zonas críticas por contaminación para desarrollo de investigaciones más detalladas y elaboración de planes de descontaminación de estas zonas.

El problema de la contaminación ha alcanzado un nivel crítico en El Salvador; lo anterior, compromete las posibilidades de desarrollo para el país por varios efectos, primero el deterioro mismo de los recursos lo cual limita sus usos posibles, segundo el impacto negativo que se genera en la salud de los pobladores de las áreas afectadas, en especial de los sectores más pobres del país y tercero el impacto negativo que se genera al alimentar a la población del país con alimentos contaminados.

Los contaminantes tanto puntuales como dispersos que llegan a las aguas superficiales contaminando el recurso hídrico y limitando sus usos posteriores. Los ríos cuentan con una capacidad de auto depuración de sus aguas que es el conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas a un río.

La capacidad de auto-depuración de un río depende de los siguientes aspectos principales: el caudal, que permitirá diluir el vertido y facilitar su posterior degradación, la turbulencia del agua, que aportará oxígeno diluido al medio, la naturaleza y tamaño del vertido. En este sentido, la presencia en el agua de altas concentraciones de contaminantes, tanto biodegradable como elementos no biodegradables, anula el proceso de auto-depuración, se rompe el equilibrio y queda una zona contaminada que resultará difícil recuperar si no es de forma lenta y/o artificial, limitando todos los usos posteriores del agua, o causando efectos negativos al ser usada.

### **3.3.1 Componentes físico-químicos y bacteriológicos de las aguas del Río San Antonio y de los pozos necesarios para el cálculo del ICA.**

Una manera práctica de valorar la calidad del agua en un sitio determinado para un momento determinado, es haciendo uso de una escala numérica simple relacionada con el grado de contaminación, este valor es denominado “Índice de Calidad de Aguas” (ICA) y engloba las características más importantes asociadas al uso del agua priorizado, resumiendo el valor de los parámetros respectivos y pudiendo ser usado para definir mejor el estado que indica el término “calidad de agua”.

En el país, para valorar la calidad ambiental de las aguas superficiales se aplica el “Índice de Calidad de Agua” (ICA), recomendado por el Programa Ambiental de El Salvador, proyecto ejecutado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería durante el período de 1997 – 2000. Este índice se utiliza para calificar la calidad de agua de los ríos y evaluar la capacidad del agua para permitir el desarrollo de vida acuática; para condiciones óptimas adopta un valor máximo determinado de 100, valor que va disminuyendo con el aumento de la contaminación en el agua en estudio, hasta un valor de cero.

El Índice de calidad de agua utilizado en El Salvador es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: Índice de Calidad del Agua (ICA).

Este índice es ampliamente utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la

calidad del agua de diferentes tramos del mismo río. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

### 3.3.2 Parámetros para la Determinación del “ICA”

- 1) **Coliformes Fecales (en NMP/ 100 mL):** Las bacterias coliformes fecales forman parte del total del grupo coliforme. La mayor especie en el grupo de coliforme fecal es el *Escherichia Coli*. La presencia de coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.
  
- 2) **pH (en unidades de pH):** La escala de pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más iones en la disolución) y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (cuando el disolvente es agua). El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Aguas fuera del rango normal de 6 a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática. Estos niveles de pH pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática. Las aguas residuales de la industria agrícola, particularmente aquéllas de las operaciones de refinación, pueden ser muy ácidas o alcalinas por el uso de productos químicos en varios procesos de refinación.
  
- 3) **Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> en mg/ L):** Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u



oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción ( $\text{DBO}_5$ ), y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ).

- 4) **Nitratos ( $\text{NO}_3$  en  $\text{mg/L}$ ):** Es un químico que se encuentra en la mayoría de los fertilizantes, estiércol, y residuos líquidos que se liberan de los tanques sépticos. Las bacterias naturales del suelo pueden convertir el nitrógeno a nitrato. La lluvia o agua de irrigación puede llevar el nitrato a través del suelo hasta las aguas subterráneas. El nitrato es un contaminante que puede ocasionar enfermedades agudas, lo que significa que una sola exposición puede afectar la salud.
- 5) **Fosfatos ( $\text{PO}_4$  en  $\text{mg/L}$ ):** El aumento del crecimiento de las algas, que en el peor de los casos puede llevar a la eutrofización de las aguas superficiales, es consecuencia de unas altas concentraciones de fosfato. Los compuestos de fosfato que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza.
- 6) **Cambio de la Temperatura (en  $^\circ\text{C}$ ):** Este es un parámetro el cual compara la temperatura del ambiente con la temperatura del agua a determinarle la calidad. Una variación significativa muestra una alta contaminación del cuerpo de agua. Las descargas de agua a altas temperaturas pueden causar daños a la flora y fauna de las aguas receptoras al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización.

- 7) **Turbidez (en NTU):** Se define como la falta de transparencia de un líquido debida a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido (generalmente se hace referencia al agua), más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad.
- 8) **Sólidos disueltos totales (en mg/ L):** Es una medida con el contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y naturales contenidas dentro de un líquido en: (coloidal) molecular ionizado o micro gránulos de tipo suspendido.
- 9) **Oxígeno disuelto (OD en % saturación):** Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cuan contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

### **3.3.3 Procedimiento general para la estimación del Índice de Calidad del Agua ICA.**

El "ICA" adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo del índice de calidad de agua, se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente tabla:

Tabla 3.5– Clasificación del ICA.

<b>CALIDAD DE AGUA</b>	<b>COLOR</b>	<b>VALOR</b>
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: Lobos. José. Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES 2002.

Las aguas con “ICA” mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

Para calcular el Índice de Calidad del Agua se puede utilizar una función ponderada multiplicativa ( $ICA_m$ ). Esta agregación se expresan matemáticamente como sigue:

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i}) \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde:

$w_i$ : Pesos relativos asignados a cada parámetro ( $Sub_i$ ), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

$Sub_i$ : Subíndice del parámetro  $i$ .

Para determinar el valor del "ICA" es necesario sustituir los datos en la ecuación 3.9 obteniendo los  $Sub_i$  de distintas gráficas como se explicará a continuación, dicho valor se eleva por sus respectivos  $w_i$  de la Tabla 3.6 y se multiplican los 9 resultados, obteniendo de esta manera el "ICA", los pesos de los diversos parámetros son:

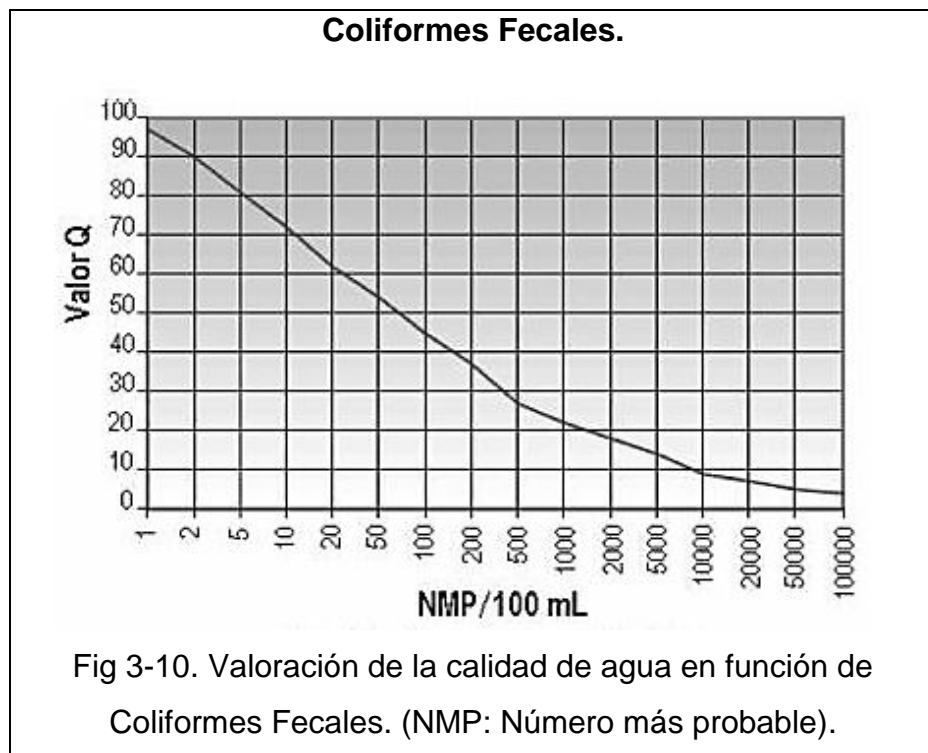
Tabla 3.6– Pesos relativos para los parámetros del "ICA".

<b>i</b>	<b>Sub<sub>i</sub></b>	<b>w<sub>i</sub></b>
1	Coliformes Fecales	0.15
2	PH	0.12
3	DBO <sub>5</sub>	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Solidos Disueltos Totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Los pasos a seguir para calcular los (Sub<sub>i</sub>) del Índice de Calidad se detallan a continuación.

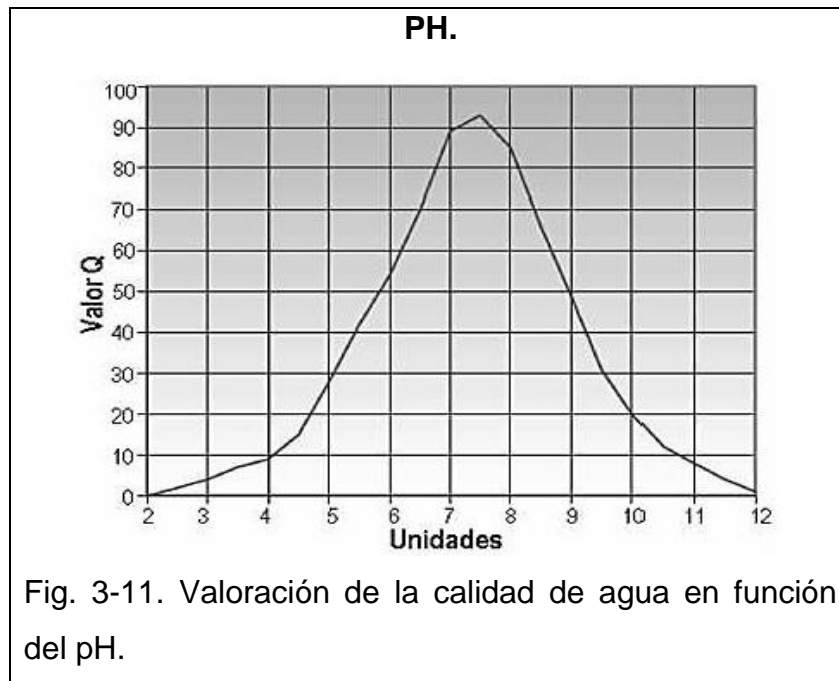
### Estimación del subíndice de Coliformes Fecales.

Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3. Si el valor de Coliformes fecales es menor de 100,000 Bact/100 mL, buscar el valor en el eje de (X) en la Fig. 3-10 se procede a interpolar al valor en el eje de las "Y". El valor encontrado es el (Sub<sub>1</sub>) de Coliformes fecales, se procede a elevarlo al peso  $w_1$ .



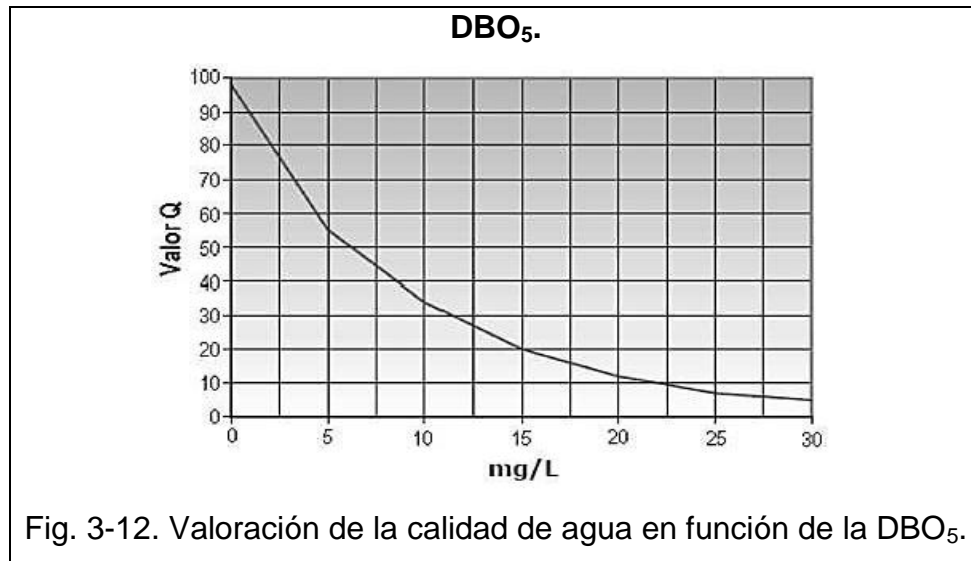
### Estimación del subíndice del Potencial de Hidrógeno (pH).

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el ( $Sub_2$ ) es igual a 2, si el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el ( $Sub_2$ ) es igual a 3. Si el valor de pH esta entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de (X) en la Fig.3-11 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_2$ ) de pH y se procede a elevarlo al peso  $w_2$ .



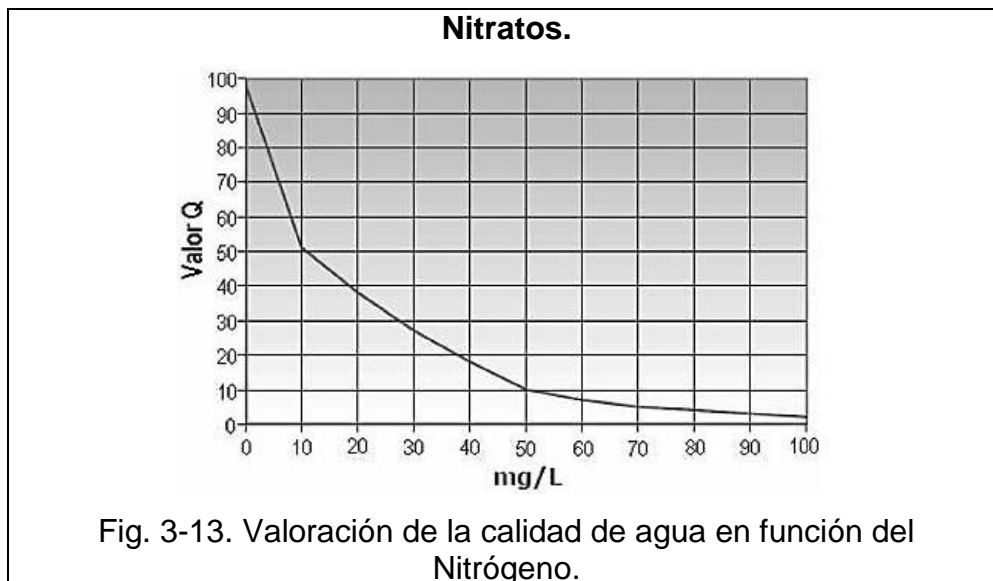
### Estimación del subíndice de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).

Si la  $DBO_5$  es mayor de 30 mg/L el ( $Sub_3$ ) es igual a 2. Si la  $DBO_5$  es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 3-12 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_3$ ) de  $DBO_5$  y se procede a elevarlo al peso  $w_3$ .



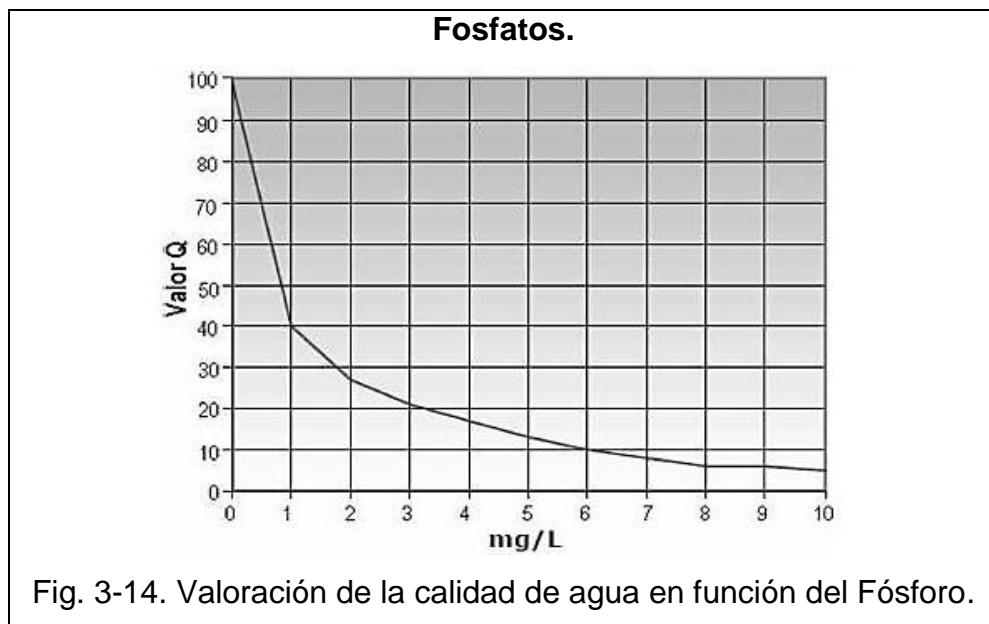
**Estimación del subíndice de Nitratos.**

Si la concentración de Nitrato es mayor de 100 mg/L el (Sub4) es igual a 2. Si Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 3-13 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub4) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso  $w_4$ .



### Estimación del subíndice de Fosfatos.

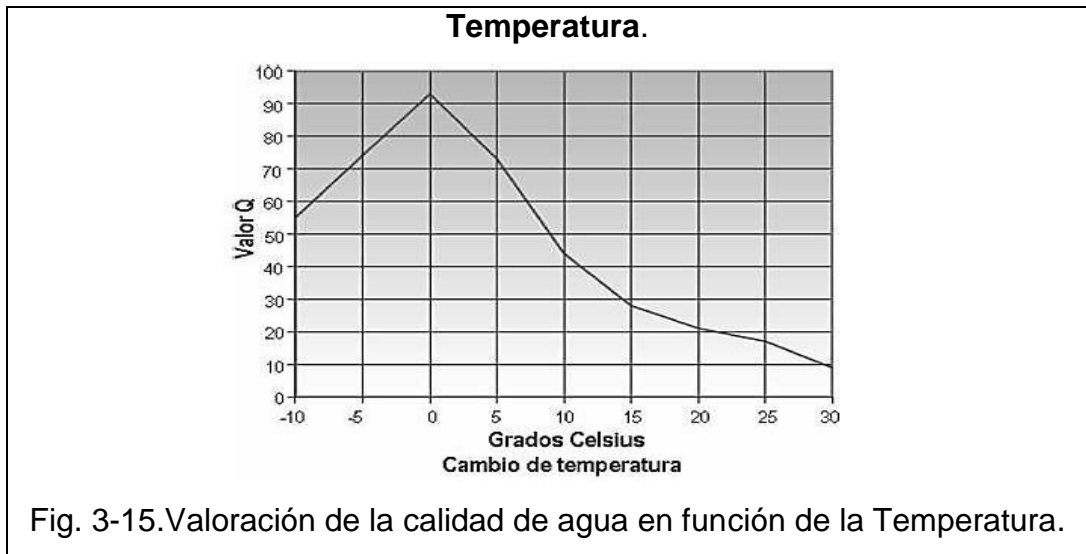
Si la concentración de Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 3-14 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>5</sub>) y se procede a elevarlo al peso  $w_5$ .



### Estimación del subíndice de Temperatura.

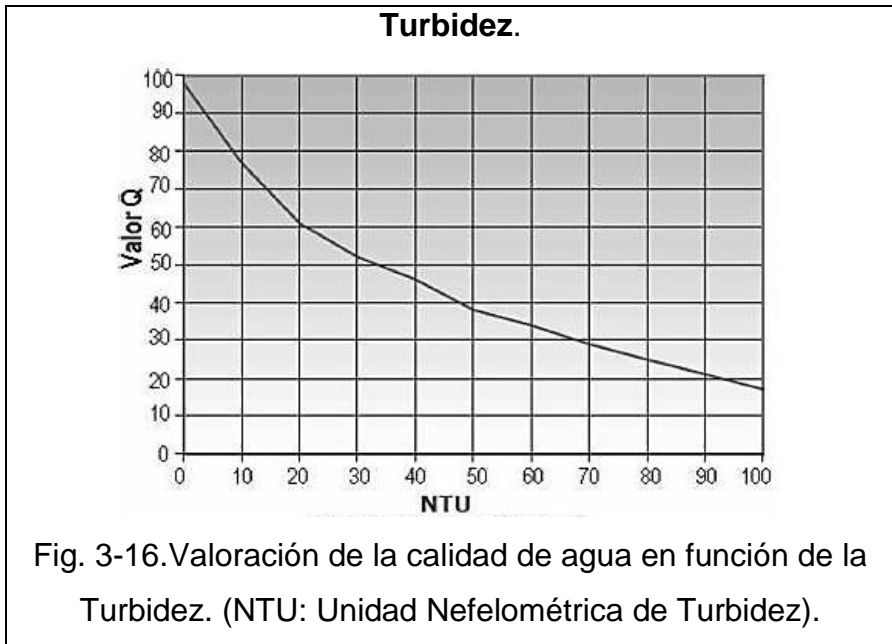
Para la Temperatura (Sub<sub>6</sub>) se debe calcular la diferencia entre la  $T^{\circ}_{\text{Ambiente}}$  y la  $T^{\circ}_{\text{Muestra}}$  y con el valor obtenido proceder. Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el (Sub<sub>6</sub>) es igual a 9. Si el valor obtenido es menor de 15°C, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 3-15 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>6</sub>) de Temperatura y se procede a elevarlo al peso  $w_6$ .





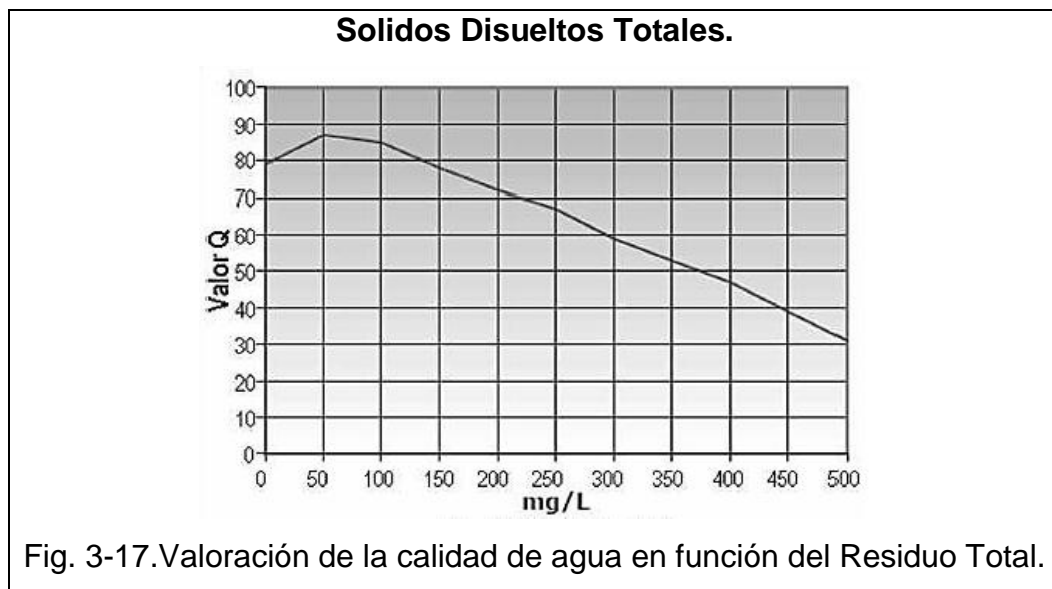
**Estimacion del subindice de Turbidez.**

Si la Turbidez es mayor de 100 NTU el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100NTU, buscar el valor en el eje de (X) en la en la Figura 3-16 se procede a interpolar al valor en el eje de las(Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>7</sub>) de Turbidez y se procede a elevarlo al peso  $w_7$ .



### Estimacion del subindice de Solidos Disueltos Totales.

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3, si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 3-17 se procede a interpolar al valoren el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>8</sub>) de sólidos disueltos y se procede a elevarlo al peso  $w_8$ .



### Estimacion del subindice de Oxigeno Disuelto.

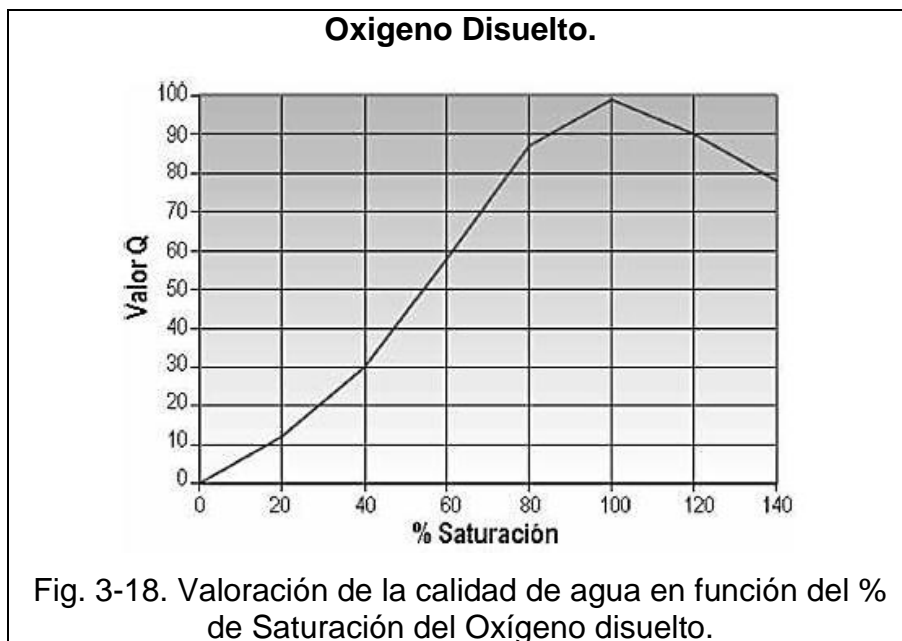
Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua. Para esto hay que identificar el valor de saturación de OD según la temperatura del agua (Tabla 3.7).

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 3-18 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>9</sub>) de Oxígeno Disuelto y se procede a elevarlo al peso  $w_9$ .

Tabla 3.7–Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce.

Temp. °C	OD mg/L	Temp.°C	OD mg/L	Temp.°C	OD mg/L	Temp.°C	OD mg/L
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

FUENTE: Tabla 3-140 de PERRY “Manual del Ingeniero Químico”



Los subíndices obtenidos se incorporan en la siguiente tabla para obtener el valor del “ICA” en el punto de muestreo deseado.

Tabla 3.8–Tabla para el cálculo del “ICA<sub>m</sub>”

	<b>Parámetro.</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Sub<sub>i</sub></b>	<b>w<sub>i</sub></b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	Coliformes Fecales		NMP/100 mL		0.15	
<b>2</b>	pH		unidades de pH		0.12	
<b>3</b>	DBO <sub>5</sub>		mg/ L		0.10	
<b>4</b>	Nitratos		mg/ L		0.10	
<b>5</b>	Fosfatos		mg/ L		0.10	
<b>6</b>	Cambio de la Temperatura		°C		0.10	
<b>7</b>	Turbidez		UNT		0.08	
<b>8</b>	Sólidos disueltos Totales		mg/ L		0.08	
<b>9</b>	Oxígeno Disuelto		% saturación		0.17	
Valor del ICA π						

### 3.3.3.1 Procedimiento en campo y Resultados de laboratorio de componentes físicos-químicos y bacteriológicos de las aguas del Río San Antonio.

Para la determinación de los parámetros requeridos para calcular el Índice de Calidad del Agua, se tomaron 2 muestras en el Río San Antonio y 2 muestras de pozos ubicados a 15 metros del cauce principal del Río San Antonio, de acuerdo a indicaciones para la correcta toma de las muestras dadas por el Laboratorio Físicoquímico de Aguas y Laboratorio de Calidad Microbiológica de Aguas de la Universidad de El Salvador, las cuales se detallan a continuación:

- Utilizar frascos plásticos limpios esterilizados o nuevos con tapa de 1 litro de capacidad.
- Al llegar al punto de muestreo:
  - Utilizar guantes de látex para el muestreo.
  - Tomar la muestra con la boquilla del frasco apuntando aguas arriba del río remojando el frasco por lo menos 3 veces con la muestra.
  - Llenar completamente el frasco e inmediatamente tapar.
  - Mantener la muestra en contenedores a menos de 10°C.
  - El tiempo de recolección de la muestra hasta el inicio del análisis no debe exceder las 12 horas.
  - Identificar el lugar, fecha y hora de muestreo mediante viñetas.

A continuación se muestra la información de campo presentada al laboratorio para la correcta identificación de las muestras:

Tabla 3.9 – Identificación de las muestras de río.

<b>MUESTRAS DE RÍO</b>					
<b>Muestra de río 1</b>			<b>Muestra de río 2</b>		
Ubicación: Cantón Camotepeque, Mapilapa.			Ubicación: Cantón Camotepeque, Las Vegas.		
Naturaleza de la muestra		Río	Naturaleza de la muestra		Río
Coordenadas			Coordenadas		
Latitud	Longitud	Elevación	Latitud	Longitud	Elevación
N	W	420 msnm	N	W	395 msnm
13°49'36.7"	89°13'38"		13°51'32.6"	89°12'30.6"	
Fecha de muestreo		10-julio-2013	Fecha de muestreo		10-julio-2013
Hora de muestreo		11:30 AM	Hora de muestreo		12:10 PM
Temperatura de la muestra		28 °C	Temperatura de la muestra		28 °C
Temperatura ambiente		33 °C	Temperatura ambiente		33 °C

Tabla 3.10 – Identificación de las muestras de pozo.

<b>MUESTRAS DE POZO</b>					
<b>Muestra de pozo 1</b>			<b>Muestra de pozo 2</b>		
Ubicación: Calle Mapilapa, Zona central de Nejapa			Ubicación: Cantón Camotepeque, Mapilapa.		
Naturaleza de la muestra		Pozo	Naturaleza de la muestra		Pozo
Coordenadas			Coordenadas		
Latitud	Longitud	Elevación	Latitud	Longitud	Elevación
N	W	435 msnm	N	W	403 msnm
13°49'15.5"	89°13'47"		13°49'53.2"	89°13'23.2"	
Fecha de muestreo		10-julio-2013	Fecha de muestreo		10-julio-2013
Hora de muestreo		11:00 AM	Hora de muestreo		12:40 PM
Temperatura de la muestra		28 °C	Temperatura de la muestra		28 °C
Temperatura ambiente		32 °C	Temperatura ambiente		33 °C

Las muestras fueron entregadas al Laboratorio Físicoquímico de Aguas y Laboratorio de Calidad Microbiológica de Aguas de la Universidad de El Salvador, el mismo día del muestreo, siguiendo las indicaciones del laboratorio. El tiempo para la entrega de los resultados fue de 10 días desde que las muestras fueron ingresadas al laboratorio.

**3.3.2.2 Resultados obtenidos por el Laboratorio Físicoquímico de Aguas y Laboratorio de Calidad Microbiológica de Aguas de la Universidad de El Salvador de las muestras provenientes del Río San Antonio.**

Tabla 3.11 Resultados de laboratorio para las muestras tomadas del río.

Parámetro.	Unidades	Valor obtenido	
		Muestra 1	Muestra 2
Coliformes totales	NMP/100 mL	170,000.00	170,000.00
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	170,000.00	170,000.00
pH	unidades de pH	6.76	6.94
DBO <sub>5</sub>	mg/ L	16.6	5.1
Nitratos	mg/ L	2.6	2.7
Fosfatos	mg/ L	4.3	4
Cambio de la Temperatura	°C	5	5
Turbidez	UNT	9.29	31.8
Sólidos disueltos Totales	mg/ L	166	176
Oxígeno Disuelto	mg/L	8.5	7.5

- Observaciones de la muestra 1: En el lugar de muestreo se notaba la presencia de un olor fuerte a basura proveniente del agua del río, así como también se observó una coloración amarillenta de sus aguas, con grandes cantidades de basura. Este punto del río está ubicado en las afueras de la ciudad de Nejapa, en este punto el río San Antonio ha recorrido parte de la ciudad de Nejapa, donde los habitantes arrojan basura al cauce del río, y es por eso que el grado de contaminación de sus aguas es alto.
- Observaciones de la muestra 2: Este se ubica aguas abajo del punto de muestreo 1. Se observa una coloración amarillenta de las aguas y una notable ausencia de olor proveniente del río San Antonio. Este punto se ubica entre cultivos de caña en las afueras de la ciudad de Nejapa y su



contaminación se ve más reducida que en el punto anterior, lo cual se debe a la autodepuración del río.

Tabla 3.12 Resultados de laboratorio para las muestras tomadas de pozos

Parámetro	Unidades	Valor obtenido	
		Muestra 1	Muestra 2
Coliformes totales	NMP/100 mL	11,000.00	1,700.00
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	5,000.00	1,600.00
pH	unidades de pH	6.64	6.13
DBO <sub>5</sub>	mg/ L	0.2	1.7
Nitratos	mg/ L	1.9	23
Fosfatos	mg/ L	1.9	2.9
Cambio de la Temperatura	°C	4	5
Turbidez	UNT	0.89	6.33
Sólidos disueltos Totales	mg/ L	227	389
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.8	5.7

- Observaciones de la muestra 1: Este pozo se ubica a 10 metros al noreste del Río San Antonio, pertenece a un propietario privado el cual indicó que utiliza el agua del pozo para beber cuando el suministro de agua potable es limitado.
- Observaciones de la muestra 2: Este pozo se ubica a 15 metros al suroeste del Río San Antonio, pertenece a un propietario privado quien asegura que lo utiliza únicamente para riego de plantas y cultivos.

### 3.3.3 Cálculo del “ICA” para las muestras tomadas en el Río San Antonio.

Con los parámetros obtenidos de los laboratorios de análisis de agua, se procede a calcular el ICA (ver Anexo III-II) y los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.13 – Resultados del análisis para la determinación del “ICA” en muestras de río.

MUESTRA 1						
	Parámetro.	Valor	Unidades	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>	Total
1	Coliformes Fecales	170,000	NMP/100 mL	3	0.15	1.18
2	pH	6.76	unidades de pH	80	0.12	1.69
3	DBO <sub>5</sub>	16.6	mg/ L	17	0.10	1.33
4	Nitratos	2.6	mg/ L	92	0.10	1.57
5	Fosfatos	4.3	mg/ L	16	0.10	1.32
6	Cambio de la Temperatura	5	°C	74	0.10	1.54
7	Turbidez	9.29	UNT	78	0.08	1.42
8	Sólidos disueltos Totales	166	mg/ L	76	0.08	1.41
9	Oxígeno Disuelto	109	% saturación	94	0.17	2.16
Valor del ICA						π <b>36.64</b>
MUESTRA 2						
	Parámetro.	Valor	Unidades	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>	Total
1	Coliformes Fecales	170,000	NMP/100 mL	3	0.15	1.18
2	pH	6.94	unidades de pH	89	0.12	1.71
3	DBO <sub>5</sub>	5.1	mg/ L	54	0.10	1.49
4	Nitratos	2.7	mg/ L	92	0.10	1.57
5	Fosfatos	4.0	mg/ L	18	0.10	1.34
6	Cambio de la Temperatura	5	°C	74	0.10	1.54
7	Turbidez	31.8	UNT	51	0.08	1.37
8	Sólidos disueltos Totales	176	mg/ L	75	0.08	1.41
9	Oxígeno Disuelto	96	% saturación	96	0.17	2.17
Valor del ICA						π <b>40.85</b>

### 3.3.4 Cálculo del “ICA” para las muestras tomadas en pozos aledaños al Río San Antonio.

Tabla 3.14 – Resultados del análisis para la determinación del “ICA” en muestras de pozo.

MUESTRA 1						
Parámetro.		Valor	Unidades	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>	Total
1	Coliformes Fecales	5,000	NMP/100 mL	14	0.15	1.49
2	pH	6.64	unidades de pH	74	0.12	1.68
3	DBO <sub>5</sub>	0.20	mg/ L	98	0.10	1.58
4	Nitratos	1.90	mg/ L	90	0.10	1.57
5	Fosfatos	1.90	mg/ L	29	0.10	1.40
6	Cambio de la Temperatura	4	°C	78	0.10	1.55
7	Turbidez	0.89	UNT	97	0.08	1.44
8	Sólidos disueltos Totales	227.0	mg/ L	70	0.08	1.40
9	Oxígeno Disuelto	74	% saturación	72	0.17	2.07
Valor del ICA					π	<b>56.04</b>
MUESTRA 2						
Parámetro.		Valor	Unidades	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>	Total
1	Coliformes Fecales	1,600	NMP/100 mL	20	0.15	1.57
2	pH	6.13	unidades de pH	60	0.12	1.63
3	DBO <sub>5</sub>	1.70	mg/ L	88	0.10	1.56
4	Nitratos	23.0	mg/ L	34	0.10	1.42
5	Fosfatos	2.90	mg/ L	22	0.10	1.36
6	Cambio de la Temperatura	5	°C	74	0.10	1.54
7	Turbidez	6.33	UNT	84	0.08	1.43
8	Sólidos disueltos Totales	389	mg/ L	48	0.08	1.36
9	Oxígeno Disuelto	73	% saturación	74	0.17	2.08
Valor del ICA					π	<b>48.25</b>

A continuación se muestra una tabla con los resultados del índice de calidad de aguas para las muestras tomadas en el Río San Antonio y en los pozos aledaños a este, además se presenta la clasificación de la calidad del agua determinada por la puntuación obtenida en el “ICA” de acuerdo con la tabla 3.14 (Clasificación del “ICA”).

Tabla 3.15– Clasificación del ICA.

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25
Fuente: Lobos. José. Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES 2002.		

Tabla 3.16 – Resumen de resultados del “ICA” para muestras de río y pozo.

Número	Fuente	Valor	Calidad de agua
# 1	Río	36.64	Mala
# 2	Río	40.85	Mala
# 1	Pozo	56.04	Regular
# 2	Pozo	48.25	Mala

Como se puede apreciar en los resultados, la calidad de las aguas del Río San Antonio presenta altos contenidos de nitratos, fosfatos y demás parámetros, la categoría “Mala” indica que las aguas del Río San Antonio pueden solamente mantener una baja diversidad de vida acuática, lo cual afecta las capacidades del río para su autodepuración y aprovechamiento de sus aguas y recursos.

Por otro lado, los pozos presentan un grado de contaminación semejante a la del río, y por lo tanto afectan la salud de la población que se abastece de agua de pozos para las diferentes actividades en las que el agua se hace necesaria, siendo la de más importancia el agua utilizada para consumo humano, es importante señalar que el pozo número uno es utilizado para el consumo humano, y aunque en los resultados se muestre que la naturaleza de las aguas del pozo es de categoría “Regular”, esta no reúne los requisitos necesario para que sea apta para el consumo humano.

**CAPÍTULO IV**  
**BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA DEL**  
**RIO SAN ANTONIO.**

## **4.1 CONCEPTOS GENERALES.**

### **4.1.1 Definición Recarga de Acuíferos.**

La recarga se puede definir como la entrada de agua dentro de la zona saturada donde pasa a formar parte de las reservas subterráneas, esta entrada puede darse de dos maneras, por un movimiento descendente del agua debido a las fuerzas de gravedad o debido al movimiento horizontal del flujo bajo diversas condiciones hidráulicas de las capas que conforman el perfil del suelo, es importante prestar atención en la estimación de la recarga de los acuíferos, ya que es necesario determinar la cantidad de agua que llega a ellos, su calidad, procedencia y las zonas donde se presenta recarga o descarga del flujo subterráneo, por este motivo su cuantificación es un aspecto incluido dentro de estudios referentes a los recursos de agua subterránea, al transporte de contaminantes, a la subsidencia o al diseño de campos de pozos.

### **Factores que intervienen en la recarga de una cuenca.**

Para tener en cuenta todos los factores que afectan la recarga y que por lo tanto intervienen en su estimación, a continuación se hace una lista de ellos:

**Superficie de la tierra:** topografía; precipitación, donde importa la magnitud, intensidad, duración, y distribución espacial de las lluvias; escorrentía; patrón de cosechas y la evapotranspiración real.

**Irrigación:** horario de irrigación; pérdidas que se presenten en canales y cursos de agua; y cantidad irrigada necesaria para la preparación de la tierra.

**Ríos:** cantidad de ríos y el caudal que fluye por los ríos que fluyen dentro del área de estudio, los que salen del área de estudio y los que ganan o pierden agua del acuífero.

**Zona superior del suelo:** naturaleza del suelo, profundidad y propiedades hidráulicas; variaciones de las características del suelo según la extensión lateral y la profundidad; profundidad de la zona de raíces; y capacidad que tiene el suelo de agrietarse al secarse o de hincharse luego de humedecerse.

**Zona no saturada entre el suelo y el acuífero:** mecanismos de flujo a través de la zona no saturada, zonas con diferentes conductividades hidráulicas, etc.

**Acuífero:** características físicas e hidráulicas del acuífero (habilidad del acuífero para aceptar el agua, variación de las condiciones del acuífero con el tiempo, y tipo de acuífero).

#### **4.1.2 Tipos de recarga.**

La recarga a un acuífero puede darse de forma natural y directa por medio de la precipitación, a las aguas superficiales, es decir, a través de ríos y lagos, o de forma indirecta mediante transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos, también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento o por infiltraciones de embalses y depósitos (Custodio, 1997). Lerner (1990) propone una clasificación similar pero un poco más completa sobre las fuentes de recarga:

- Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua lluvia.
- Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y efímeros.
- Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos.



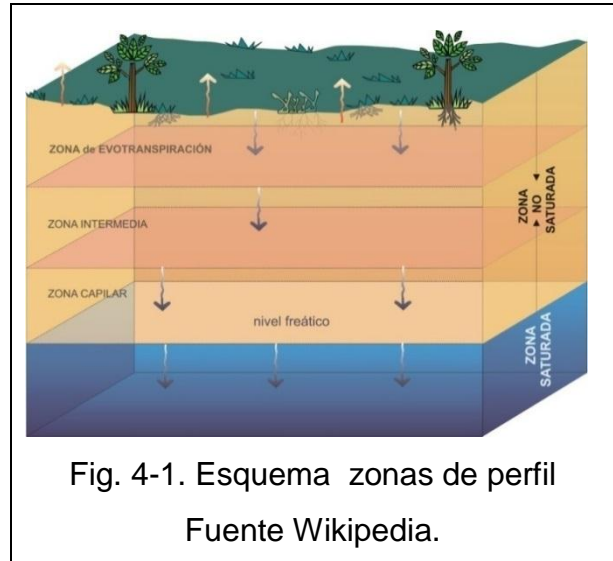
- Retorno de riegos, excesos de riegos o las pérdidas en los canales de distribución.
- Recarga Urbana, producto de fugas de redes de abastecimiento y redes de alcantarillado.

Es importante saber que muchas de las técnicas existentes para determinar la recarga no cuantifican el valor real sino que estiman la recarga potencial la cual es la cantidad de agua que se infiltra al suelo después de sufrir todos los procesos biológicos y meteorológicos a su paso por la superficie, este término fue introducido por Rushton en 1988 y se refiere al agua que se infiltra pero que puede o no alcanzar el nivel freático.

Actualmente en nuestro país así como también en los demás países latinoamericanos, tenemos una creciente demanda en el abastecimiento del recurso hídrico potable por lo que se presenta una problemática con el déficit en la cantidad del agua en zonas que año con año presentan expansiones de carácter urbano e industrial, a la vez que se le suman factores como la contaminación urbana e industrial que reducen los acuíferos disponibles para el consumo humano, lo que aumenta el interés de estudiar la procedencia y el tipo de recarga que se da en el acuífero local.

### 4.1.3 Zonas de perfil.

Dentro de las zonas húmedas del suelo es posible distinguir dos: la zona saturada y la zona no saturada, ésta última es llamada también, zona vadosa o zona de aireación (Figura 4-1).



La zona saturada está limitada en la parte superior por la superficie freática (sometida a la presión atmosférica) en la que el agua llena completamente todos los vacíos existentes entre los materiales del suelo.

La zona no saturada, está situada entre la superficie freática y la superficie del terreno, a la vez se divide en tres sub zonas:

1. Zona de evapotranspiración: comprendida entre la superficie del terreno y los extremos de las raíces de la vegetación. Puede tener espesor muy pequeño cuando no hay vegetación, o alcanzar grandes profundidades cuando la vegetación es abundante.
2. Zona intermedia: sus características son totalmente similares a la zona anterior y está situada debajo de ella.
3. Zona capilar: es la región de transición a la zona saturada y su parte inferior está también saturada.

Algunos autores como Samper (1997) definen la zona no saturada como una capa de suelo compuesta por dos sub-zonas, la primera llamada zona radicular o suelo edáfico donde se da la infiltración del agua lluvia, la evaporación y la transpiración; la segunda es lo que se conoce como zona vadosa, esta sección tiene espesor variable y pueden existir en ella acuíferos colgados los cuales pueden ocasionar flujo horizontal; el flujo descendente que sale de ella es igual a la recarga al acuífero.

#### **4.1.4 Métodos para la estimación de la recarga en acuíferos.**

Los especialistas en el ramo de la hidrología y estudios en aguas subterráneas han desarrollado métodos de cuantificación de la recarga y la descarga en los acuíferos para tener un estimado del balance hídrico de los recursos, algunos autores (Scanlon et al. 2002) consideran apropiado realizar una clasificación según la procedencia de los datos que utiliza cada técnica incluyendo una clasificación secundaria donde los métodos se subdividen en técnicas físicas, técnicas de trazadores y modelos numéricos. Otros autores como Lerner (1990) y Samper (1997), utilizan otra clasificación para los diferentes métodos de estimación de la recarga subterránea, y será la adoptada en este documento:

- Medidas directas, toman datos del agua ubicada en la superficie
- Balance de Agua, toman datos en la zona no saturada
- Técnicas de Darcy, toman datos de la zona saturada
- Técnicas de Trazadores.

##### **4.1.4.1 Lisímetros.**

Las medidas directas tienen la ventaja de un balance de masa implícito (Lerner et al., 1990), sin embargo, los métodos de medición directa son costosos y proporcionan únicamente medidas puntuales. Solamente la recarga producida

por la precipitación y aquella que se da por las pérdidas de canales son medidas directamente con alguna frecuencia.

El único método que se puede aplicar en la práctica de medidas directas del flujo de recarga es el lisímetro (Lerner et al., 1990), en el cual los diferentes componentes del balance de agua se miden con márgenes de error permisibles. Los lisímetros son tanques o bloques instrumentados llenos de suelo alterado o inalterado, con o sin vegetación donde el flujo que circula a través de él puede ser medido; el bloque de suelo es aislado hidrológicamente del suelo que lo rodea, pero es una muestra representativa porque tiene la misma vegetación y está expuesto al mismo clima.

El balance de agua que realiza un lisímetro se basa en la medida del volumen de todos los componentes del mismo (Figura 4-2) y puede representarse mediante la siguiente expresión:

$$I+P=ET+ES+R\pm\Delta S \text{ (Ecuación 4.1)}$$

Donde:

ET = Evapotranspiración

P = Precipitación

I = Aporte debido al riego

R = Recarga

ES = Escorrentía Superficial

$\Delta S$  = Cambio de almacenamiento

Donde todos los componentes pueden ser medidos en campo excepto la ET.

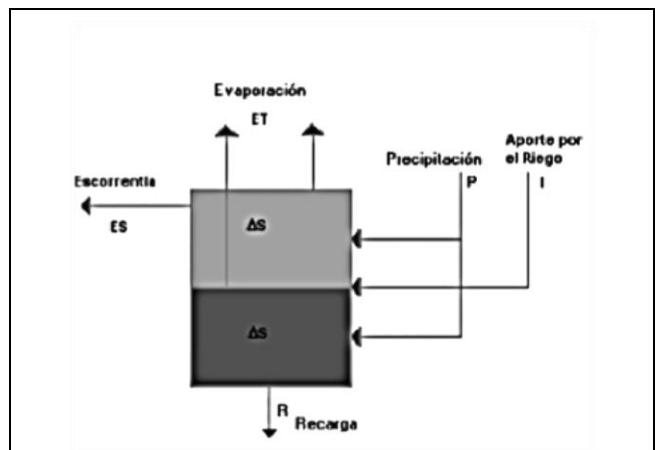


Fig. 4-2. Esquema general de balance hídrico de suelos, fuente "Métodos para determinar la recarga en acuíferos" María Victoria Vélez Otálvaro, 1989.

El costo de la construcción de un lisímetro es alto y solamente dan medidas puntuales de la recarga, además, por necesitarse un monitoreo en un intervalo grande de tiempo los costos aumentan más. El hecho de construir un lisímetro altera el suelo, y se necesita humedad y tiempo para retornar a las condiciones naturales. El uso de lisímetros como herramienta preventiva es común en los trabajos de protección de los recursos de agua subterránea.



Es más fácil y menos costoso usar un lisímetro para detectar los contaminantes potenciales antes de que ellos alcancen los recursos que se desean proteger. Los lisímetros tienen la capacidad de superar el problema del flujo bajo, y si la profundidad es suficiente, las variaciones de año a año, pero los problemas de la variabilidad lateral, el costo y las modificaciones del régimen de humedad del suelo permanecen sin resolver (Allison, 1988).

El intervalo de tiempo en el cual un lisímetro puede arrojar resultados confiables va desde instantáneo hasta estacional o anual, si se busca estimar la recarga a un acuífero en un instante determinado este método es perfectamente aplicable, si por el contrario se busca estimar la recarga en un evento o en un período estacional o anual este método puede utilizarse pero mediante la integración de resultados de escalas menores (Samper F.J, 1997).

#### 4.1.4.2 Medidores de infiltración.

Los medidores de infiltración han sido desarrollados para medir recarga en canales de riego y ríos. Este método consiste en una “campana de filtración” o cilindro el cual es introducido dentro del sedimento en la base de un canal; junto al cilindro está un tanque de agua, la tasa a la cual el agua dentro del cilindro se infiltra es determinada por cambios en el volumen del tanque (Lerner et al., 1990).

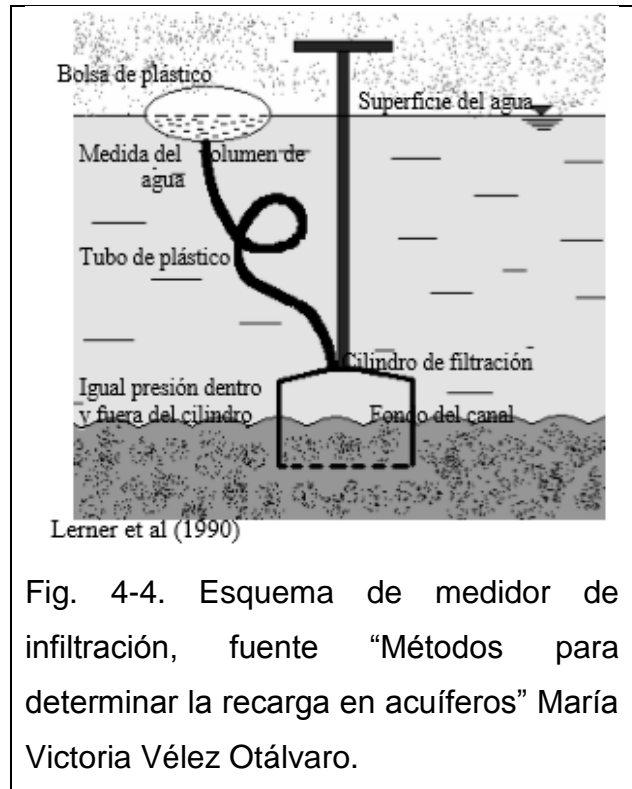


Fig. 4-4. Esquema de medidor de infiltración, fuente “Métodos para determinar la recarga en acuíferos” María Victoria Vélez Otálvaro.

El cilindro es insertado mientras la manguera se deja abierta para permitir que escape el aire y el exceso de agua. La bolsa plástica permanece sujeta a la manguera y flota justo bajo la superficie. El volumen de la bolsa es medido luego de que ha pasado un tiempo y la tasa de infiltración se calcula con la siguiente expresión:

$$q = \frac{(V1-V2)}{(\pi*r^2*t)} \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

Donde:

$q$  =tasa de infiltración (l/t)

$V1$  =Volumen inicial (lt)

$V2$  =Volumen luego de un tiempo  $t$  (lt)

$r$  =radio interno del cilindro de medición

Los medidores de infiltración son livianos y fáciles de transportar, su costo es relativamente bajo, son simples de operar y las mediciones se hacen en corto tiempo.

#### **4.1.4.3 Métodos de balance de agua para el cálculo de la recarga.**

Para hacer el balance hídrico se aplica el principio de la conservación de masa a una cierta región de volumen conocido (volumen de control), definida por unas condiciones de frontera, durante un período de tiempo. La diferencia en las entradas y las salidas debe ser igual al cambio en el almacenamiento de agua. La mayor parte de los métodos de balance de agua determinan la recarga a partir de los demás componentes, este tipo de balances se puede hacer en la zona superficial, en la no saturada y en la saturada (Samper F.J., 1997).

Hay diferentes expresiones para calcular la recarga a partir de un balance hídrico según el volumen de control escogido y según las subdivisiones que se hagan a las entradas, salidas o cambios en el almacenamiento.

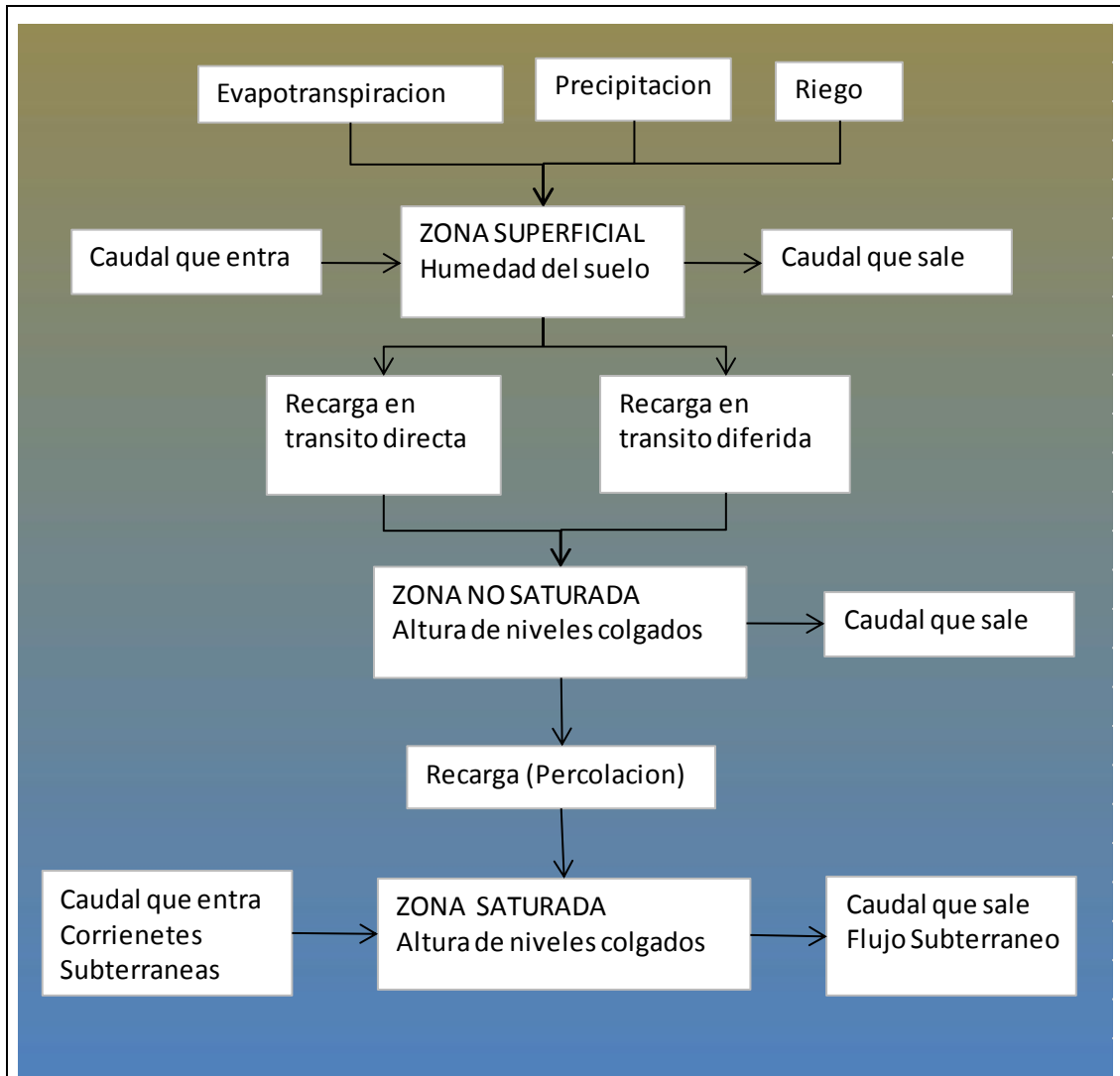


Fig. 4-5. Esquema Balance de agua, fuente "Métodos para determinar la recarga en acuíferos" María Victoria Vélez Otálvaro.

La expresión más sencilla puede ser:

$$R = P - E_s - ET \pm \Delta S \text{ Ecuación (4.3)}$$

Siendo:

R = recarga

P = precipitación

E<sub>s</sub> = escorrentía

ET = evapotranspiración

ΔS = cambio en el almacenamiento



Esta ecuación es válida si se asume que la recarga es igual al flujo subterráneo o descarga y si se toma la precipitación (P) como única entrada al sistema, luego de asumir que la divisoria de la cuenca coincide con la divisoria de aguas subterráneas y por lo tanto no hay entrada de flujo desde acuíferos vecinos (Freeze y Cherry, 1979).

#### **4.1.4.4 Tipos de balance hídrico utilizados para el cálculo de la recarga.**

Lerner et al. (1990) presenta algunos tipos de balance hídrico, y más tarde diferentes autores (Scanlon et al, 2002; Samper, 1997) hacen referencia a este mismo texto:

##### **Balance de humedad del suelo.**

En el cual la lluvia y la evapotranspiración potencial constituyen los datos de entrada al balance y la evapotranspiración real y la recarga son los datos de salida. Este método corresponde al esquema de balance de la Figura (4-5). Un aspecto crítico en el uso de un modelo de balance es el intervalo de tiempo usado. Si se utilizan largos intervalos manteniendo los mismos parámetros se pueden presentar valores de recarga muy bajos o inclusive nulos.

##### **Balance de ríos y canales de agua.**

**Medidas de caudal:** La manera más sencilla para estimar las pérdidas por transmisión a lo largo de un canal ya sea natural o de irrigación es mediante un balance de agua del flujo.

**Encharcamiento:** La recarga se estima midiendo la disminución del nivel del agua luego de haber aislada una sección del canal. Cuando las pérdidas por

evaporación y cualquier precipitación que entra han sido tenidas en cuenta, la caída neta en el nivel de agua se atribuye a la infiltración.

**Monitoreo del Nivel Freático:** El volumen almacenado producto de un aumento del nivel freático es igual a la recarga, luego de tener en cuenta otros flujos de entrada y salida como pozos de bombeo y flujo entre acuíferos. Este método es quizás el más utilizado para estimar la recarga. Entre sus ventajas, cabe citar su sencillez e independencia respecto al mecanismo de desplazamiento del agua en la zona no saturada (Healy y Cook, 2002), la altura del nivel freático se determina mediante la construcción de pozos.

El nivel freático medido en un pozo de observación es representativo de un área de al menos varios metros cuadrados, por lo que no corresponde a una medida puntual. Sin embargo, el método tiene sus limitaciones (Healy y Cook, 2002):

Proporciona mejores resultados si se aplica para niveles freáticos superficiales.

- Los pozos deben localizarse de manera que los niveles freáticos sean representativos de toda el área de recarga.
- El método no se puede tener en cuenta para recarga en condiciones estables.
- Identificar la causa de las fluctuaciones del nivel freático es un asunto complejo así como calcular el valor del rendimiento específico debido a la heterogeneidad del acuífero.

#### 4.1.5 Método utilizando trazadores.

Los trazadores son sustancias que se encuentran en el agua y se pueden detectar por medios visuales o analíticos (Lopez R, 1997) y sirven para definir caminos preferenciales de flujo (Hendrickx y Walter, 1997), identificar mecanismos responsables de generación de flujo, identificar fuentes de solutos y sistemas de contaminación, calcular el ciclo biológico de nutrientes dentro de un ecosistema, determinar fuentes de recarga etc. (Kendall y Caldwell, 1998). Los trazadores pueden utilizarse para determinar las fuentes que originan la recarga, donde hacen el papel de señalizadores, o para determinar la cantidad de flujo que alcanza las reservas subterráneas. La técnica de señalizadores consiste en inyectar un trazador y luego rastrearlo en un área determinada (Lerner et al., 1990).

El principio general del método de trazadores es el balance de masa del trazador, en el cual se asume que el agua y el trazador son transportados a la misma tasa.

$$rTr = p Tp + fd \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

Donde:

r = Tasa de recarga promedio

Tr = Concentración promedio del trazador en la recarga

p = Precipitación promedio

Tp = Concentración promedio del trazador en la precipitación

fd = Masa del trazador en la zona vadosa

#### Colorantes.

De todos los tipos de trazadores existentes quizás los más simples sean los colorantes, que se aplican como solutos al agua de infiltración detectándose

visualmente. Los distintos tipos de colorantes que se han utilizado, interaccionan con el suelo, lo que supone un inconveniente del método. Por otra parte, muchos colorantes orgánicos también están sujetos a degradaciones químicas y biológicas, retardándose así su transporte. El proceso de detección del colorante es destructivo, por lo que resulta más laborioso y difícil cuanto mayor sea la profundidad del suelo a estudiar (López R, 1997). Una alternativa de uso de trazadores ópticos es la utilización de sustancias que sean detectables por medios analíticos.

### **La Temperatura.**

La temperatura puede usarse como trazador con el fin de determinar cuándo el agua fluye por corrientes efímeras (en especial en zonas áridas) y para estimar la infiltración proveniente de cuerpos de agua superficiales. El procedimiento consiste en monitorear la temperatura a varias profundidades, dependiendo de las escalas de tiempo y el tipo de sedimento (Scanlon et al. 2002). La temperatura medida se combina con un código de flujo saturado no isotérmico, cuyo propósito es estimar la conductividad hidráulica de los sedimentos y luego mediante modelamiento inverso se determina la recarga. Sin embargo la aplicación de los métodos térmicos se limita a acuíferos con gran recarga (Custodio, 1997).

### **Bromuro.**

Este trazador es usado ampliamente porque su concentración antecedente es despreciable en la mayoría de los ambientes, es muy móvil y su comportamiento es muy similar al de los nitratos y los cloruros y es relativamente económico y fácil de detectar. El bromuro se aplica usualmente en la superficie del suelo y se mide su distribución en el perfil del suelo luego de

que el agua que llega a través de la precipitación o la irrigación se infiltra. También se ha utilizado para inferir las tasas de recarga producidas por exceso de irrigación (Rice et al., 1986)

### **Nitrato.**

Puede usarse para obtener información de la tasa de movimiento de agua en la zona no saturada. En áreas agrícolas sus concentraciones han aumentado desde 1950 por efecto del uso de los fertilizantes nitrogenados, especialmente en áreas de cultivo de manejo intensivo. El Nitrato se ha sugerido como trazador para estimar la recarga debido a su solubilidad y movilidad y porque su concentración se afecta por cambios mayores en el uso de la tierra (Edmunds, et al. 1988). La mayor dificultad que se presenta es que durante su transporte, el nitrato se puede reducir a amoníaco o puede ser absorbido por las plantas dentro de la zona de raíces y ser removido del sistema del suelo, condiciones que hacen difícil totalizar la cantidad de trazador (Hendrickx y Walker, 1997).

### **Isótopos.**

Son átomos del mismo elemento que tienen diferente número de neutrones lo que significa que tienen diferente masa. Los isótopos pueden ser ambientales o artificiales. Los isótopos ambientales se subdividen en estables y radioactivos; los radioactivos o inestables son los que presentan cambios en el número de protones y neutrones que producen una transformación del núcleo del elemento; este proceso se conoce como decaimiento radiactivo, los núcleos se desintegran espontáneamente en el tiempo para formar otros isótopos; los estables son aquellos cuya relación entre el número de neutrones y protones no cambia, son núcleos que no se transforman en otros isótopos en escalas de tiempo geológicas, pero ellos mismos pueden ser producidos por el decaimiento

radioactivo de otros isótopos. Los isótopos más importantes desde el punto de vista hidrológico son los siguientes:

-Isótopos del Hidrógeno: 1H (estable), 2H (deuterio, estable) y 3H (tritio, inestable)

-Isótopos del Oxígeno: 16 O (estable), 17 O (inestable) y 18 O (estable)

-Isótopos del carbono: 12 C (estable), 13 C (estable) y 14 C (inestable)

Los isótopos del agua permiten tener información sobre la renovación de las aguas en los acuíferos (recarga), identificación de las aguas antiguas (origen y edad del agua), interconexiones hidráulicas entre varios acuíferos, mezcla de agua de origen diferente, interacciones rocas - CO<sub>2</sub>, hidrodinámica de los acuíferos (flujo y edad), intrusión de aguas marinas en acuíferos costeros, vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación (origen y circulación de los contaminantes), identificación de las agua termo-minerales, etc.

### **Cloruro.**

Es el trazador ambiental más importante que se ha usado para estimar tasas de recarga subterránea bajo un amplio rango de condiciones climáticas, geológicas y de suelo (Hendrickx y Walker, 1997). Tiene la ventaja de que no es volátil, por lo que no se producen pérdidas debido a la evaporación.

### **Cloruro-36.**

Se produce de manera natural y también por pruebas nucleares. Su vida media, es decir, el tiempo que tarda un isótopo en perder la mitad de su

actividad radiactiva original, es de aproximadamente  $3 \times 10^5$  años lo que lo hace atractivo para estudiar los sistemas subterráneos que presentan bajas tasas de recarga, sin embargo la concentración pico de  $^{36}\text{Cl}$  no es un método apropiado para áreas de baja recarga, porque en estas regiones el pico del trazador aún no ha atravesado la zona de raíces ya que este se introdujo a la atmósfera en la década de los 50's con las pruebas nucleares (Allison, 1988).

### **Carbono-14**

El método isotópico tradicional utilizado para determinar el tiempo de tránsito de las aguas subterráneas se basa en la determinación de la actividad del carbono-14. Dicho isótopo tiene una vida media de 5730 años. Los contenidos de C-14 se expresan como porcentaje (pmc, partes de carbono moderno) los valores superiores a 100pmc corresponden a la presencia en las aguas subterráneas de carbono inyectado en la atmósfera durante la época de ensayos termonucleares (1950-1970).

### **Carbono-13**

Este isótopo es estable y los contenidos de  $^{13}\text{C}$  se utilizan en los modelos que corrigen la actividad inicial del  $^{14}\text{C}$  y también como indicador de diversas fuentes de carbono en las aguas subterráneas.

### **Otros isótopos.**

Existen otros isótopos además de los ya presentados. Para la datación de las aguas recientes se utiliza  $^3\text{He}/^3\text{H}$ , Clorofluorcarbonados (CFCs) o Hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ ). Para datación de agua de más de 40000 años, se pueden utilizar  $^{81}\text{Kr}$ ,  $^4\text{He}$  y  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ . Para los estudios de contaminación del agua se utilizan de isótopos como  $^{15}\text{N}$  y  $^{18}\text{O}$  de los nitratos, y  $^{34}\text{S}$  y  $^{18}\text{O}$  de los sulfatos.

### **El boro-11.**

Este isotopo juega un papel importante en los estudios de contaminación, especialmente en casos de intrusión de agua salada en un acuífero de agua dulce  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  se utiliza regularmente para definición del origen de salinización, movimiento de aguas subterráneas e interacciones con las rocas.



## 4.2 Balance Hídrico de la Cuenca del Río San Antonio.

Para realizar el balance hídrico en la cuenca del río San Antonio se utilizó el método de balance hídrico de suelos como herramienta para el cálculo de la recarga, una de las ventajas de dicha metodología es que considera varios parámetros que influyen en la recarga de los acuíferos, tales como: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno. La metodología descrita ha sido utilizada en muchos estudios similares, en los casos que se ha podido comprobar, en forma confiable, los valores de dicha recarga.

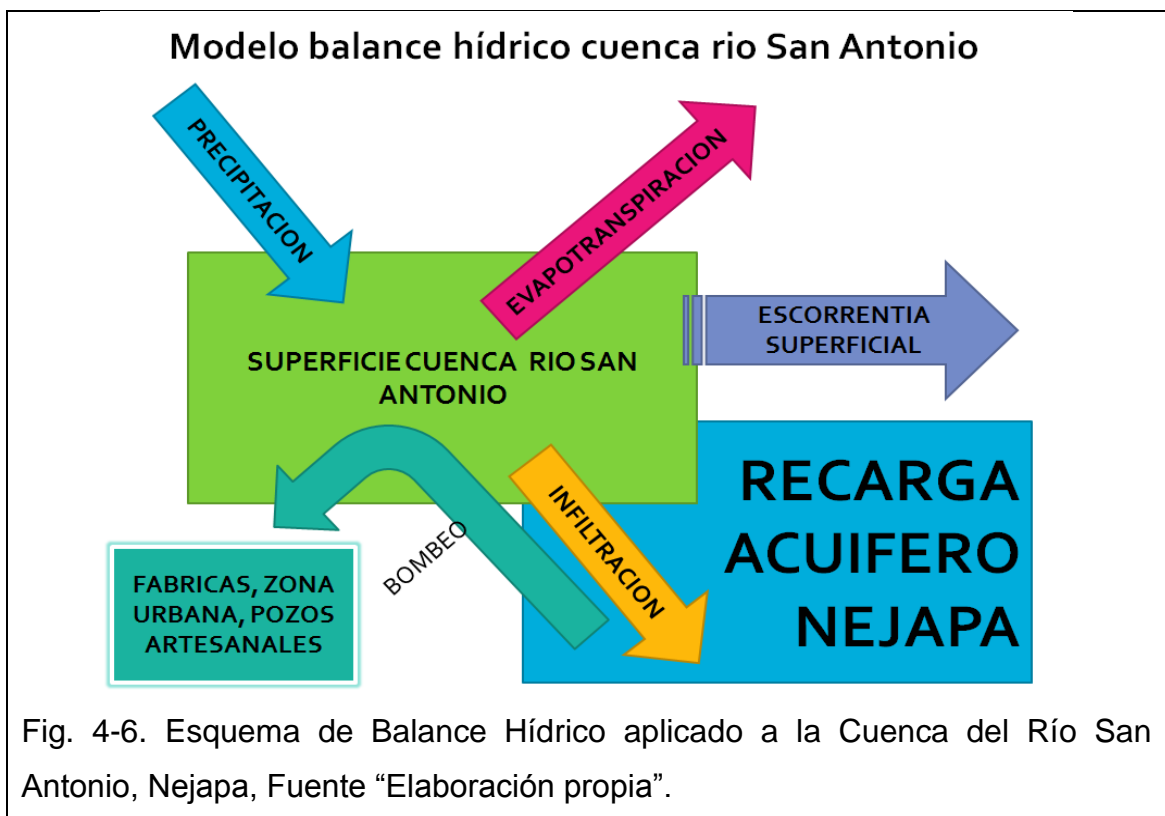


Fig. 4-6. Esquema de Balance Hídrico aplicado a la Cuenca del Río San Antonio, Nejapa, Fuente “Elaboración propia”.

De la figura 4-6, obtenemos la ecuación con la cual se calcula el balance hídrico aplicado a la cuenca del Río San Antonio en Nejapa, la cual será:

$$P - E_s - E_b - R_p - E_{tp} = \Delta S \quad \text{Ecuación (4.5)}$$

Donde:

P = Precipitación

$E_s$  = Escorrentía Superficial

$E_b$  = Extracción por bombeo

$R_p$  = Recarga Potencial

$E_{tp}$  = Evapotranspiración Real

$\Delta S$  = Variación de almacenamiento

#### **4.2.1 Estudios anteriores.**

Gil Laura, "Evaluación Hidrogeológica y Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema Acuífero del Municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador". Investigación de Tesis de post-grado- Universidad de Costa Rica 2007. Balance hídrico Dinámico el Salvador, SNET -2005.

Revisión y Análisis de los componentes Hidrológico e Hidrogeológico del Estudio Hidrogeológico, Hidrológico, Hidráulico y de Riesgo Zona Planta Nixapa, Industrias La Constancia ILC, Nejapa, San Salvador 2013

Ponce de León y otros., "Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamientos de los recursos hidrogeológicos en el municipio de Nejapa". Geólogos del Mundo, 2003.

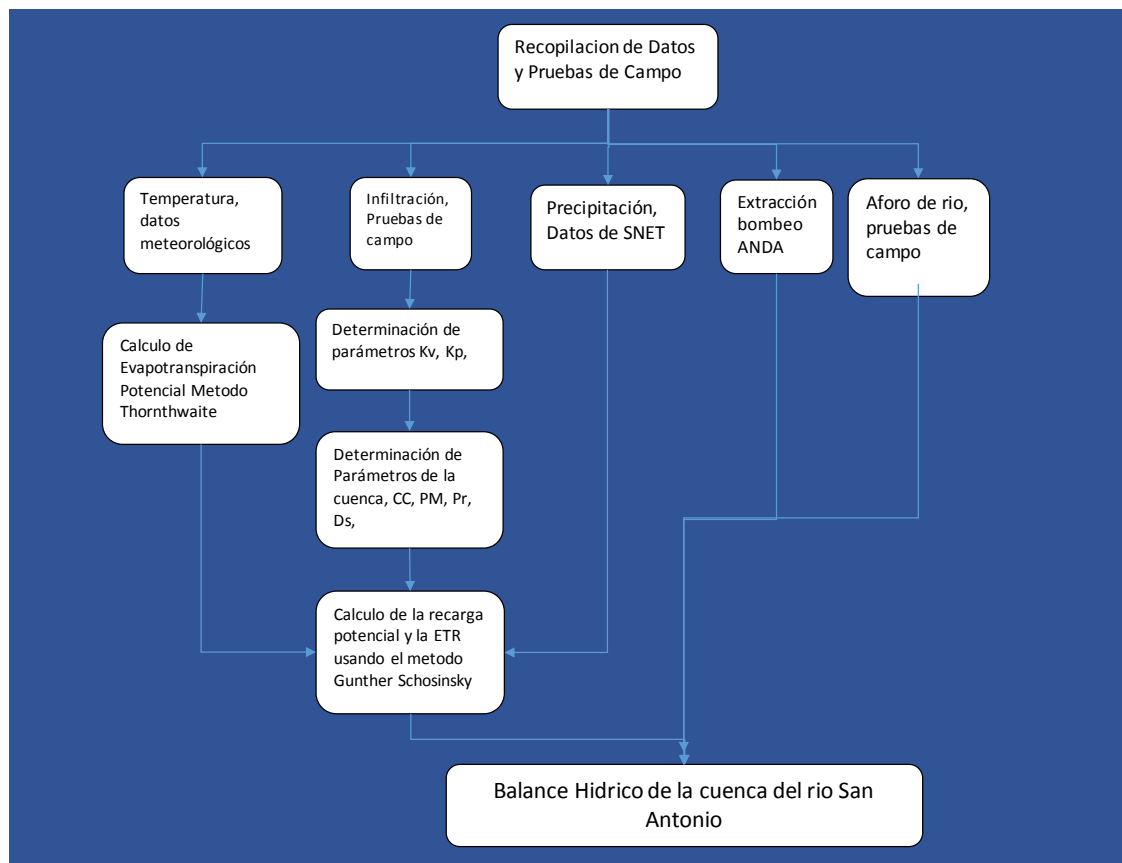
Actualmente existe un interés en realizar un balance hídrico que tenga bases en mediciones de parámetros de campo, debido a la sobreexplotación que se da en el acuífero, ya que al pertenecer a la unidad hidrológica de la cuenca del río

Lempa es parte de la reserva del acuífero de San Salvador del cual se abastece San Salvador y otros municipios.

#### 4.2.2 Metodología.

En este esquema se describe los elementos para el cálculo del balance hídrico para la cuenca del río San Antonio, este procedimiento se estableció una vez se recopiló toda la información disponible en los registros y la información tomada de campo, se eligió el tipo de método para calcular la evapotranspiración utilizando la ecuación de Thornthwaite, comparándola con la de Hargreaves la cual se utiliza por el DGOA en nuestro país.

Fig. 4-7. Esquema de elementos para el cálculo del balance hídrico para la cuenca del río San Antonio. Fuente “Elaboración propia”.



### 4.2.3 Cálculo de la evapotranspiración para la cuenca del Río San Antonio, utilizando el método de Thornthwaite.

El método de Thornthwaite fue desarrollado a partir de datos de precipitación y escorrentía para diversas cuencas de drenaje. El resultado es básicamente una relación empírica entre la ETR y la temperatura del aire, la fórmula de Thornthwaite se basa en la temperatura y en la latitud determinando que esta constituye un buen índice de energía en un lugar específico.

Estima la evapotranspiración potencial a partir de la temperatura media mensual, procedente del registro de las medias diarias del aire, con el que se calcula un índice de calor anual a partir de la siguiente expresión.

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Que le permite obtener un valor para el índice de calor anual  $I$  sumando los índices de calor mensuales, siendo:

$$I = \sum_{12}^1 i \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Una vez se calcula el valor de  $I$  se procede a calcular un valor de ajuste " $a$ " con la siguiente expresión:

$$a = 0.000000675x I^3 - 0.0000771x I^2 + 0.01792x I + 0.49239 \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Una vez se obtiene el valor de corrección se calcula la evapotranspiración potencial media " $\varepsilon$ " con la siguiente expresión:

$$\varepsilon = 1.6 * \left(\frac{10t}{I}\right)^a \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

Dónde:

$\varepsilon$  : Evapotranspiración potencial media en milímetros.

$t$  : Temperatura media diaria del mes en grados Centígrados.

$I$  : Índice de calor anual calculado a partir de la expresión (4.7).

$a$  : Valor de corrección calculado en nuestra expresión (4.8).

Ahora teniendo estos datos podemos calcular la Evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Thornthwaite la cual considera la duración real del mes y el número máximo de horas de sol según la latitud del lugar en el cual se está realizando el balance la cual se expresa de la siguiente manera:

$$ETP = K * \varepsilon \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

Para calcular “ $K$ ”, el cual es un factor de corrección en función del número de días del mes y la duración de horas de sol, utilizamos la siguiente expresión:

$$K = \left(\frac{N}{12}\right) * \left(\frac{d}{30}\right) * d \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

Dónde:

$N$  : Número máximo de horas de sol al día, según la latitud.

$d$  : Número de días del mes.

A pesar de la simplicidad y las limitaciones del método, funciona bien para las regiones húmedas. Para el cálculo de Evapotranspiración en el presente documento, utilizamos la ecuación de Thornthwaite el cual será identificado como Método 1 en adelante, aplicado en 2 estaciones que influyen directamente sobre la cuenca.

- Estación El Boquerón
- Estación Aguilares

Para la aplicación de la fórmula de Thornthwaite se necesitan datos de temperatura los cuales se obtuvieron de registros de temperatura del municipio de Nejapa tomados de la página web <http://www.AccuWeather.com>, a continuación se presenta los datos de temperatura y cantidad de horas de luz solar, y posteriormente se muestran los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial obtenidos mediante la ecuación de Thornthwaite utilizando los datos que se muestran a continuación, las operaciones relativas y la procedencia de estos datos se muestran en los anexos IV-IV.

Tabla 4.1 – Temperaturas promedio diarias durante los meses del año.

<b>Temperaturas Promedio</b>						
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
2007	21.03	21.23	21.65	21.65	21.55	21.62
2008	21.02	21.23	21.64	21.63	21.55	21.64
2009	21.05	21.22	21.67	21.66	21.55	21.61
2010	20.99	21.25	21.62	21.60	21.55	21.67
2011	21.11	21.19	21.72	21.72	21.54	21.55
2012	20.87	21.31	21.51	21.47	21.55	21.80
2013	21.35	21.06	21.92	21.97	21.54	21.29
<b>Año</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
2007	21.36	20.94	20.91	20.51	21.40	20.88
2008	21.39	20.94	20.92	20.51	21.41	20.89
2009	21.33	20.94	20.89	20.50	21.39	20.88
2010	21.44	20.93	20.96	20.52	21.43	20.90
2011	21.22	20.96	20.82	20.48	21.34	20.86
2012	21.66	20.91	21.10	20.57	21.53	20.94
2013	20.78	21.00	20.53	20.38	21.15	20.77

Las temperaturas se obtuvieron del sitio Web <http://www.AccuWeather.com>, la cual registra máximos y mínimos diarios entre 27 y 21 grados Centígrados para la zona de Nejapa, estos datos fueron comparados con el mapa publicado por el SNET “Mapa Temperatura normal Anual (°C) en El Salvador, Periodo 1961 – 1990”.

Tabla 4.2 –Número de horas efectivas de sol según la latitud de la cuenca.

<b>Mes</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
<b>Latitud 13°</b>	8.244	7.536	6.998	8.412	8.912	8.72
<b>Mes</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>Latitud 13°</b>	8.974	8.782	8.268	8.292	7.814	7.968

Luego de tabular los datos de temperatura y número de horas efectivas de luz solar ingresamos al método de cálculo de la ETP mediante el procedimiento descrito al inicio, resumiendo que se procederá en el siguiente orden:

1. *Cálculo del índice de calor mensual “i” con la ecuación (4.6)*
2. *Cálculo del índice de calor anual I con la ecuación (4.7)*
3. *Calculo de coeficiente de ajuste “a” con ecuación (4.8)*
4. *Calculo de la evapotranspiración mensual media “E” con ecuación (4.9)*
5. *Calculo de K utilizando los valores de ecuación (4.10)*

Tabla 4.3 – Resultados de Evapotranspiración método Thornthwaite.

<b>Evapotranspiración fórmula de Thornthwaite Estación El Boquerón (mm).</b>						
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
2007	172.75	131.59	157.02	176.61	197.63	182.62
2008	172.43	141.27	156.78	176.29	197.61	182.91
2009	173.07	131.50	157.26	176.94	197.65	182.34
2010	171.79	141.47	156.31	175.64	197.58	183.49
2011	174.35	131.11	158.22	178.24	197.73	181.20
2012	169.24	142.31	154.39	173.06	197.42	185.80
2013	179.49	138.99	162.08	183.46	198.02	176.69
<b>Año</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
2007	194.96	182.07	159.94	163.65	159.66	164.14
2008	195.53	181.98	160.24	163.73	159.84	164.22
2009	194.40	182.16	159.65	163.57	159.47	164.07
2010	196.66	181.79	160.83	163.89	160.20	164.37
2011	192.16	182.53	158.47	163.24	158.75	163.77
2012	201.24	181.05	163.21	164.54	161.66	164.96
2013	183.37	184.00	153.85	161.95	155.88	162.59



Tabla 4.4 – Resultados de Evapotranspiración método Thornthwaite.

<b>Evapotranspiración fórmula de Thornthwaite Estación Aguilares (mm)</b>						
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
2007	226.31	192.08	246.82	230.95	243.94	230.37
2008	250.99	224.94	156.78	176.29	197.61	182.91
2009	173.07	131.50	157.26	176.94	197.65	182.34
2010	171.79	141.47	156.31	175.64	197.58	183.49
2011	174.35	131.11	158.22	178.24	197.73	181.20
2012	169.24	142.31	154.39	173.06	197.42	185.80
2013	179.49	138.99	162.08	183.46	198.02	176.69
<b>Año</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
2007	238.98	228.05	212.79	213.14	220.67	222.48
2008	195.53	181.98	160.24	163.73	159.84	164.22
2009	194.40	182.16	159.65	163.57	159.47	164.07
2010	196.66	181.79	160.83	163.89	160.20	164.37
2011	192.16	182.53	158.47	163.24	158.75	163.77
2012	201.24	181.05	163.21	164.54	161.66	164.96
2013	183.37	184.00	153.85	161.95	155.88	162.59

Para efectos de comparación de métodos de cálculo, se calculó el balance hídrico de suelos con resultados de evapotranspiración obtenidos con la fórmula de Hargreaves. La cual es utilizada por parte del Servicio Meteorológico Nacional del SNET ahora DGOA, la fórmula de Hargreaves cual involucra temperatura, radiación solar y humedad relativa.

#### 4.2.4 Evapotranspiración potencial método de Hargreaves.

Para evaluar la Evapotranspiración Potencial la fórmula de Hargreaves, necesita solamente datos de temperaturas y de Radiación Solar (Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature Applied Eng. in Agric.), por lo que se considera que los balances hídricos obtenidos mediante el uso de dicha fórmula, serán utilizados como comparación para los balances hídricos donde se utilizó la evapotranspiración obtenida mediante el método de Thornthwaite (Método 1).

Los datos de evapotranspiración potencial corresponden a los promedios mensuales del período 1970-2001 registrado en la estación meteorológica del DGOA ubicada en el aeropuerto de Ilopango.

Estación Ilopango.

Latitud N: 13°41.9'

Longitud O: 89°74.1'

Elevación m.s.n.m.: 615

A continuación se muestran los datos de ETP utilizando la evapotranspiración potencial calculada por el método de Hargreaves.

Tabla 4.5 – Datos de evapotranspiración método utilizado Hargreaves, proporcionados por SNET. Servicio Hidrológico Nacional. Balance Hídrico Cuenca Lago De Ilopango

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ETP(mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708

#### **4.2.5 Procedimiento para el cálculo de la recarga potencial mediante el balance hídrico de suelos método Gunther Schosinsky.**

El cálculo de la recarga mediante el Balance Hídrico de Suelos, considera parámetros agronómicos y climáticos que influyen en la recarga potencial en la zona superficial donde luego infiltra al acuífero. El método de Gunther Schosinsky con Penman & Grindley, consiste en la ponderación de los coeficientes de infiltración que corresponden a la fracción de lluvia que aparentemente se infiltra y que es dado por la ecuación:

$$C = (Kp + Kv + Kfc)$$

C (%)	= Coeficiente de infiltración
Kp (%)	= Fracción que infiltra por efecto de pendiente
Kv (%)	= Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal
Kfc (%)	= Fracción que infiltra por textura de suelo

La aplicación de los coeficientes son condicionados por lluvias mayores de 5 mm por mes.

##### **4.2.5.1 Descripción Del Método.**

El estudio del balance hídrico en los suelos se basa en el principio de la conservación de la materia, es decir, el agua que entra a un suelo, es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él.

Las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo producto de la precipitación y las salidas se deben a la evapotranspiración real, la recarga potencial y la escorrentía superficial en condiciones naturales.

El potencial de las aguas subterráneas de un acuífero, representa la máxima cantidad de agua a sustraer del acuífero, para que no sea sobreexplotado. Dicho potencial se estima mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo en primer lugar, la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje. En segundo lugar, se requiere conocer la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que llega a su superficie. En tercer lugar, se debe realizar un balance de suelos, que nos permita estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero, que se encuentra ubicado debajo del suelo.

Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona, se determinan:

- La precipitación mensual de la zona,
- Los diferentes valores de infiltración básica de los suelos,
- La cobertura vegetal del suelo y su pendiente.

Determinados los valores anteriormente mencionados, se puede evaluar la infiltración mediante la ecuación presentada por Gunther Schosinsky & Losilla, (2000).

Conocida la infiltración, se puede realizar un balance de suelos para estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado, para poder realizar el balance, se determinan:

- La infiltración de lluvia que penetra al suelo,
- La cobertura vegetal del suelo,
- La profundidad de las raíces extractoras del agua,

- La capacidad de campo, el punto de marchitez del suelo,
- La evapotranspiración potencial
- La humedad del suelo al inicio del análisis.

Para realizar el balance, se deben realizar los siguientes cálculos y determinar las siguientes condiciones:

Para nuestra cuenca tendremos 2 zonas de trabajo (Figura 8) las cuales son cubiertas por el método de polígonos de Thiessen, cada una tendrá un peso o ponderación para obtener poder calcular la precipitación, la evaporación y la evapotranspiración.

La zona 1 tiene la influencia de la estación meteorológica ubicada en de Aguilares, al norte de San Salvador con las siguientes coordenadas:

- Latitud: 13.957
- Longitud:-89.187

La zona 2 tiene la influencia directa de la estación el boquerón ubicada en la cadena volcánica de nuestro país con las siguientes coordenadas:

- Latitud: 13.734
- Longitud:-89.267

#### 4.2.6 Estimación de Parámetros para el balance hídrico de suelos método de GUNTHER SCHOSINSKY.

Como se mencionó anteriormente en la cuenca en estudio se tienen usos de suelo variados por lo que los parámetros se calcularon mediante ponderación de áreas para tener valores estimados más representativos, según el uso y tipo de suelo que se muestran en la tabla 5-6.

Tabla 4.6 – Elementos del balance hídrico de suelos método de GUNTHER SCHOSINSKY.

fc: Capacidad de Infiltración	P: Precipitación Media Mensual
Ci: Coeficiente de Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de Riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de Lluvia

A continuación se muestra los resultados de la estimación de cada uno de los parámetros anteriormente mencionados.

##### 4.2.6.1 Factor por pendiente (Kp).

Utilizando los valores de la siguiente tabla y los mapas con curvas de nivel existentes de la cuenca podemos estimar el  $K_p$  para las zonas 1 y 2.

Tabla 4.7 – Parámetros de factor de pendiente.

<b>Componentes de coeficiente de infiltración.</b>		
<b>Fuente: Schosinsky &amp; Losilla, 2000.</b>		
<u>Por pendiente</u>	<u>Pendiente</u>	<u>Kp</u>
<b>Muy plana</b>	0.02% - 0.06%	0.30
<b>Plana</b>	0.3% - 0.4%	0.20
<b>Algo plana</b>	1% - 2%	0.15
<b>Promedio</b>	2% - 7%	0.10
<b>Fuerte</b>	Mayor de 7%	0.06

Tabla 4.8 – Factor de pendiente.

<b>Zona</b>	<b>Estación</b>	<b>Área por zona(m2)</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>Pendiente promedio</b>	<b>Kp</b>
<b>Zona 1</b>	Aguilares	10,318,860.57	0.18	1.50	0.27
<b>Zona 2</b>	Boquerón	47,353,988.71	0.82	Mayor a 7%	0.06
<b>Suma</b>		56,3	1.00		

#### 4.2.6.2 Factor por Vegetación (Kv).

Utilizando los valores de la siguiente tabla y los mapas de los diferentes usos de suelos existentes de la cuenca podemos estimar Kv para las zonas 1 y 2.

Tabla 4.9 – Valor de Kv en función del tipo de vegetación.

<i>Por cobertura vegetal</i>	<i>Kv</i>
Cobertura con zacate menos del 50%	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Cobertura con pastizal	0.18
Bosques	0.20
Cobertura con zacate mas del 75%	0.21

Tabla 4.10 – Factores de vegetación Kv, para la zona de estudio.

Zona	Cultivos	Área ( m <sup>2</sup> )	Área zona (m <sup>2</sup> )	Porcentaje %	Kv	Kv ponderada	Kv por zona
<b>Zona 1</b>	Caña	5463352.41	10315153.45	52.96%	0.1	0.053	0.14
	Bosques mixtos	1803159.36		17.48%	0.2	0.035	
	Cultivos y pastos	3048641.68		29.56%	0.18	0.053	
<b>Zona 2</b>	Caña	14769548.29	47357695.86	31.19%	0.1	0.031	0.15
	Granos básicos	4982250.22		10.52%	0.1	0.011	
	Cultivos y pastos	8,894,360.95		18.78%	0.18	0.034	
	Bosques mixtos	3468430.37		7.32%	0.2	0.015	
	Tejido urbano	29620.03		0.06%	0.09	0	
	Bosques mixtos caducifolios	15213486		32.12%	0.2	0.064	
<b>Suma</b>		57,672,849.31	57,672,849.31				



#### 4.2.6.3 Capacidad de infiltración de los suelos (Kfc).

En el capítulo 3 de este documento se tomaron de campo la capacidad de infiltración por medio del método de Porchet en diferentes puntos de la cuenca en estudio.

Tabla 4.11 – Resultados de ensayos de infiltración obtenidos en campo.

Zona	Ensayo	Coordenada	Ubicación	%Humedad del Suelo	K Infiltración			Promedio mm/día
					(cm/seg)	mm/mes	mm/día	
1	2	476971,	Cantón El Camote	19.66	0.00443	114825.6	159.48	94.506
		301211						
	3	477787,	Cantón El Camote	20.65	0.00058	15059.52	20.916	
		301616						
	8	476006,	Cantón El Puchero	14.15	0.00275	71280	99	
		301401						
	9	475247,	Cantón Mapilapa	24.18	0.0014	36288	50.4	
301248								
10	475319,	Cantón El Llano	10.2	0.00221	57283.2	79.56		
	303293							
11	474470,	Cantón Camotepeque	26.02	0.00438	113529.6	157.68		
	301902							
2	1	475043,	Ciudad de Nejapa	8.45	0.0149	386208	536.4	249.1155
		299755						
	4	475807,	Cantón El Cedral	18.63	0.00828	214617.6	298.08	
		298311						
	5	475600,	Cantón El Cedral	18.29	0.00371	96163.2	133.56	
		298720						
	6	475428,	Ciudad de Nejapa	21.46	0.0364	943488	1310.4	
		299384						
7	475886,	Cantón El Cedral	11.52	0.00226	58579.2	81.36		
	299642							
12	473526,	Cantón El Salitre	12.71	0.00221	57283.2	79.56		
	299305							
13	474304,	Cantón Los Morales	12.83	0.00074	19284.48	26.784		
	298070							

14	475944,	Canto El Nance	8.19	0.00245	63504	88.2
	298117					
15	477069,	La Puerta	8.33	0.017	440640	612
	297923					
16	472346,	Picacho	15.89	0.00037	9460.8	13.14
	293034					
17	471609,	Picacho	22.22	0.00033	8527.68	11.844
	293017					
18	471203,	Picacho	14.67	0.00115	29808	41.4
	292906					
19	471187,	Picacho	11.1	0.00508	131673.6	182.88
	292060					
20	470981,	Cantón la Esperanza	6.45	0.00753	195177.6	271.08
	289867					
21	470070,	El Boquerón	13.31	0.0051	132192	183.6
	290100					
22	469943,	El Boquerón	13.02	0.00321	83203.2	115.56
	290000					

#### 4.2.6.4 Densidad del Aparente del suelo (Ds).

Utilizando los valores de la tabla 5.12 y los mapas Pedológico de la cuenca podemos estimar la densidad aparente de suelos para las zonas 1 y 2

Tabla 4.12 – Parámetros de densidad aparente de los suelos.

TEXTURA DEL SUELO	PORCENTAJE POR PESO DE SUELO SECO		
	PMP%	CC%	DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )
ARENOSO	2-6	6-12	1.55-1.80
FRANCO-ARENOSO	4-8	10-18	1.40-1.60
FRANCO	8-12	18-26	1.35-1.50
FRANCO-ARCILLOSO	11-15	23-31	1.30-1.40
ARCILLO-ARENOSO	13-17	27-31	1.25-1.35
ARCILLOSO	15-19	31-39	1.20-1.30



Fig. 4-8. Delimitación de Nejava en mapa de clasificación de suelos. Fuente “Elaboración propia”

#### 4.2.6.5 Profundidad de las raíces (PR).

Utilizando los valores de la siguiente tabla y los mapas de cultivos y usos de suelos para las zonas 1 y 2 se determinaron los valores de profundidad de raíces en la zona de estudio.

Tabla 4.13 – Profundidad de raíces (Pr) para diferentes cultivos (Greassi, 1976).

<b>PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES</b>	
<b><i>Cultivo</i></b>	<b><i>Metros</i></b>
Alfalfa (pastos)	1 – 2
Algodón	1 – 1.7
Banano	0.5 – 0.8
Caña de azúcar	– 2
Frijol	0.5 – 0.7
Cebolla	0.3 – 0.5
Cítricos	1.20 – 2.0
Zacate	0.3 – 0.5
Bosques	2.0 – 3.0

Tabla 4.14 – Profundidad de raíces según los cultivos existentes en la cuenca del Río San Antonio.

Zona	Cultivos	Área m <sup>2</sup>	Área de zona m <sup>2</sup>	Profundidad de raíces	Porcentaje	Ponderación	Pr
Zona 1	Caña	5463352.41	10315153.5	1.5	52.9643%	0.794465022	1.41
	Bosques mixtos	1803159.36		2.5	17.4807%	0.437017095	
	Cultivos y pastos	3048641.68		0.6	29.5550%	0.177329888	
Zona 2	Caña	14769548.29	47357695.9	1.5	31.1872%	0.467808284	1.63
	Granos básicos	4982250.22		0.6	10.5205%	0.063122795	
	Cultivos y pastos	8894360.95		0.6	18.7812%	0.11268742	
	Bosques mixtos	3468430.37		2.5	7.3239%	0.183097504	
	Tejido urbano	29620.03		0.3	0.0625%	0.000187636	
	Bosques cadúcaseos	15213486		2.5	32.1246%	0.803115825	
Suma		57672849.31					

#### 4.2.6.6 Capacidad de campo, Punto de marchitez y Densidad aparente (CC%).

Utilizando los valores de la tabla siguiente y los mapas tipo de suelos unido al mapa pedológico de suelos (Fig. 4-9) y los cultivos de la región en zonas 1 y 2, se determinó la capacidad de campo.

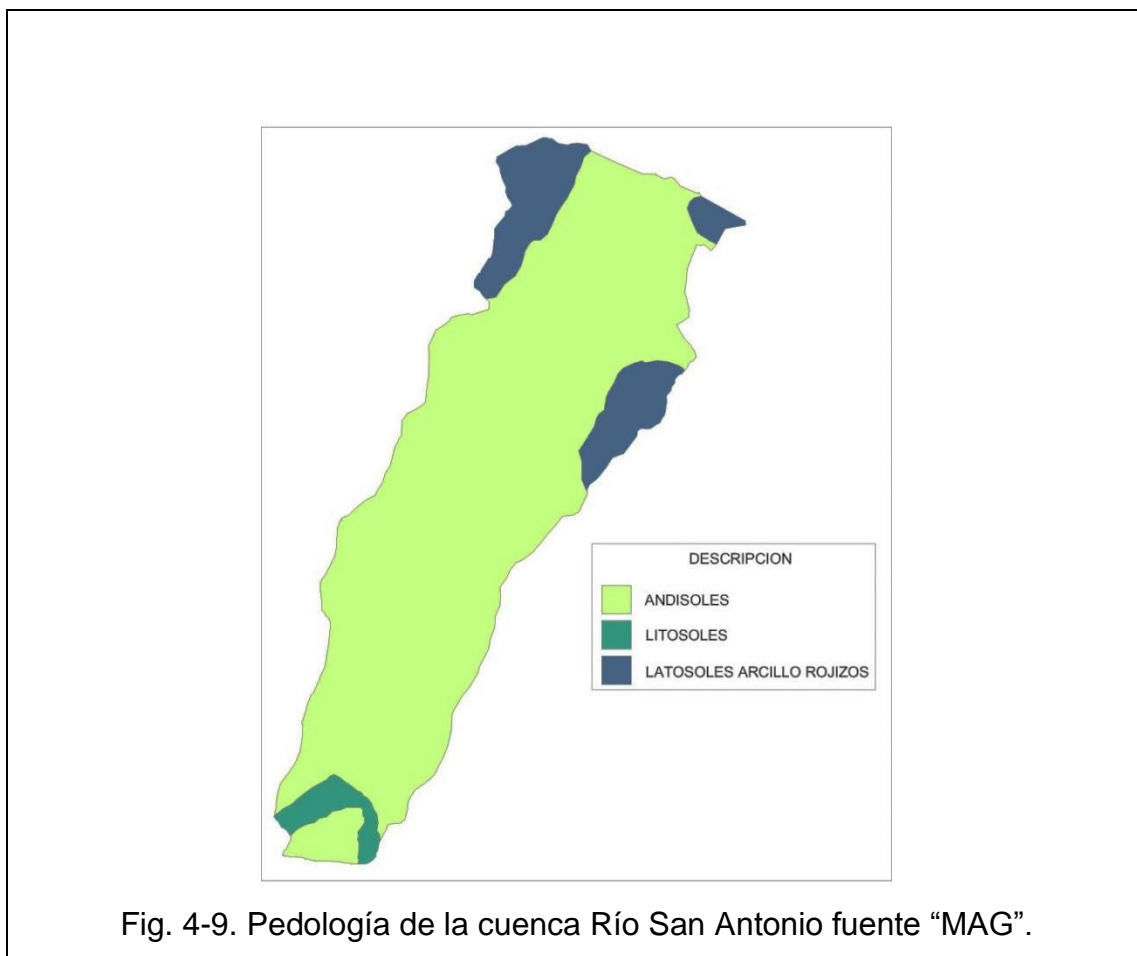


Tabla 4.15 – Parámetros de Punto de marchitez, Capacidad de campo y Densidad aparente.

TEXTURA DEL SUELO	PORCENTAJE POR PESO DE SUELO SECO		
	PMP%	CC%	DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )
ARENOSO	2-6	6-12	1.55-1.80
FRANCO-ARENOSO	4-8	10-18	1.40-1.60
FRANCO	8-12	18-26	1.35-1.50
FRANCO-ARCILLOSO	11-15	23-31	1.30-1.40
ARCILLO-ARENOSO	13-17	27-31	1.25-1.35
ARCILLOSO	15-19	31-39	1.20-1.30

Tabla 4.16 – Capacidad de campo según la pedología y textura de suelos existentes en la cuenca del Río San Antonio.

Zona	Pedológico del suelo	Área m2	Suma	Ponderación (%)	Estación	Área por zona (m2)	Textura del suelo	CC %	Ponderación	CC% ponderada	CC%
Zona 1	Andisoles	5,276,261.36	7,243,263.41	0.09	Aguilares	10,318,860.57	Franco Arenoso	16.00	0.511322091	8.18	20.17
		1,967,002.05		0.03			Franco Arenoso	16.00	0.19062202	3.05	
	Latosoles Arcillo	3,075,597.16	3,075,597.16	0.05			Franco Arcilloso	30.00	0.298055889	8.94	
	Rojizos										
Zona 2	Andisoles	23,964,085.30	41,087,172.00	0.42	Boquerón	47,353,988.71	Franco Arenoso	16.00	0.506062656	8.10	17.04
		17,123,086.70		0.30			Franco Arenoso	16.00	0.361597558	5.79	
	Latosoles Arcillo	3,328,112.66	3,328,112.66	0.06			Franco Arcilloso	30.00	0.07028157	2.11	
	Rojizos										
	Litosoles	996,129.15	1,356,723.40	0.02			Arcilloso	18.00	0.021035802	0.38	
		360,594.25		0.01			Arcilloso	18.00	0.007614865	0.14	
	Andisoles	1,581,980.65	1,581,980.65	0.03			Franco Arenoso	16.00	0.033407548	0.53	
		57,672,849.28	57,672,849.28	1.00							

Tabla 4.17 – Punto de marchitez para la cuenca del Río San Antonio.

Zona	Pedológico del suelo	Área m2	Suma	Ponderación (%)	Estación	Área por zona (m2)	Textura del suelo	PM %	Ponderación	PM% ponderada	PM%
Zona 1	Andisoles	5,276,261.36	7,243,263.41	0.09	Aguilares	10,318,860.57	Franco Arenoso	5	0.511322091	2.56	10.96
		1,967,002.05		0.03			Franco Arenoso	5	0.19062202	0.95	
	Latosoles Arcillo Rojizos	3,075,597.16	3,075,597.16	0.05			Franco Arcilloso	25	0.298055889	7.45	
Zona 2	Andisoles	23,964,085.30	41,087,172.00	0.42	Boquerón	47,353,988.71	Franco Arenoso	5	0.506062656	2.53	6.78
		17,123,086.70		0.3			Franco Arenoso	5	0.361597558	1.81	
	Latosoles Arcillo Rojizos	3,328,112.66	3,328,112.66	0.06			Franco Arcilloso	25	0.07028157	1.76	
	Litosoles	996,129.15	1,356,723.40	0.02			Arcilloso	18	0.021035802	0.38	
		360,594.25		0.01			Arcilloso	18	0.007614865	0.14	
	Andisoles	1,581,980.65	1,581,980.65	0.03			Franco Arenoso	5	0.033407548	0.17	
			57,672,849.28	57,672,849.28			1		57,672,849.28		



Una vez calculados los parámetros necesarios para realizar el cálculo de la recarga potencial, tomando los datos de la siguiente tabla resumen:

Zona	fc (mm/d)	Kp	Kv	Pr (m)	Ds	CC%	PM%
Zona 1	94.506	0.26	0.14	1.41	1.57	20.17	10.96
Zona 2	294.1155	0.06	0.15	1.63	1.58	17.04	6.78

Tabla 4.18 – Resumen de cálculo para los parámetros utilizados en el balance de suelos, cuenca Río San Antonio.

Con estos datos se procedió a desarrollar los balances hídricos de suelos con el método de Gunther Schosinsky, para determinar la recarga potencial del acuífero de Nejapa.

#### 4.2.6.7 Precipitación.

Para determinar los valores de la precipitación, se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas de San Andrés, El Boquerón y Aguilares; el periodo de evaluación para las diferentes precipitaciones comprende desde el año 2007 hasta el año 2013, los datos obtenidos de estas estaciones son precipitaciones diarias (anexo IV – V), tomando las lecturas diarias directas de la página del DGOA (<http://mapas.snet.gob.sv/meteorologia/lluviadiaria.php>), a continuación se muestran las gráficas de las precipitaciones acumuladas.

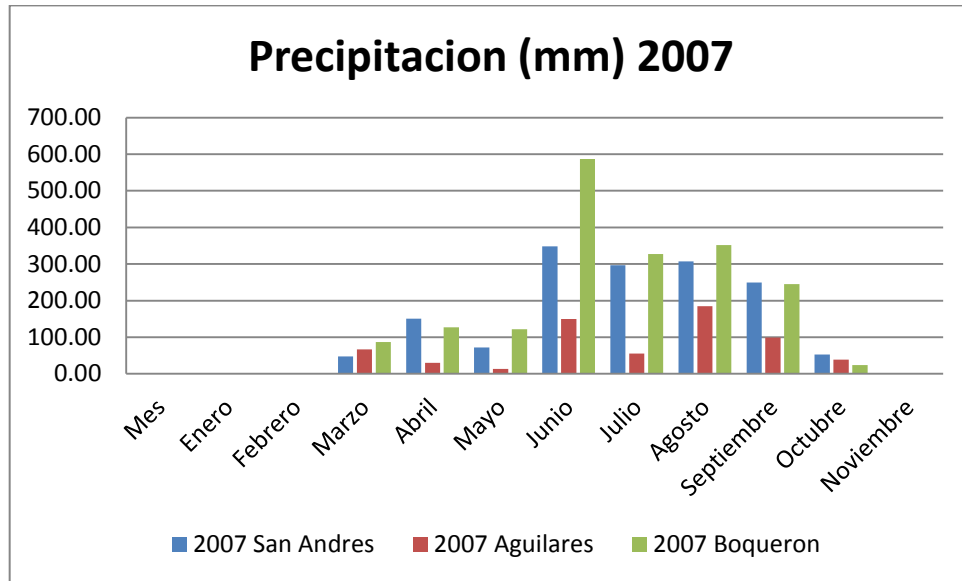


Fig. 4.10 - Precipitaciones año 2007.

Estaciones San Andrés, Aguilares y el Boquerón, fuente de Datos DGOA

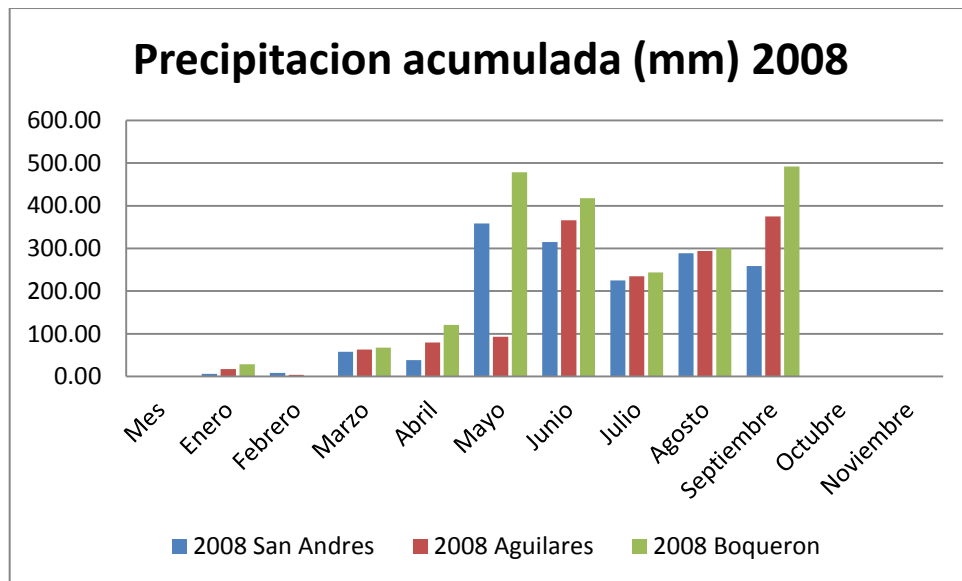


Fig. 4.11 - Precipitaciones año 2008.

Estaciones San Andrés, Aguilares y el Boquerón, fuente de Datos DGOA

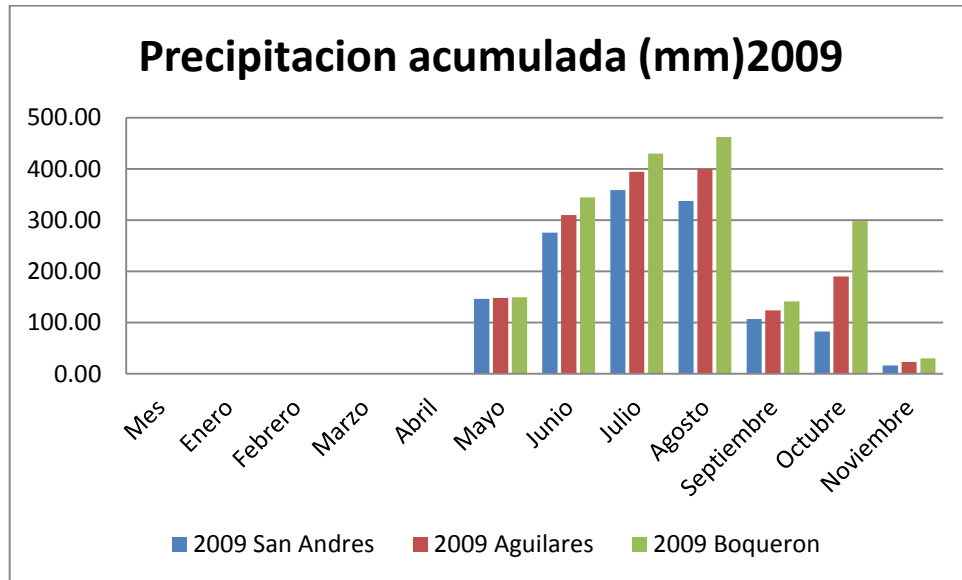


Fig. 4.12 - Precipitaciones año 2009

Estaciones San Andrés, Aguilares y el Boquerón, fuente de Datos DGOA

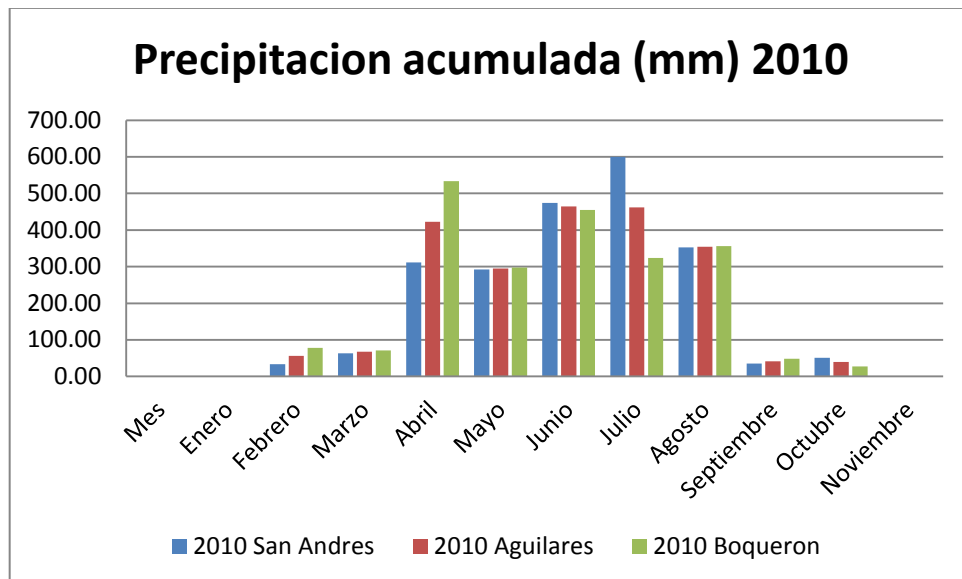


Fig. 4.13 - Precipitaciones año 2010

Estaciones San Andrés, Aguilares y el Boquerón, fuente de Datos DGOA

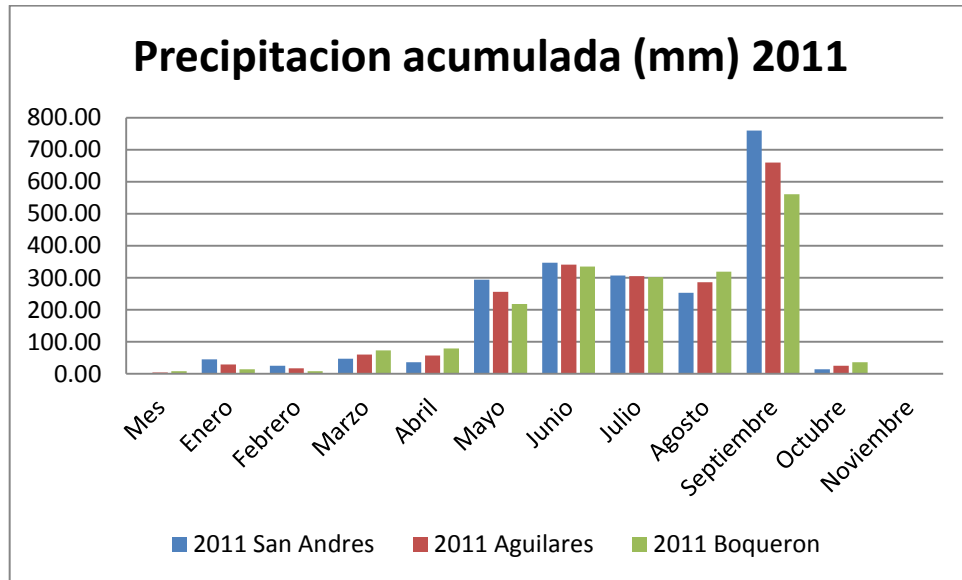


Fig. 4.14 - Precipitaciones año 2011

Estaciones San Andrés, Aguilares y el Boquerón, fuente de Datos DGOA

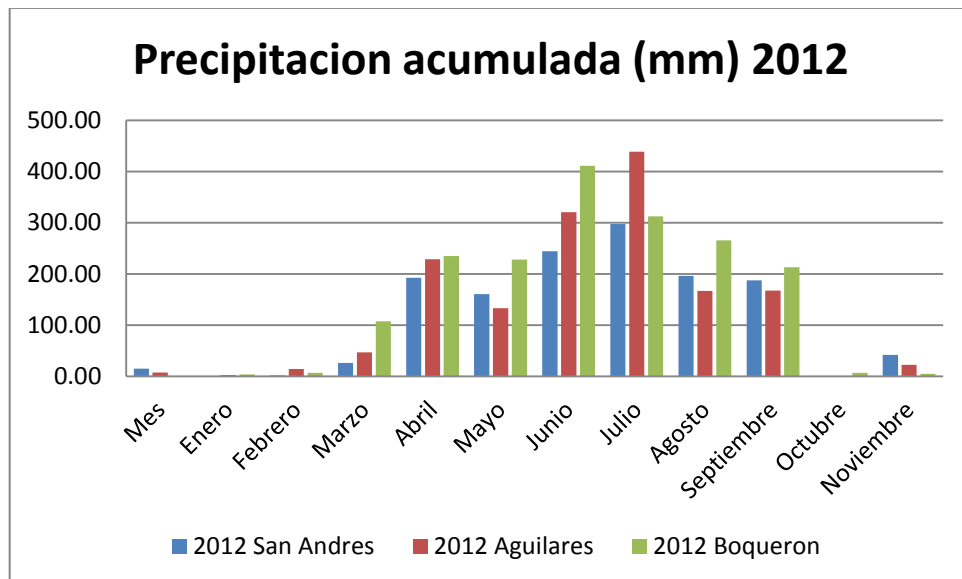


Fig. 4.15 - Precipitaciones año 2012

Estaciones San Andrés, Aguilares y el Boquerón, fuente de Datos DGOA

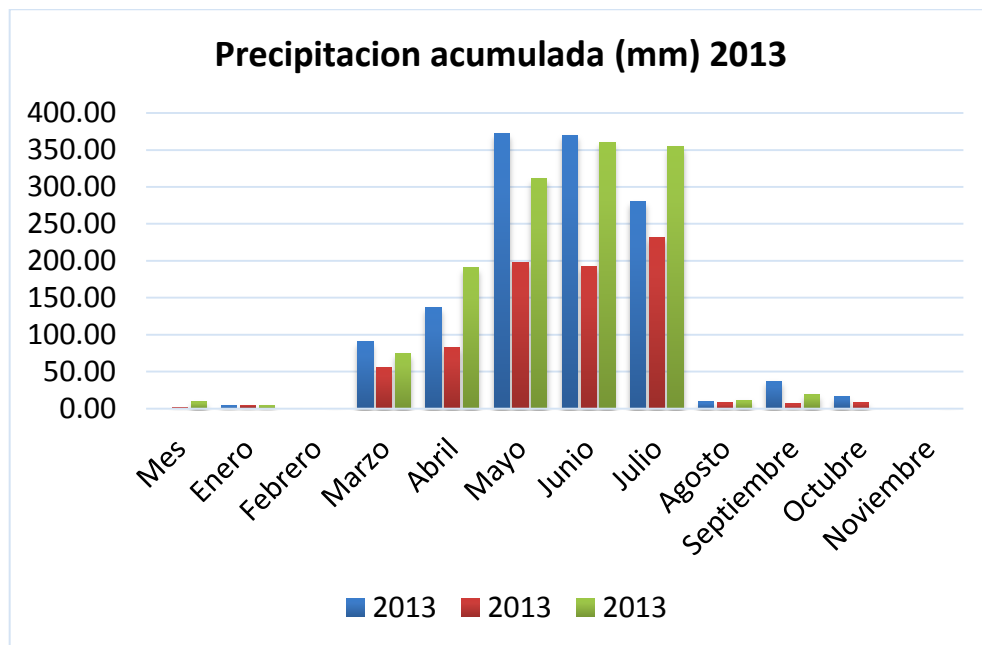
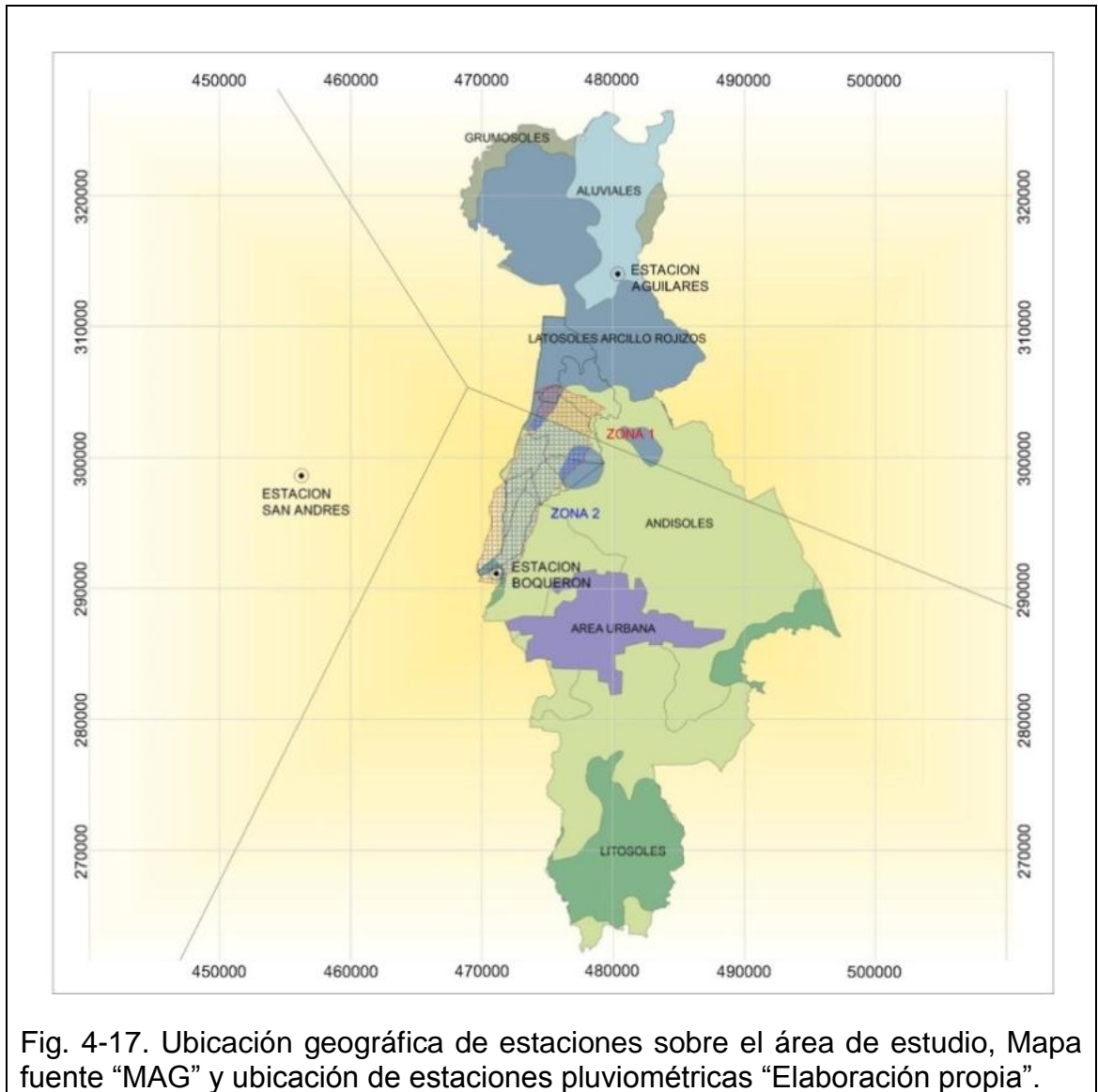


Fig. 4.16 - Precipitaciones año 2013

Estaciones San Andrés, Aguilares y el Boquerón, fuente de Datos DGOA



A continuación se presentan las precipitaciones acumuladas mensuales de las tres estaciones, se puede observar que los meses "secos" o donde la precipitación tiende a cero, son entre Noviembre y Marzo, por lo que la recarga del acuífero se da en los meses intermedios de, es estos 5 meses "secos", la evapotranspiración se da en la superficie de la cuenca y las plantaciones de la cuenca toman el agua que sube por tensión capilar desde la zona saturada hasta la zona no saturada.

Tabla 4.19 – Precipitaciones Acumuladas 5 años 1er Semestre.

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
<b>2007</b>	San Andrés	0	0	0	47.3	151	71.9
	Aguilares	0	0	0	66.9	29.8	13.7
	Boquerón	0	0	0	86.5	127	122
<b>2008</b>	San Andrés	0	5.9	8.6	57.6	38.2	358.7
	Aguilares	0	17.45	4.3	62.8	79.7	93.1
	Boquerón	0	29	0	68	121.2	478.21
<b>2009</b>	San Andrés	0	0	0	0	0	146.2
	Aguilares	0	0	0	0	0.1	147.9
	Boquerón	0	0	0	0	0.2	149.6
<b>2010</b>	San Andrés	0	0	33.5	63.6	311.6	291.9
	Aguilares	0	0	55.85	67.3	422.4	294.75
	Boquerón	0	0	78.2	71	533.2	297.6
<b>2011</b>	San Andrés	1	45.2	25.5	47.3	36.3	293.7
	Aguilares	4.5	29.7	17	60	57.65	256.05
	Boquerón	8	14.2	8.5	72.7	79	218.4
<b>2012</b>	San Andrés	15.2	0	2.1	26.4	192.6	160.5
	Aguilares	7.8	2.6	14.8	47.2	229	133
	Boquerón	0.4	3.8	7.2	107.4	234.8	228.2
<b>2013</b>	San Andrés	0	4.3	0	90.3	136.1	372.4
	Aguilares	1.6	3.8	0	55.6	82.2	197.4
	Boquerón	9.4	4.4	0.6	73.8	190.6	310.8

Tabla 4.20 – Precipitaciones Acumuladas periodo 5 años 2º Semestre.

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
<b>2007</b>	San Andrés	348.6	296.2	306.7	249.7	53.1	0
	Aguilares	149.8	55	184.4	98.6	38.45	0
	Boquerón	586.8	326.8	351.4	244.8	23.8	0
<b>2008</b>	San Andrés	314.8	225	288.4	258.5	0	0
	Aguilares	366.1	234.5	294.1	375.05	0	0
	Boquerón	417.4	244	299.8	491.6	0	0
<b>2009</b>	San Andrés	275.8	358.5	337.6	106.64	82.6	16.7
	Aguilares	310	394.05	400.1	124.02	190.3	23.45
	Boquerón	344.2	429.6	462.6	141.4	298	30.2
<b>2010</b>	San Andrés	473.8	599.6	352.5	34.8	51.3	0
	Aguilares	464.3	461.8	354.15	41.6	39.5	0
	Boquerón	454.8	324	355.8	48.4	27.7	0
<b>2011</b>	San Andrés	347.4	307.5	252.8	759.8	14.6	0
	Aguilares	341	304.75	285.8	660.1	25.5	0
	Boquerón	334.6	302	318.8	560.4	36.4	0
<b>2012</b>	San Andrés	244.1	297.6	196	187.5	0	42
	Aguilares	320.6	438.6	167.2	167.6	1	22.8
	Boquerón	411.4	312.4	265.8	213.1	7.2	5
<b>2013</b>	San Andrés	370	280	196	187.5	0	42
	Aguilares	191.6	231.2	167.2	167.6	1	22.8
	Boquerón	359.6	355	265.8	213.1	7.2	5



Tabla 4.21 –Tabla resumen de resultados de balance hídrico de suelos utilizando el método Gunther Schosinsky utilizando ETP Thornthwaite (Método 1).

ZONA I							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
P (mm)	636.65	1527.10	1589.92	2201.65	2042.05	1552.20	1122.00
Ret [mm]	81.56	189.94	193.06	264.47	255.34	198.98	142.54
Pi (mm)	491.38	1185.99	1236.55	1714.87	1581.66	1197.92	867.06
ESC (mm)	63.70	151.17	160.30	222.31	205.04	155.30	112.40
ETP (mm)	2706.60	2215.06	2042.08	2054.02	2039.77	2058.89	2040.38
ETR (mm)	508.35	987.20	909.35	1121.15	1052.21	957.48	820.35
Rp (mm)	0.00	144.57	272.97	539.50	475.23	194.37	0.00
NR (mm)	3437.90	2032.66	1886.09	1628.61	1670.60	1771.65	2008.61
ZONA II							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
P (mm)	1869.10	2149.21	1855.80	2190.70	1953.00	1796.70	1795.30
Ret [mm]	337.15	386.86	334.21	394.34	361.01	338.36	338.37
Pi (mm)	1469.64	1690.68	1459.71	1723.30	1527.24	1399.03	1397.68
ESC (mm)	62.30	71.67	61.88	73.06	64.75	59.31	59.25
ETP (mm)	2042.66	2052.82	2042.08	2054.02	2039.77	2058.89	2040.38
ETR (mm)	1026.64	1186.99	1030.98	1148.80	1108.48	1113.58	1070.79
Rp (mm)	345.74	406.43	331.46	477.24	321.49	188.19	229.63
NR (mm)	2246.84	1912.46	2210.89	2026.42	2053.36	2098.76	2132.22

Tabla 4.22 – Resumen de resultados de balance hídrico de suelos utilizando el método Gunther Schosinsky, utilizando ETP Hargreaves (Método 2).

ZONA I							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>P (mm)</b>	636.65	1527.10	1589.92	2201.65	2042.05	1552.20	1122.00
<b>Ret [mm]</b>	81.56	189.94	193.06	264.47	255.34	198.98	142.54
<b>Pi (mm)</b>	492.33	1185.99	1238.94	1718.19	1584.72	1200.23	868.74
<b>ESC (mm)</b>	62.75	151.17	157.91	219.00	201.99	152.98	110.73
<b>ETP (mm)</b>	1708.00	1708.00	1708.00	1708.00	1708.00	1708.00	1708.00
<b>ETR (mm)</b>	464.44	832.89	815.29	926.34	916.31	872.39	789.15
<b>Rp (mm)</b>	0.00	298.88	369.43	737.62	614.19	273.62	25.36
<b>NR (mm)</b>	2226.41	1594.33	1553.25	1435.78	1416.65	1463.65	1630.56
ZONA II							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>P (mm)</b>	1869.10	2149.21	1855.80	2190.70	1953.00	1796.70	1795.30
<b>Ret [mm]</b>	337.15	386.86	334.21	394.34	361.01	338.36	338.37
<b>Pi (mm)</b>	1469.64	1690.68	1459.71	1723.30	1527.24	1399.03	1397.68
<b>ESC (mm)</b>	62.30	71.67	61.88	73.06	64.75	59.31	59.25
<b>ETP (mm)</b>	1708.00	1708.00	1708.00	1708.00	1708.00	1708.00	1708.00
<b>ETR (mm)</b>	910.35	1001.44	910.43	955.44	968.38	973.23	954.04
<b>Rp (mm)</b>	462.03	591.97	452.01	670.60	461.60	328.53	346.38
<b>NR (mm)</b>	1949.13	1710.57	1909.45	1844.88	1794.69	1798.45	1835.28

#### 4.3 Cálculo del volumen de recarga potencial anual en la cuenca.

Para realizar el cálculo de la recarga potencial, se seleccionan las áreas de diferente clasificación de suelo, ya que estas se supone tienen una

permeabilidad similar. En cada área conformada por una misma geología, se puede obtener un promedio de la permeabilidad.

En nuestro estudio al existir dos estaciones meteorológicas, con diferentes valores de precipitación mensual dentro de la cuenca, para mayor exactitud, realizamos los polígonos de Thiessen, para aplicar la precipitación correspondiente a cada polígono. Al final obtuvimos valores diferentes de recarga potencial para cada zona asignada a una estación meteorológica, y la sumatoria de las recargas potenciales para cada zona, es la recarga potencial para la cuenca del Río San Antonio.

El cálculo de los volúmenes de agua que recarga al acuífero estará dado por la siguiente ecuación:

$$VRp = (Rp) \times A \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Dónde:

V = Volumen de recarga [ $m^3/año$ ].

Rp = Recarga potencial al acuífero [ $m/año$ ].

A = Área de la cuenca [ $m^2$ ]

$$VEtr = (Etr) \times A \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Dónde:

V = Volumen de recarga [ $m^3/año$ ].

VEtr = Evapotranspiración real [ $mm/año$ ].

A = Área de la cuenca [ $m^2$ ]

$$VP = (P) \times A \quad \text{Ecuación 4.13}$$

V = Volumen de recarga [ $m^3/año$ ].

P = Precipitación acumulada mensual [ $mm/mes$ ].

A = Área de la cuenca [ $m^2$ ]

Realizando el cálculo del volumen en el área de la cuenca, sustituyendo la recarga potencial obtenida para cada año en el periodo 2007-2013.

Tabla 4.23 – Tabla Volumen en Millones de metros cúbicos, para los resultados del balance hídrico de los suelos por el método Gunther Schosinsky para los dos métodos de cálculo de ETP.

<b>Resultados del Balance Hídrico de suelos</b>							
<b>THORNTHWAITE (Método 1)</b>							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>P (Hm<sup>3</sup>)</b>	95.08	117.53	104.29	126.46	113.55	101.10	96.59
<b>ETP (Hm<sup>3</sup>) (T)</b>	124.66	120.07	117.77	118.46	117.64	118.74	117.67
<b>ETR((Hm<sup>3</sup>) (T)</b>	53.86	66.40	58.20	65.97	63.35	62.61	59.17
<b>Rp (Hm<sup>3</sup>) (T)</b>	16.37	20.74	18.51	28.17	20.13	10.92	10.87
<b>HARGREAVES (Método 2)</b>							
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>P (Hm<sup>3</sup>)</b>	95.08	117.53	104.29	126.46	113.55	101.10	96.59
<b>ETP ((Hm<sup>3</sup>) (H)</b>	98.51	98.51	98.51	98.51	98.51	98.51	98.51
<b>ETR(Hm<sup>3</sup>) (H)</b>	47.90	56.02	51.53	54.80	55.31	55.09	53.32
<b>Rp (Hm<sup>3</sup>) (H)</b>	21.88	31.12	25.22	39.37	28.20	18.38	16.66

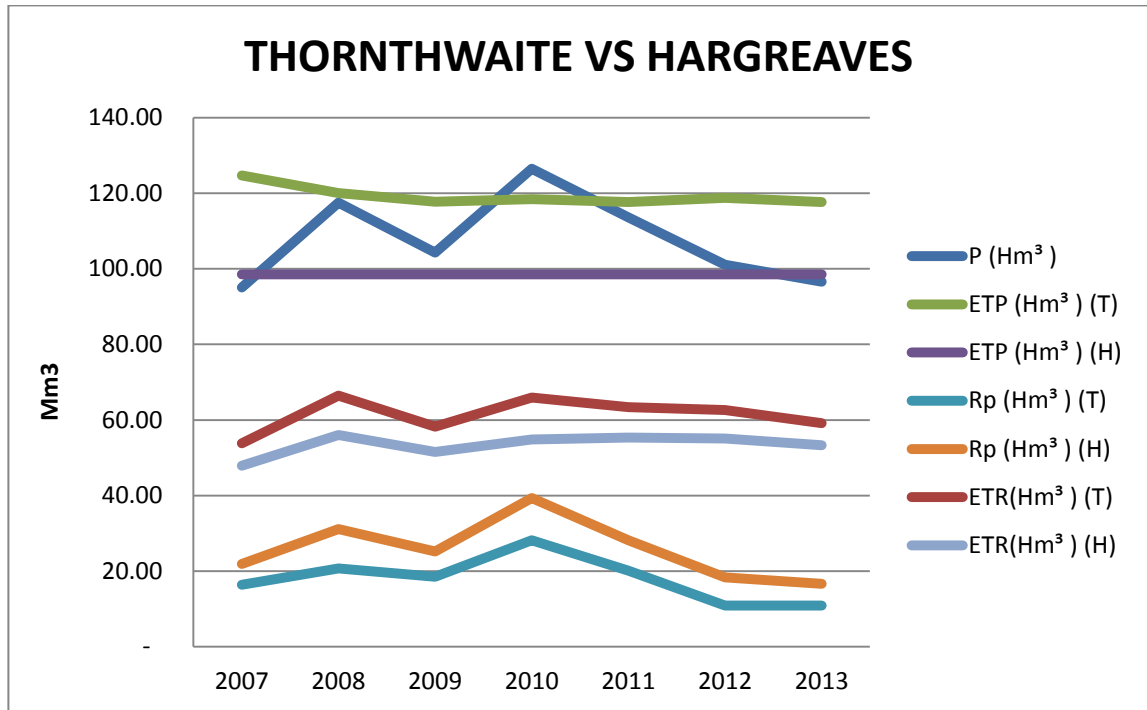


Fig. 4.18 - Comparación de los resultados obtenidos por el método 1 (T) y el método 2 (H).

#### 4.3.2 Cálculo del caudal de salida de la cuenca por el río.

El río San Antonio es efluente, es decir, recibe agua procedente del acuífero. Por este motivo, se tiene que considerar un caudal de salida del acuífero al río, que corresponde al flujo base del mismo (volumen de agua que lleva en período seco).

El cálculo del caudal de salida por el río se determina en base a las pruebas de medición de caudal, descritas y desarrolladas en el capítulo 3 de este documento.

De las pruebas de aforo al río obtuvimos un caudal de  $0.42 \text{ m}^3/\text{seg}$ , realizando las respectivas conversiones obtenemos que el caudal de agua por año

aportado del acuífero al Río San Antonio es de 13.24 Hm<sup>3</sup>/año; por lo tanto tenemos que para un año el acuífero de Nejapa aporta 13.24 Hm<sup>3</sup> al Río San Antonio.

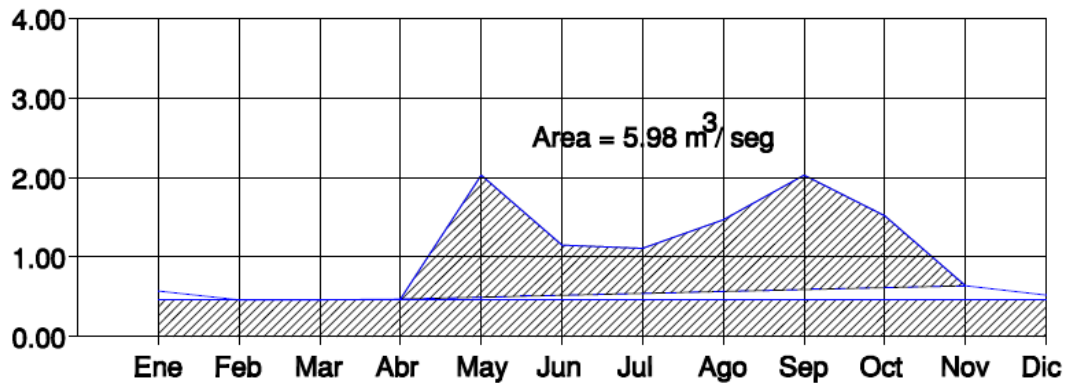
Se tomara este valor para el cálculo en los 7 años como caudal base debido a la falta de información, pero personas que viven aledañas al río manifiestan que los niveles del río se mantienen constantes durante todas las épocas del año, excepto cuando hay crecidas por lluvias recurrentes.

Tabla 4.24 – Tabla de caudales promedio mensuales del río San Antonio.

Fuente: “Caracterización de los Recursos Hídricos del Municipio de Nejapa”.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total Promedio Anual
Caudal Río San Antonio (m <sup>3</sup> /s)	0.57	0.46	0.45	0.47	2.03	1.15	1.11	1.47	2.03	1.52	0.64	0.52	1.03

Fig. 4-19. Caudal base del Río San Antonio “Elaboración propia”.



Utilizando este promedio tenemos que el caudal promedio anual es 1.03 m<sup>3</sup>/s equivalente a 32.48 Hm<sup>3</sup>/Año.

Tomando como caudal base el aforado en nuestro estudio de 13.24 Hm<sup>3</sup>/Año obtenemos mediante la diferencia la escorrentía superficial que sale de la cuenca producto del aumento del caudal en época lluviosa.

$$\text{Escorrentía} = 32.48 \text{ Hm}^3/\text{Año} - 13.24 \text{ Hm}^3/\text{Año} = 19.24 \text{ Hm}^3/\text{Año}$$

Comparando los resultados obtenidos mediante el método de Gunther Schosinsky la escorrentía superficial resultante se muestra a continuación:

<b>THORNTHWAITE</b>							
	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Zona 1</b>	0.66	1.56	1.65	2.29	2.12	1.60	1.16
<b>Zona 2</b>	2.95	3.39	2.93	3.46	3.07	2.81	2.81
<b>Cuenca</b>	3.61	4.95	4.58	5.75	5.18	4.41	3.97
<b>HARGREAVES</b>							
	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Zona 1</b>	0.65	1.56	1.63	2.26	2.08	1.58	1.14
<b>Zona 2</b>	2.95	3.39	2.93	3.46	3.07	2.81	2.81
<b>Cuenca</b>	3.60	4.95	4.56	5.72	5.15	4.39	3.95

Por lo que utilizaremos el resultado del aforo utilizado en el estudio de “Caracterización de los Recursos Hídricos del Municipio de Nejapa”. Ya que son resultados de una estación de aforo utilizada para este fin tomando el aforo realizado en el capítulo 3 como caudal base del río para épocas secas.

#### **4.3.3 Datos de Pruebas de Aforo de Pozos Históricos.**

La información proveniente de los pozos, principalmente en lo que respecta a los niveles estáticos, corresponden en la mayoría de los casos, a los medidos en el momento del inicio de operaciones de pozo, es decir, al periodo comprendido entre la década de los años 70's y 90's; ya que existieron limitantes para la determinación de los niveles estáticos debido a que los pozos se encontraban siempre en funcionamiento.

En la tabla del anexo IV-IV se muestra el inventario de pozos que forman parte de los registros de ANDA, MARN y otros estudios medioambientales realizados sobre el acuífero de Nejapa donde se muestran los pozos utilizados para extraer agua subterránea del acuífero de Nejapa.

Para las extracciones de los pozos se considera un funcionamiento de 18 horas de operación, por otra parte, se establece que existen una cantidad importante de aprovechamientos que no han sido reportados a ANDA, es decir, no se tiene disponibilidad de sus datos por lo que la institución hace un estimado de extracción, donde se determina un volumen total no reportado de 5.96 millones de m<sup>3</sup> el cual será reflejado en los volúmenes totales de la tabla que se muestra en los anexos IV-VI, donde el total de volumen extraído del acuífero de Nejapa es de 34.67 Hm<sup>3</sup> anuales considerando un bombeo continuo de 24 horas, al considerar un bombeo de 18 horas el volumen se reduce a 26.00 Hm<sup>3</sup> anuales de extracción.



#### **4.3.4 Cálculo de la reserva del acuífero.**

La variación en el almacenamiento es la medida en la que el acuífero gana o pierde volumen de agua, en este se considera únicamente las entradas o recargas hídricas al acuífero y las salidas o extracciones del acuífero. Se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Entradas} - \text{Extracciones} \pm \Delta \text{ Variación en el Almacenamiento} = \text{Reserva del acuífero}$$

Para el cálculo del potencial hídrico del acuífero de Nejapa es necesario conocer el espesor del acuífero, para determinar el espesor del acuífero es necesario realizar una serie de sondeos geoelectrónicos verticales para determinar la litología presente y obtener un espesor promedio del acuífero; esto no ha sido posible en nuestro estudio, dadas las limitaciones con el equipo geo eléctrico, por este motivo, se han utilizado los valores obtenidos en pruebas realizadas por Laura Gil Urrutia & Mario E. Arias Salguero (2007) en las que se realizaron varios sondeos geoelectrónicos en la cuenca del río San Antonio, con el fin de determinar el espesor del acuífero, del estudio se determina que el acuífero mantiene secciones variables, el acuífero de Nejapa se desarrolla dentro de la cuenca del Río San Antonio, al norte de manera más profunda, mientras que al sur, cercano al casco urbano de Nejapa se encuentra con niveles estáticos más someros, es por este motivo que las industrias de bebidas se ubican dentro de esta zona, por lo que el estudio realizado por Gil & E. Arias Salguero (2007) proporciona un valor promedio de espesor del acuífero de 40 metros. Dado este valor podemos determinar el almacenamiento del acuífero cuando este está a su máxima capacidad.

Tabla 4.25 – Tabla reserva acuífera de Nejapa.

<b>Reserva en el acuífero.</b>	
Espesor del acuífero (m)	40.00
Área de la cuenca (m <sup>2</sup> )	57,672,849.28
Volumen de agua en cuenca (m <sup>3</sup> )	2,306,913,971.20
Volumen de almacenamiento Hm <sup>3</sup>	2,306.91

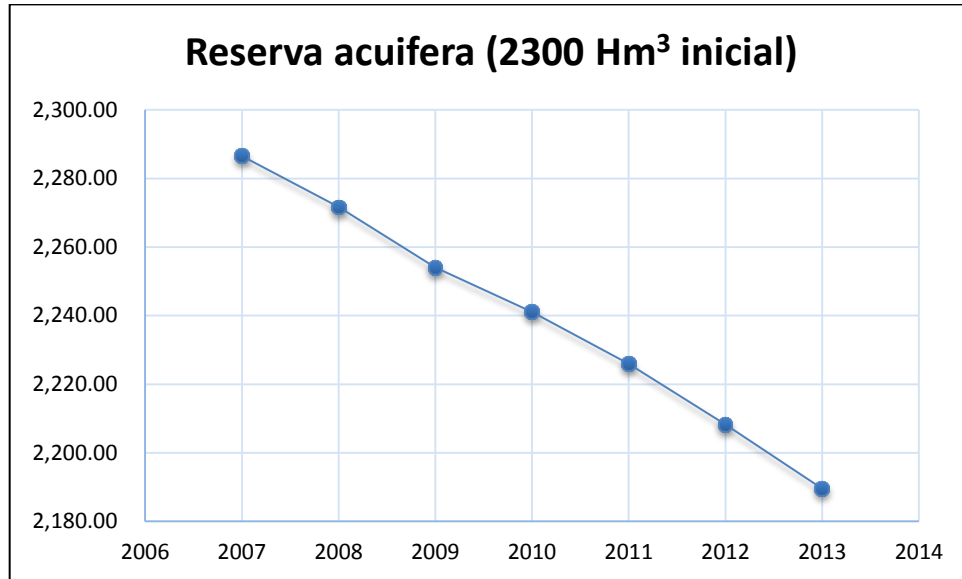
Utilizando resultados obtenidos por el método de THORNTHWAITE para el cálculo de la evapotranspiración, debido a que presenta la condición más desfavorable para la cuenca

Tabla 4.26 – Balance hídrico realizado por el método de balance hídrico de agua.

Año	Precipitación	ETR	Recarga Potencial Hm <sup>3</sup> /año	Escorrentía superficial Hm <sup>3</sup> /año	Extracción por bombeo Hm <sup>3</sup> /año	Variación almacenamiento Hm <sup>3</sup> /m3	Reserva acuífera (2300 Hm <sup>3</sup> inicial)
	anual Hm <sup>3</sup> /año	Hm <sup>3</sup> /año					
2007	95.08	53.86	16.37	19.24	26	-20.4	2,286.52
2008	117.53	66.4	20.74	19.24	26	-14.84	2,271.67
2009	104.29	58.2	18.51	19.24	26	-17.68	2,254.00
2010	126.46	65.97	28.17	19.24	26	-2.92	2,241.07
2011	113.55	63.35	20.13	19.24	26	-15.17	2,225.91
2012	101.1	62.61	10.92	19.24	26	-17.68	2,208.23
2013	96.59	59.17	10.87	19.24	26	-18.7	2,189.54

El valor negativo indica que el acuífero está aportando más recursos hídricos de los que recarga, es decir el acuífero de Nejapa está siendo sobreexplotado por los diversos usos industriales, agrícolas y de abastecimiento urbano a los que es sometido.

Fig. 4.20 - Proyección de la reserva acuífera de Nejapa.



**CAPÍTULO V.  
ANÁLISIS DE RESULTADOS  
Y PLAN DE MONITOREO.**

## 5.1 Análisis Comparativo del Índice de la Calidad del Agua “ICA” del Río San Antonio.

Para realizar el análisis comparativo se ha realizado la comparación con resultados de estudios realizados en años anteriores para observar el incremento o disminución de contaminantes vertidos en el Río San Antonio.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por el análisis de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas del Río San Antonio de la tesis para optar al grado de ingeniero químico **“Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de Lavaderos Públicos del Municipio de Nejapa.”**.

Tabla 5.1 – Resultados de análisis de laboratorio de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de aguas del río San Antonio, tesis de ingeniería química.

<b>Resultados del análisis de muestra de agua tomada en el río San Antonio.</b>		
<b>Parámetro.</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Coliformes totales	>16,000,000	NMP/100 mL
Coliformes Fecales	16,000,000	NMP/100 mL
pH	7.25	unidades de pH
DBO <sub>5</sub>	4.8	mg/ L
Nitratos	84.3	mg/ L
Fosfatos	21.6	mg/ L
Cambio de la Temperatura	4.5	°C
Turbidez	0	UNT
Sólidos disueltos Totales	214	mg/ L
Oxígeno Disuelto	7.5	mg/L

Fuente: “Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de Lavaderos Públicos del Municipio de Nejapa.” Análisis de laboratorio efectuado por ESPINSA. Fecha de muestreo 08/08/02.

El punto de muestreo para estos resultados está ubicado un kilómetro aguas arriba del punto de muestreo número uno de la presente tesis de investigación.

A continuación se procede a calcular el Índice de Calidad del Agua “ICA” para los resultados obtenidos en la tesis “Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de Lavaderos Públicos del Municipio de Nejapa”.

Tabla 5.2 – Resultados de ICA Río San Antonio, tesis de ingeniería química.

Parámetro.		Valor	Unidades	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>	Total
1	Coliformes Fecales	16X10 <sup>5</sup>	NMP/100 mL	3	0.15	1.18
2	pH	7.25	unidades de pH	92	0.12	1.72
3	DBO <sub>5</sub>	4.8	mg/ L	56	0.10	1.50
4	Nitratos	84.3	mg/ L	4	0.10	1.15
5	Fosfatos	21.6	mg/ L	5	0.10	1.17
6	Cambio de la Temperatura	4.5	°C	71	0.10	1.53
7	Turbidez	0	UNT	100	0.08	1.45
8	Sólidos disueltos Totales	214	mg/ L	72	0.08	1.41
9	Oxígeno Disuelto	91	% saturación	94	0.17	2.16
<b>Valor del ICA</b>					<b>π</b>	<b>27.62</b>

Ver Cálculos en Anexo V-I.

Los resultados obtenidos para el análisis de la calidad del agua de la tesis “Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de Lavaderos Públicos del Municipio de Nejapa.” Determinan una calidad del agua como mala, de acuerdo con la tabla siguiente.

Tabla 5.3 – Estimación de ICA Río San Antonio, tesis de ingeniería química.

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR	VALOR OBTENIDO	ESTIMACION DE CALIDAD
<b>Excelente</b>		91 a 100	27.62	<b>MALA</b>
<b>Buena</b>		71 a 90		
<b>Regular</b>		51 a 70		
<b>Mala</b>		26 a 50		
<b>Pésima</b>		0 a 25		

Fuente: Lobos. José. Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES 2002.

## 5.2 Análisis Comparativo del Índice de la Calidad del Agua “ICA” de Pozos en la Región del Acuífero de Nejapa.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por el análisis de laboratorio de los componentes fisicoquímicos de las aguas de pozos perforados en la cuenca del río San Antonio del informe presentado por geólogos del mundo en el documento titulado “CARACTERIZACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS, DIRECTRICES PARA LA ORDENACIÓN TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE NEJAPA.

Tabla 5.4 – Resultados de análisis de laboratorio de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de aguas de pozo, Geólogos del Mundo.

Resultados del análisis de muestra de agua tomada en Pozo ANDA, cantón El Cambio, Nejapa. CódigoAP-14.		
Parámetro.	Valor	Unidades
<b>Coliformes totales</b>	46000	NMP/100 mL
<b>Coliformes Fecales</b>	46000	NMP/100 mL
<b>pH</b>	4.64	unidades de pH
<b>DBO<sub>5</sub></b>	3.00	mg/ L
<b>Nitratos</b>	13.2	mg/ L
<b>Fosfatos</b>	0.47	mg/ L
<b>Cambio de la Temperatura</b>	0	°C
<b>Turbidez</b>	1.33	UNT
<b>Sólidos disueltos Totales</b>	0.22	mg/ L
<b>Oxígeno Disuelto</b>	6.00	mg/L

Fuente: CARACTERIZACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS, DIRECTRICES PARA LA ORDENACIÓN TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE NEJAPA, fecha de muestreo 30/09/96.

El punto de muestreo para este pozo se ubica a 2.5 km al sur oeste del punto de muestreo número uno de la presente tesis de investigación.

A continuación se procede a calcular el Índice de Calidad del Agua “ICA” para los resultados obtenidos en informe presentado por geólogos del mundo en el documento titulado CARACTERIZACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS, DIRECTRICES PARA LA ORDENACIÓN TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE NEJAPA.



Tabla 5.5 – Resultados de ICA de aguas de pozo, Geólogos del Mundo.

Parámetro.		Valor	Unidades	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>	Total
1	Coliformes Fecales	46000	NMP/100 mL	8	0.15	1.37
2	pH	4.64	unidades de pH	16	0.12	1.39
3	DBO <sub>5</sub>	3.00	mg/ L	67	0.10	1.52
4	Nitratos	13.2	mg/ L	47	0.10	1.47
5	Fosfatos	0.47	mg/ L	71	0.10	1.53
6	Cambio de la Temperatura	0	°C	92	0.10	1.57
7	Turbidez	1.33	UNT	98	0.08	1.44
8	Sólidos disueltos Totales	0.22	mg/ L	80	0.08	1.42
9	Oxígeno Disuelto	73	% saturación	74	0.17	2.08
<b>Valor del ICA</b>				<b>π</b>		<b>43.8</b>

Ver Cálculos en anexos V-II.

Los resultados obtenidos para el análisis de la calidad del agua del informe presentado por geólogos del mundo en el documento titulado CARACTERIZACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS, DIRECTRICES PARA LA ORDENACIÓN TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE NEJAPA, determinan una calidad del agua como mala, de acuerdo con la tabla siguiente.

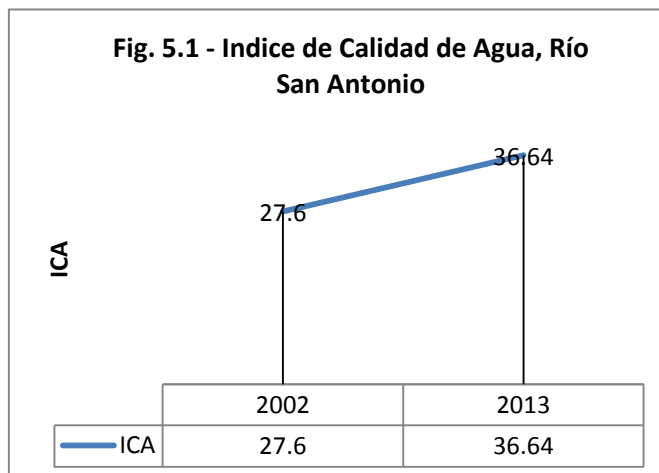
Tabla 5.6 – Estimación de ICA de aguas de pozo, Geólogos del Mundo.

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR	VALOR OBTENIDO	ESTIMACION DE CALIDAD
Excelente		91 a 100	43.7	<b>MALA</b>
Buena		71 a 90		
Regular		51 a 70		
Mala		26 a 50		
Pésima		0 a 25		

Fuente: Lobos. José. Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES 2002.

### 5.3 Análisis Comparativo de Muestras de Agua Provenientes del Río San Antonio.

En esta sección se analiza la evolución de la calidad del agua a través de un periodo de 11 años, tomando como base para el análisis comparativo, los resultados de composición fisicoquímica y bacteriológica de las muestras de aguas procedentes del río San Antonio, de la tesis realizada por la escuela de ingeniería química.



A pesar de los vertidos industriales, agrícolas y de asentamientos urbanos que se han venido depositando al río a lo largo de los años, se observa de la gráfica anterior, que aun cuando difieren los puntos de muestreo una distancia de un kilómetro, la cual ha sido recorrida y observada con variaciones de condiciones del río muy leves, la evolución de la calidad de las aguas muestra

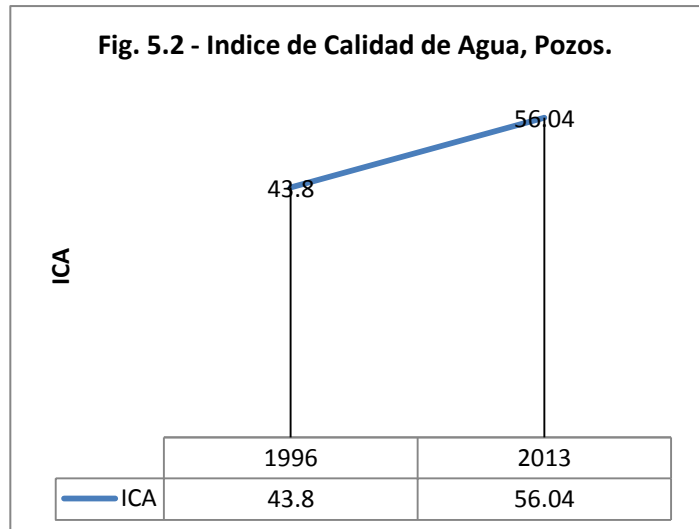
una mejoría en cuanto a su calidad, sin embargo su estimación de calidad sigue siendo mala, manteniendo una diversidad baja de la vida acuática en sus aguas.

Tabla 5.7 – Resumen comparativo de ICA, análisis fisicoquímico y bacteriológico de muestras tomadas del río San Antonio.

PARAMETRO	UNIDAD	AÑO		
		2002	2013	2013
		<b>TESIS DE INGENIERIA QUIMICA</b>	<b>MUESTRA 1 TESIS BALANCE HIDRICO</b>	<b>MUESTRA 2 TESIS BALANCE HIDRICO</b>
<b>ICA</b>	-	27.6	36.64	40.85
<b>Coliformes Fecales</b>	NMP/100 mL	16,000,000	170,000	170,000
<b>pH</b>	unidades de pH	7.25	6.76	6.94
<b>DBO5</b>	mg/ L	4.80	16.60	5.10
<b>Nitratos</b>	mg/ L	84.30	2.60	2.70
<b>Fosfatos</b>	mg/ L	21.60	4.30	4.00
<b>Cambio de la Temperatura</b>	° C	4.50	5.00	5.00
<b>Turbidez</b>	UNT	0.00	9.29	31.80
<b>Sólidos disueltos Totales</b>	mg/ L	214.00	166.00	176.00
<b>Oxígeno Disuelto</b>	% saturación	91.00	109.00	96.00

#### 5.4 Análisis Comparativo de Muestras de Agua Provenientes Pozos.

En esta sección se analiza la evolución de la calidad del agua a través de un periodo de 17 años, tomando como base para el análisis comparativo, los resultados de composición fisicoquímica y bacteriológica de las muestras de aguas procedentes de pozo del informe presentado por



Geólogos del Mundo, para la ordenación territorial del municipio de Nejapa.

Los resultados obtenidos para la determinación de calidad de las aguas de los pozos que son alimentados por el acuífero de Nejapa, presentan una variación mínima, en la que, a través de los años el acuífero se ha depurado en sus aguas, teniendo una mejoría en la estimación de la calidad, pasando esta de tener en 1996 una estimación mala, a tener en el 2013 una estimación de calidad regular. Si bien los resultados del análisis efectuado en el año 2013 proporcionan una mejora en la calidad de las aguas, estas mejoras son mínimas a lo largo del periodo comparado.

Tabla 5.8 – Resumen comparativo de ICA, análisis fisicoquímico y bacteriológico de muestras tomadas de pozos.

PARAMETRO	UNIDAD	AÑO		
		1996	2013	2013
		GEOLOGOS DEL MUNDO, 1996.	MUESTRA 1 TESIS BALANCE HIDRICO	MUESTRA 2 TESIS BALANCE HIDRICO
ICA	-	43.71	56.04	48.25
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	46000.00	5000.00	1600.00
pH	unidades de pH	4.64	6.64	6.13
DBO5	mg/ L	3.00	0.20	1.70
Nitratos	mg/ L	13.20	1.90	23.00
Fosfatos	mg/ L	0.47	1.90	2.90
Cambio de la Temperatura	° C	0.00	4.00	5.00
Turbidez	UNT	1.33	0.89	6.33
Sólidos disueltos Totales	mg/ L	0.22	227.00	389.00
Oxígeno Disuelto	% saturación	73.00	74.00	73.00

## 5.5 Análisis de los Resultados del Balance Hídrico.

### 5.5.1 Comparación de resultados balances hídricos realizados.

Tabla 5.9 –Balance Hídrico ETP Thornthwaite.

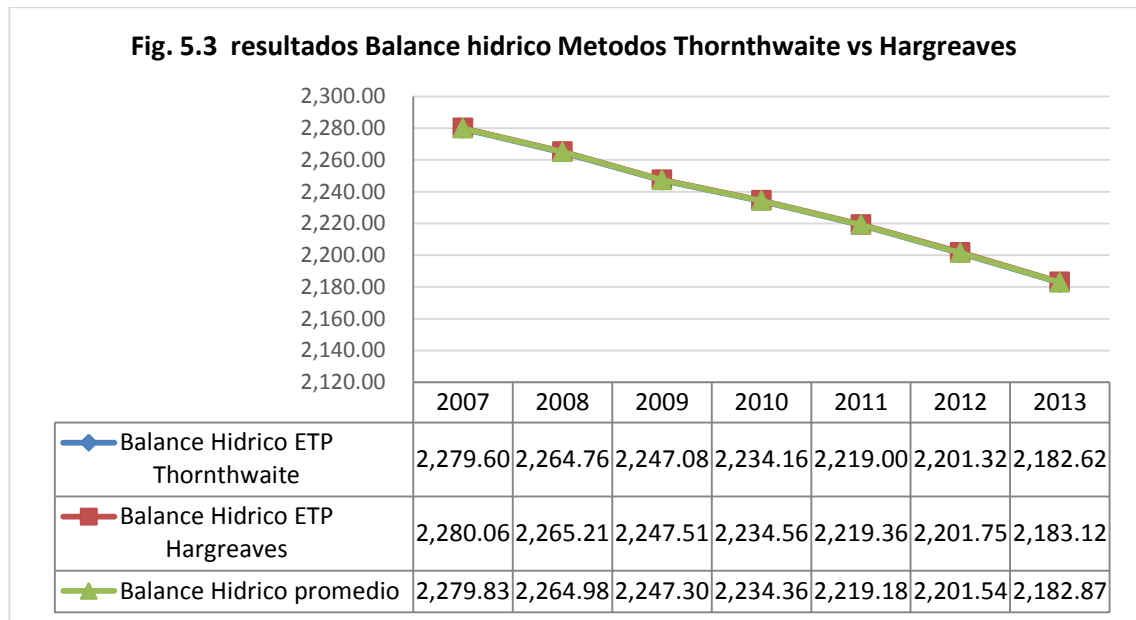
Año	Precipitación acumulada anual Hm <sup>3</sup> /año	Evapotranspiración Real Hm <sup>3</sup> /año	Recarga Potencial Hm <sup>3</sup>	Escorrentía superficial Hm <sup>3</sup> /año	Extracción por bombeo Hm <sup>3</sup> /año	Variación almacenamiento Hm <sup>3</sup> /año	Reserva acuífera (2300 Hm <sup>3</sup> inicial)
2007	95.08	53.86	16.37	19.24	26.00	- 20.40	2,279.60
2008	117.53	66.40	20.74	19.24	26.00	- 14.84	2,264.76
2009	104.29	58.20	18.51	19.24	26.00	- 17.68	2,247.08
2010	126.46	65.97	28.17	19.24	26.00	- 12.92	2,234.16
2011	113.55	63.35	20.13	19.24	26.00	- 15.17	2,219.00
2012	101.10	62.61	10.92	19.24	26.00	- 17.68	2,201.32
2013	96.59	59.17	10.87	19.24	26.00	- 18.70	2,182.62

Tabla 5.10 – Balance Hídrico ETP Hargreaves.

Año	Precipitación acumulada anual Hm <sup>3</sup> /año	Evapotranspiración Real Hm <sup>3</sup> /año	Recarga Potencial Hm <sup>3</sup>	Escorrentía superficial Hm <sup>3</sup> /año	Extracción por bombeo Hm <sup>3</sup> /año	Variación almacenamiento Hm <sup>3</sup> /año	Reserva acuífera (2300 Hm <sup>3</sup> inicial)
2007	95.08	47.90	21.88	19.24	26.00	- 19.94	2,280.06
2008	117.53	56.02	31.12	19.24	26.00	- 14.85	2,265.21
2009	104.29	51.53	25.22	19.24	26.00	-17.70	2,247.51
2010	126.46	54.80	39.37	19.24	26.00	- 12.95	2,234.56
2011	113.55	55.31	28.20	19.24	26.00	- 15.20	2,219.36
2012	101.10	55.09	18.38	19.24	26.00	- 17.61	2,201.75
2013	96.59	53.32	16.66	19.24	26.00	- 18.63	2,183.12

En el balance hídrico realizado utilizando la evapotranspiración de potencial calculada mediante la fórmula de Thornthwaite, se observa una tendencia en la disminución en la reserva del acuífero la cual se toma como inicial de 2300 Hm<sup>3</sup>, donde se consideró como promedio de 40.00 m de espesor en el acuífero

de Nejapa. Como comparación del método se calculó el balance hídrico con los resultados usando la evapotranspiración potencial calculada por la fórmula de Hargreaves, como resultado obtuvimos un escenario similar al calculado por el primer método.



Por lo que el balance hídrico promedio resultado de los dos métodos aplicados en el presente trabajo nos servirá para hacer una calibración de nuestro modelo.

Tabla 5.11 – Balance Hídrico promedio.

Año	Precipitación acumulada anual Hm <sup>3</sup> /año	Evapotranspiración Real Hm <sup>3</sup> /año	Recarga Potencial Hm <sup>3</sup>	Escorrentía superficial Hm <sup>3</sup> /año	Extracción por bombeo Hm <sup>3</sup> /año	Variación almacenamiento Hm <sup>3</sup> /año	Reserva acuífera (2300 Hm <sup>3</sup> inicial)
2007	95.08	50.88	19.13	19.24	26.00	- 20.17	2,279.83
2008	117.53	61.21	25.93	19.24	26.00	- 14.85	2,264.98
2009	104.29	54.87	21.87	19.24	26.00	- 17.69	2,247.30
2010	126.46	60.38	33.77	19.24	26.00	- 12.94	2,234.36
2011	113.55	59.33	24.16	19.24	26.00	-15.18	2,219.18
2012	101.10	58.85	14.65	19.24	26.00	- 17.64	2,201.54
2013	96.59	56.25	13.77	19.24	26.00	- 18.66	2,182.87

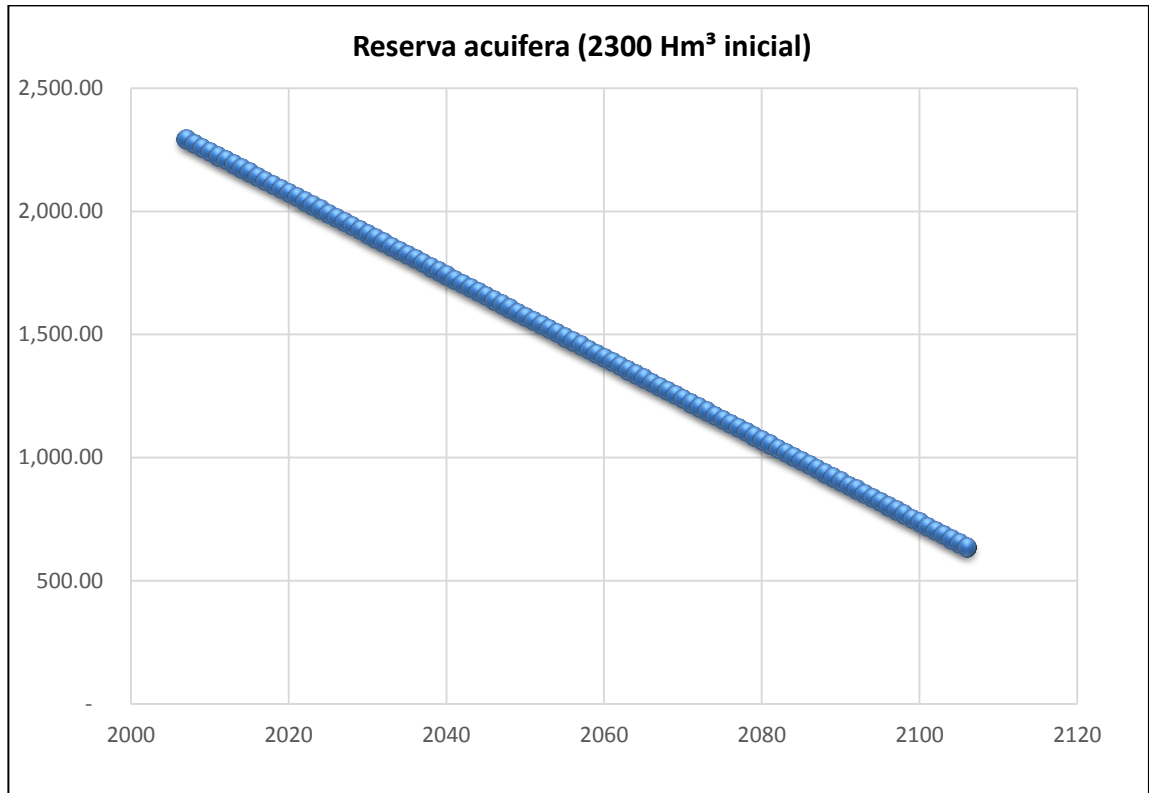


Grafico 5.4 Reserva Acuífera de Nejapa.

Como resultado obtenemos una tasa promedio de  $-16.73 \text{ Hm}^3/\text{Año}$ , realizando una proyección de estas serie de 7 años consecutivamente se puede observar que según el balance hídrico de suelos realizado en la cuenca, esta presenta un déficit de recarga que nos indica que en aproximadamente 100 años tendremos un acuífero “seco” sin volúmenes de extracción disponibles, pero los efectos negativos se experimentarían en la cuenca mucho tiempo antes que se cumpla esta proyección de años debido a los niveles del acuífero existentes, por lo que se hace necesario realizar un balance de aguas subterráneas por los métodos conocidos.





Fig. 5-5. Toma satelital de Nejava, 1970.

De acuerdo a los resultados obtenidos por ambos métodos de cálculo de ETP, se presenta una disminución en el volumen almacenado del acuífero de forma que el aspecto físico de la cuenca estará experimentando cambios que afectaran la vegetación de la zona, en la figura 5-5 se puede observar la condición de la cuenca para el año 1970 de donde parten los registros fotográficos del software Google Earth, a continuación se observan otras fotografías de años siguientes que muestran la disminución en la cobertura vegetal de la zona en estudio.

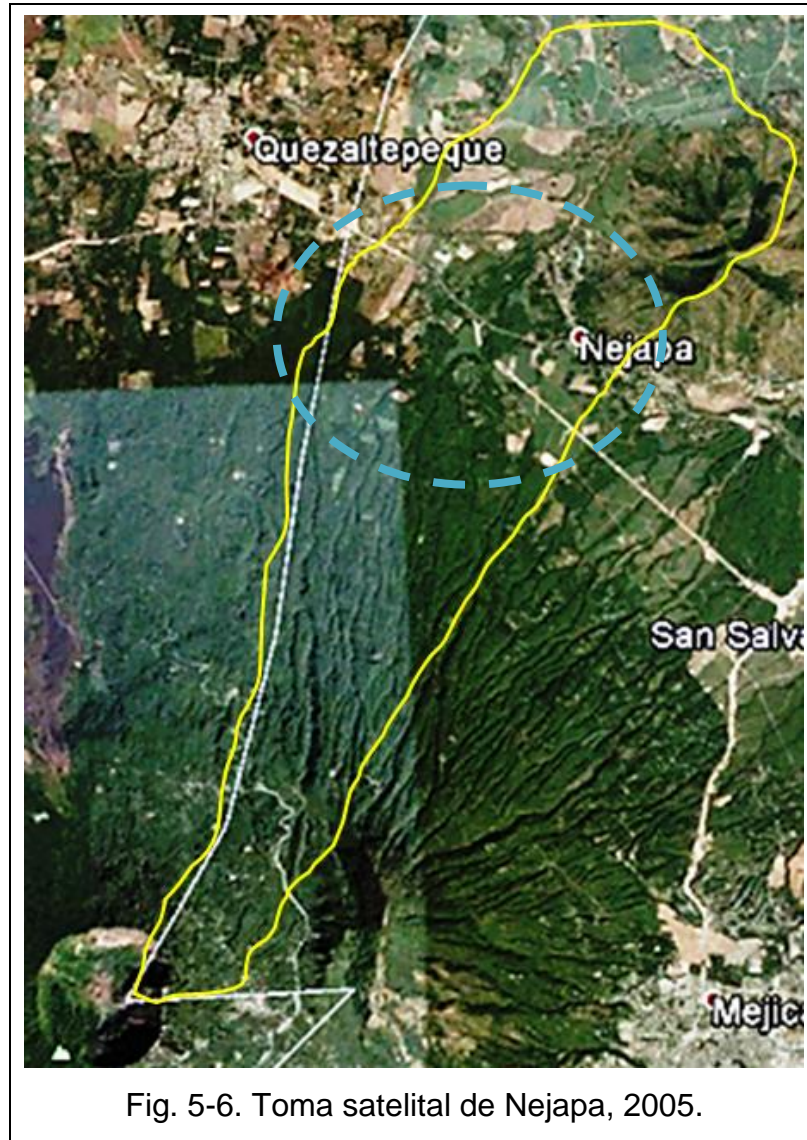


Fig. 5-6. Toma satelital de Nejava, 2005.

La figura 5-6 corresponde al año 2005, comparado con la figura inicial del 1970, se observa el avance de los asentamientos urbanos e industriales en la zona de la cuenca desde el año 1970, lo cual muestra el impacto negativo en la recarga, se observa que los usos del suelo cambiaron en la zona noroeste notando que lo que en años anteriores fue zona boscosa, hoy es una zona de cultivos.



Fig. 5-7. Toma satelital de Nejava, 2010.

En la figura 5-7 correspondiente al año 2010 podemos ver que el cerro de Nejava está deforestado en un 80%, de igual forma en las zonas aledañas al centro urbano del municipio de Nejava se puede notar que la humedad de la zona ha disminuido con respecto a los años anteriores, también se presenta una disminución en la cobertura vegetal en las faldas del volcán, la cual es considerada como la zona de mayor recarga de la cuenca, esto vuelve vulnerable la capacidad de retención por follaje que se necesita para que la lluvia precipitada llegue a estratos subterráneos.

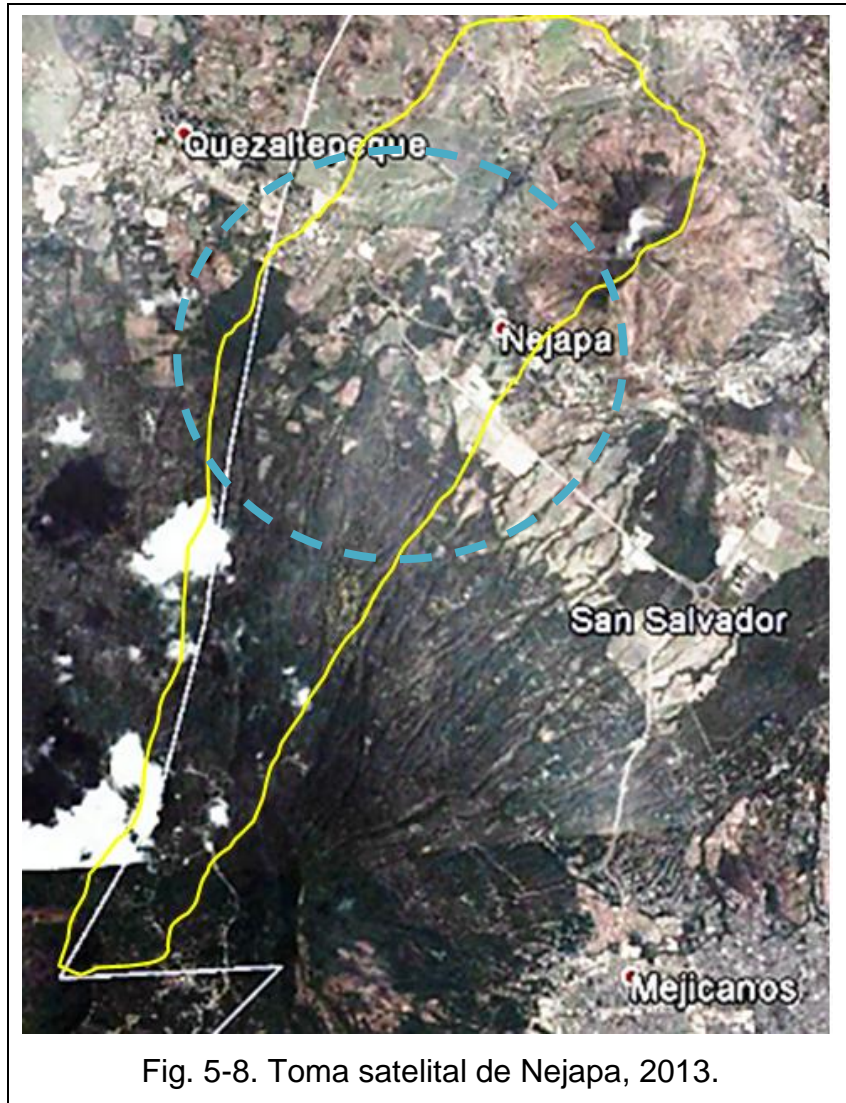


Fig. 5-8. Toma satelital de Nejava, 2013.

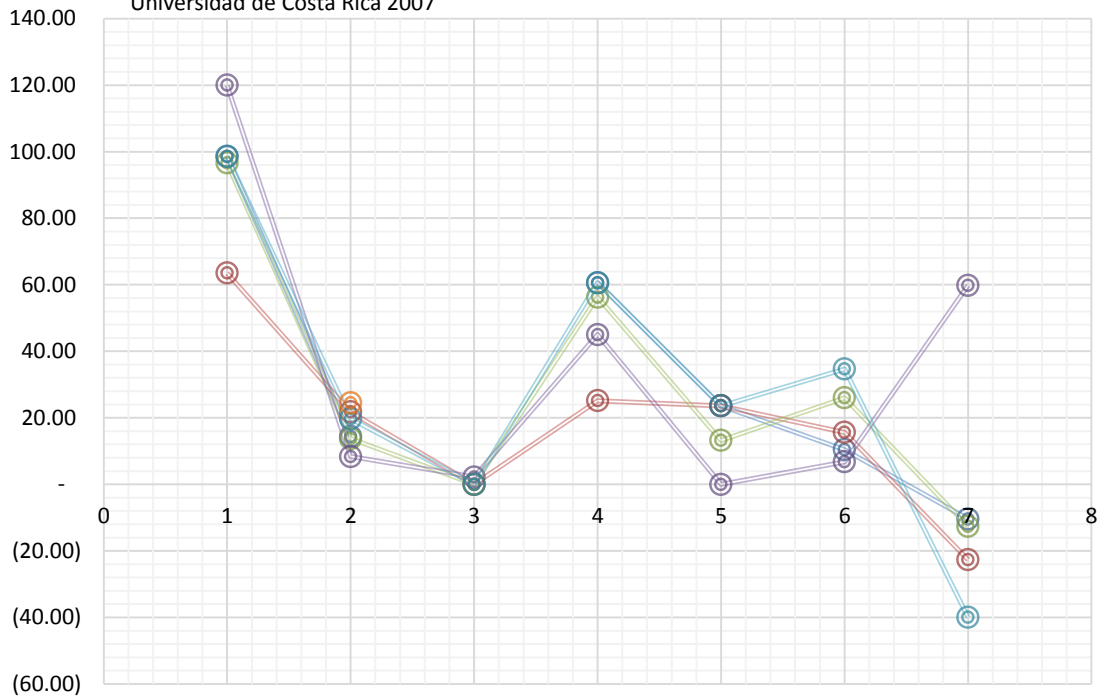
En la figura 5-8 correspondiente al año 2013, podemos observar en la foto, la cuenca ha experimentado mayor pérdida en la capa vegetal en al faldas del volcán con respecto al 2010, esto muestra el déficit de humedad en la zona superficial de cuenca y los bajos niveles de recarga sumando el efecto de la evapotranspiración tienen un impacto visible en la cuenca, por otro lado podemos observar el incremento de zonas urbanas e industriales que se han desarrollado en forma acelerada.

Estudio	Año	Área Km <sup>2</sup>	P Hm <sup>3</sup> /año	RP Hm <sup>3</sup> /año	HF red Hm <sup>3</sup> /año	ETR Hm <sup>3</sup> /año	Escorrentía Hm <sup>3</sup> /año	Bombeo Hm <sup>3</sup> /año	ΔS Hm <sup>3</sup> /año
Caracterización de los recursos Hídricos del municipio de Nejapa, Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz UCA	2000	58.00	98.60	14.40		60.61	23.59	10.41	- 10.41
EsIA ILC	2013	29.36	63.53	21.78	-	25.17	23.59	15.63	- 22.64
Tesis BH	2013	57.67	96.59	13.76	-	56.24	13.24	26.00	- 12.65
Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeológicos, directrices para la ordenación territorial del municipio de Nejapa	2003	42.10	120.00	8.38	2.21	45.00	0.02	6.79	59.81
Revisión de EsIA ILC	2013	40.66	98.60	19.70	-	60.61	23.59	34.67	- 39.97
IV.4.1 Gil, L., "Evaluación Hidrogeológica y Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema Acuífero del Municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador". Investigación de Tesis de post-grado-Universidad de Costa Rica 2007	2007	53.94		24.45					

Por lo que podemos afirmar que el balance realizado en el presente documento presenta datos del mismo orden de magnitud que los resultados obtenidos en estudios anteriores las variaciones se deben a las consideraciones geográficas y métodos utilizados.

Fig. 5.9 - Comparación de los resultados de balance hídrico con estudios de otros autores.

- Revisión de EsIA ILC
- EsIA ILC
- Trabajo de Graduacion, BALANCE HÍDRICO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO, MUNICIPIO DE NEJAPA, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR
- Caracterizacion de los riesgos geologicos y dimensionamiento de los recursos hidrogeologicos, directrices para la ordenacion territorial de el municipio de Nejapa
- Revisión de EsIA ILC
- IV.4.1 Gil, L., "Evaluación Hidrogeológica y Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema Acuífero del Municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador". Investigación de Tesis de post-grado- Universidad de Costa Rica 2007



## 5.6 Propuesta de plan para el monitoreo de la calidad del agua.

### 5.6.1 Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

Los parámetros de calidad del agua que deben ser monitoreados en el cauce del Río San Antonio y en los pozos aledaños a este, tienen que guardar relación con los contaminantes potenciales que pueden estar presentes en las aguas residuales. Los parámetros que se listan a continuación deben estar incluidos, como mínimo, en cualquier programa de monitoreo de calidad de aguas producidas por las aguas residuales de las diversas actividades antropogénicas. A continuación se presenta un listado de los principales parámetros para determinar el Índice de Calidad del Agua así como los niveles máximos permitidos, los cuales se utilizaron en el capítulo 3 del presente estudio.

Tabla 5.12 – Niveles máximos permisibles de los parámetros para la calidad del agua.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
<b>Bacterias Coliformes fecales</b>	NMP/100 mL	<1.1 NMP/100 ml
<b>pH</b>	Unidad	6.0 - 8.5
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días</b>	mg/ L	150 mg / L
<b>Nitratos.</b>	mg / L	45 mg / L
<b>Fosfatos.</b>	mg / L	2 mg/ L
<b>Turbidez.</b>	UNT	5 UNT
<b>Sólidos disueltos totales.</b>	mg / L	1000 mg / L
<b>Oxígeno disuelto.</b>	% saturación	80-120%

NMP: Número más probable.

UNT: Unidad nefelométrica de turbidez.

La frecuencia del muestreo para la determinación de la calidad de las aguas del Río San Antonio y del acuífero de Nejapa están relacionadas con su uso, dado que actualmente el agua del Río San Antonio no se usa para consumo humano pero si para actividades como el cultivo o la ganadería. La determinación de la calidad ayudara a identificar posibles fuentes de contaminación además de ayudar a recuperar los niveles óptimos de calidad para conservar y proteger la biodiversidad acuática del río, la cual es explotada aguas abajo, ya que si bien el agua no se utiliza para beber pero hay personas que están en la zona norte que hacen uso de la pesca para consumir localmente.

El análisis físico químico y bacteriológico por parte de la municipalidad debe realizarse como mínimo una vez al año a su vez se debe establecer un plan de vigilancia de cualquier vertido de sustancias que generen un impacto o pueda en un futuro alterar la naturaleza de sus aguas y alterar las condiciones mínimas para que la fauna y flora se desarrollen en el cauce y sus riveras.

Actualmente el acuífero de Nejapa es empleado para la explotación masiva de agua potable y la industria de bebidas, por lo que su vigilancia es más necesaria, no solo en cuanto a la calidad de sus aguas, sino también en la cantidad de ella, por lo que las empresas deberán presentar un análisis de calidad de sus aguas servidas previo su vertido al río una vez al mes para garantizar que las aguas mieles y servidas productos de sus actividades industriales cuenten con el tratamiento adecuado para evitar la contaminación del río y el acuífero subterráneo. Además, es importante la información local sobre los cambios ocurridos en la zona de captación (en particular actividades agrícolas e industriales), que puede usarse para pronosticar posibles problemas de contaminación y por consiguiente, determinar la necesidad de vigilar con más frecuencia la presencia de compuestos específicos. A continuación se



muestra una tabla de la frecuencia del muestreo para análisis fisicoquímico y bacteriológico de acuerdo con la población de la zona de muestreo.

Tabla 5.13 – Frecuencia del muestreo para análisis fisicoquímico y bacteriológico.

<b>Examen Fisicoquímico.</b>	
<b>Tamaño de Población (Habitantes).</b>	<b>Muestreo y análisis.</b>
<b>25,000</b>	1 muestra mensual
<b>25,000 a 100,000</b>	1 muestra por cada 5,000 usuarios (El total de muestras distribuidas en dos muestreos quincenales)
<b>100,001 a 300,000</b>	1 muestra por cada 10,000 usuarios más 5 adicionales.(El total de muestras distribuidas en cuatro muestreos mensuales)
<b>300,000</b>	1 muestra por cada 10,000 usuarios más 10 muestras adicionales. (El total de muestras distribuidas en 10 muestreos en el mes)
<b>Examen Bacteriológico.</b>	
<b>Tamaño de Población (Habitantes).</b>	<b>Número mínimo de muestras/mes</b>
<b>&lt; 5,000</b>	1
<b>5,000 – 100,000</b>	1 Muestra por cada 5,000 usuarios
<b>&gt; 100,000</b>	1 Muestra por cada 10,000 usuarios más 10 muestras adicionales

Tomado de NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA (Segunda actualización)  
Publicada en el Diario Oficial el 12 de Junio de 2009, tomo 383 Número 109.

## **5.7 Muestreo en Campo y Lineamientos Para la Manipulación.**

El Informe Final Diagnóstico Nacional de la Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador, realizado por el SNET/DGOA proporciona una guía sobre los procedimientos para la preservación de muestras, materiales para los recipientes y máximo tiempo de almacenamiento permisible para los parámetros de calidad del agua. Los documentos también suministran algunos lineamientos generales sobre la recolección y manipulación de muestras.

### **5.7.1 Recipientes para la Recolección de Muestras.**

Quizás no siempre sea posible cumplir con estas recomendaciones debido a una serie de factores locales (como la lejanía del lugar o mecanismos de transporte inadecuados). En estos casos, se recomienda que se suministre la información necesaria para garantizar que los resultados analíticos no se vean afectados negativamente y se mantenga la integridad de la muestra.

Tabla 5.14 – Recipientes para muestreo y preservación de muestra.

<b>Parámetros</b>	<b>Recipientes</b>	<b>Preservantes</b>	<b>Tiempo de almacenamiento recomendado/obligado</b>	<b>Volumen mínimo de muestra (ml)</b>
<b>Aceites y grasas</b>	Vidrio- Calibrado boca ancha	Enfriar, a 4 °C con 5 ml(1:1) H2SO4/l a pH < 2	24 Horas	1000
<b>Cloro residual</b>	Polietileno- Vidrio	Analizar inmediatamente	0.5 Horas / Inmediato	500
<b>Sulfatos</b>	Polietileno- Vidrio	Enfriar a 4 °C	7 días	250
<b>Turbidez</b>	Polietileno	Enfriar a 4 °C	7 días	500
<b>Temperatura</b>	-	Analizar inmediatamente	Determinar en sitio de muestreo	500
<b>Sólidos disueltos totales.</b>	Polietileno, Vidrio	Enfriar a 4 °C	7 días	1000
<b>Fosfatos.</b>	Polietileno- Vidrio	Enfriar a 4 °C	7 días	250
<b>Nitrato</b>	Polietileno- Vidrio	Analizar inmediatamente o enfriar a 4°C	48 horas (28 días para muestras cloradas)	1000
<b>pH</b>	Polietileno- Vidrio	Análisis inmediato	-	50
<b>DBO</b>	Polietileno- Vidrio	Enfriar a 4 °C	48 Horas	1000
<b>Oxígeno Disuelto</b>	Polietileno- Vidrio	La titulación puede aplazarse después de la acidificación	8 Horas	300
<b>Bacterias Coliformes fecales</b>	Polietileno- Vidrio	Enfriar a 4 °C	24 Horas	1000

Tomado de NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA.

### 5.7.2 Recolección y Manipulación de Muestras.

Estos procedimientos necesariamente son variables y dependen de las condiciones locales. Sin embargo, la etapa de recolección de muestras es de

trascendental importancia. Los resultados de los mejores procedimientos analíticos serán inútiles si no se recolecta y manipula adecuadamente las muestras.

Los siguientes puntos generales deben tomarse en cuenta al recolectar y manipular muestras:

- ✓ Las botellas para las muestras deben estar esterilizadas y secas.
- ✓ Todo el equipo y los recipientes que entren en contacto con la muestra deben estar limpios para evitar contaminación.
- ✓ Generalmente, las botellas deben ser enjuagadas dos o tres veces con el agua que está siendo recolectada (a menos que la botella contenga un preservante).
- ✓ La mayoría de botellas para muestras deben ser llenadas completamente a menos que sea necesario un espacio de aire para permitir la expansión térmica durante el transporte.
- ✓ Haga un registro de cada muestra recolectada y marque cada botella.
- ✓ Utilice procedimientos formales de "cadena de custodia" que rastrean la historia de la muestra desde la recolección hasta el informe.
- ✓ Debe haber una hoja de datos por cada punto de muestreo. En cada hoja de datos de campo debe colocarse como mínimo la siguiente información:
- ✓ Datos generales: Contiene el nombre y número del punto de muestreo, el nombre y la dirección del lugar, las coordenadas geográficas, la fecha, la hora, el nombre de quien recolectó la muestra, las condiciones climáticas y la temperatura del aire.
- ✓ Datos de campo: Resultados de todas las mediciones realizadas en el campo, como la temperatura del aire y la temperatura de la muestra de agua.

- ✓ Información sobre las muestras recolectadas: Debe enviarse al laboratorio el número de todas las muestras, incluyendo la información sobre los preservantes utilizados y el tipo de muestra (aleatoria o compuesta).

Una muestra aleatoria es una muestra discreta, individual, recolectada dentro de un período de corto tiempo (generalmente menos de 15 minutos). Una muestra compuesta es una mezcla de muestras aleatorias recolectadas en el mismo punto de muestreo, en momentos diferentes. Para recolectar una muestra aleatoria manual de un curso de agua, debe insertarse un recipiente en la corriente del río con la abertura del recipiente en dirección aguas arriba. En la mayoría de casos, el mismo recipiente para la muestra puede ser usado para recolectarla. Si el lugar de muestreo es menos accesible, puede ser necesario utilizar un palo o un cubo para recolectar la muestra. Se debe tener cuidado de no contaminar la muestra, si es necesario transferir la muestra de un cubo a un recipiente. La muestra debe tomarse del centro horizontal y vertical del río. Al tomar la muestra, debe evitarse agitar los sedimentos que se encuentran en el fondo del río o recolectar residuos que no sean característicos de las aguas del río. En todo momento deben tomarse precauciones de seguridad. Algunas ocasiones en las que el cauce del río sea demasiado grande deberán tomarse algunas precauciones adicionales, tales como:

Se puede requerir un dispositivo especializado si es necesario tomar muestras a una profundidad específica.

Puede ser más adecuado tomar muestras más cerca de una orilla del río que en el centro de éste.

El muestreador debe estar colocado en contracorriente para evitar la contaminación del agua (como la perturbación de sedimentos en el caso de muestreos en la orilla).

**5.7.3 Formatos para hojas de datos de campo y de etiquetas para muestras de agua.**

<b>Hoja de Datos de Campo</b>			
<b>Información General</b>			
<b>Empresa</b>			
<b>Dirección</b>			
<b>Contacto</b>			
<b>Encargado</b>			
<b>Datos de Campo</b>			
<b>Departamento</b>		<b>Municipio</b>	
<b>Fecha</b>		<b>Hora</b>	
<b>Muestreador</b>			
<b>Nombre del punto de muestreo</b>		<b>Número</b>	
<b>Dirección</b>			
<b>Referencias del sitio de muestreo</b>			
<b>Coordenadas geográficas</b>			
<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud</b>	
<b>Croquis de referencia</b>	Indicar punto de muestreo.		
<b>Medición de parámetros “in situ”</b>			
<b>Temperatura de la muestra</b>		<b>Temperatura ambiente</b>	
<b>Condiciones climáticas</b>			
<b>Observaciones generales asociadas al muestreo</b>			
<b>Nombre y firma del responsable</b>			

<b>Etiquetas para muestras de agua</b>			
<b>Departamento</b>		<b>Municipio</b>	
<b>Fecha</b>		<b>Hora</b>	
<b>Temperatura de la muestra</b>		<b>Temperatura ambiente</b>	
<b>Naturaleza de la muestra (Río, pozo)</b>			
<b>Muestra para:</b>			
<b>Responsable</b>			
<b>Solicitante</b>			
<b>Contacto:</b>	<b>Correo</b>	<b>N° Oficina</b>	<b>N° Móvil</b>

**CAPÍTULO VI**  
**CONSIDERACIONES, CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**



## **6.1 Consideraciones.**

### **6.1.1 Condiciones Geográficas.**

Se ha considerado el área de la cuenca de con una superficie de 57.67 Km<sup>2</sup> los cuales se tomaron del documento Caracterización del acuífero de Nejapa lo cual amplia el área de recarga comparado con otros estudios realizados, así mismo se consideró los usos de suelo de cada zona que conforma la cuenca, determinando también las pendientes predominantes de la zona a la vez que se realizaron diversos ensayos de infiltración en toda el área.

### **6.1.2 Condiciones Geológicas.**

Se consideraron las diversas formaciones geológicas y tipos de suelos en la superficie de la zona para realizar los ensayos de infiltración utilizando el método de Porchet, esto utilizando un mapa geológico y localizando los puntos con coordenadas geodésicas para su verificación posterior.

### **6.1.3 Condiciones Climáticas.**

Se utilizaron los promedios de temperatura en 24 horas, asimismo se utilizó la precipitación anual acumulada para efectos de cálculo en el balance hídrico ya que hay un periodo sin lluvia entre los meses de Diciembre y Abril dentro del cual tenemos evapotranspiración producto de la humedad retenida en el follaje, sin embargo tenemos para los meses de Julio, Agosto y septiembre valores de precipitación que sobrepasan a la evapotranspiración por lo que la humedad inicial se tomara a partir del mes de octubre, esto efectivamente es comprobado ya que al completar el ciclo la humedad final es cercana a la capacidad de campo.

#### **6.1.4 Cálculo de la evapotranspiración Potencial.**

Para efectos del cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizó 2 métodos el primero utilizando la ecuación de Thornthwaite el cual utiliza los datos de temperatura de la zona y el porcentaje de horas de luz solar, así mismo para efectos de comparación se utilizó los datos de evapotranspiración potencial históricos del SNET calculados por medio de la fórmula de Hargreaves, esto con el objetivo de comparar resultados y verificar que los resultados calculados con el primer método sean cercanos.

#### **6.1.5 Cálculo de la recarga.**

Para calcular la recarga potencial del acuífero se utilizaron dos métodos; el de Gunther Schosinky el cual utiliza un balance hídrico de suelos para calcular la recarga potencial que infiltra a la cuenca después de todos los procesos de drenaje natural y retención por vegetación y el de Hargreaves obtenido de datos históricos del SNET (DGOA), para su posterior comparación y utilizando el promedio de los resultados de los dos métodos para la calibración del balance hídrico.

#### **6.1.6 Balance hídrico.**

El balance hídrico se realizó utilizando un modelo propuesto para la zona de estudio, en el que se consideraron las condiciones de extracción y recarga del acuífero, se estimó tanto recarga natural por lluvia como explotación de los pozos y salida por escorrentía superficial, con el objetivo de observar el comportamiento de la recarga que experimenta la cuenca durante 7 años de los cuales se obtuvieron registros históricos de precipitaciones y temperatura, así mismo se realizó el aforo del río en época seca dentro de la cual se calculó la escorrentía de ese momento la cual fue tomada como caudal base del río,

posterior se calculó una escorrentía promedio de 19.24 Hm<sup>3</sup> al año la cual es la diferencia entre crecidas mensuales y el caudal base.

Para la extracción por bombeo se tomó el valor de 26.00 Hm<sup>3</sup> lo que es un 75% del caudal registrado por ANDA considerando que hay pozos que se bombean solamente 12 horas y no 24 horas de forma continua, una vez tomando estos datos y utilizando los valores de la recarga potencial del acuífero calculada se procedió a calcular el balance hídrico de la cuenca.

#### **6.1.7 Consideraciones para los análisis Fisicoquímico y bacteriológico.**

Para la realización de los análisis fisicoquímicos se ha tomado en consideración la Norma Salvadoreña Obligatoria, la cual dicta los límites de los parámetros para la determinación de la calidad de las aguas de río o de pozo.

El cálculo del índice de calidad de las aguas es un método el cual incluye los parámetros más involucrados en la conservación de los ecosistemas y la salud, pero cabe decir dentro de las consideraciones, que existen muchos más parámetros determinantes en la conservación de los ecosistemas y la salud de las personas, estos parámetros son considerados dentro de la Norma Salvadoreña Obligatoria, mientras que Índice de Calidad de Aguas (ICA) es solo un indicador de calidad.

## **6.2 Conclusiones.**

### **6.2.1 Conclusiones sobre el análisis fisicoquímico y bacteriológico de las aguas del río San Antonio, y pozo aledaños a éste.**

Con resultados obtenidos de los análisis fisicoquímico y bacteriológicos del Laboratorio de Aguas de la Universidad de El Salvador, se pudo calcular el índice de calidad del agua (ICA) para el año 2013, el cual ha sido comparado con dos estudios, uno de ellos realizado por Geólogos del Mundo y el otro realizado por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador, de lo cual podemos concluir que efectivamente tanto las aguas del río San Antonio como la de los pozos aledaños a éste, poseen una calidad de aguas estimada en base al ICA como mala ( $ICA_{\text{río1}}=36.64$ ;  $ICA_{\text{río2}}=40.85$ ;  $ICA_{\text{pozo1}}=56.04$ ;  $ICA_{\text{pozo2}}=48.25$ ), es decir, aguas contaminadas y con pocas posibilidades de mantener la vida acuática y totalmente dañina para consumo humano. Esta estimación se ha mantenido durante años sin cambios para los valores de los parámetros que determinan la calidad de las aguas, obteniendo en nuestro estudio una mejoría de la calidad del agua en solo 9 puntos de calidad según la determinación del ICA, por lo que de acuerdo a los registros existentes esta ha permanecido con una estimación de la calidad mala por un periodo de 18 años, la toma de muestras tanto para los estudios de comparación como para el estudio en análisis del presente trabajo de graduación se desarrollaron durante la época lluviosa entre julio y agosto, teniendo así condiciones similares de contaminación debido al arrastre por escorrentía superficial de sustancias utilizadas para el control de plagas y abonos para los cultivos que se desarrollan en el municipio de Nejapa.

Referente a la calidad del agua en el río San Antonio, en el presente estudio hay una disminución en las concentraciones de los contaminantes comparado con los registros de análisis de calidad realizados para determinar el ICA en

estudios anteriores, los puntos de muestreo tanto para el presente estudio como para los estudios de comparación se encuentran fuera de focos de contaminación que puedan afectar los resultados en la determinación de la calidad del agua, es por ello que esta disminución puede deberse a las condiciones en que hoy en día imponen las autoridades, en las que según la normativa impuesta por la Alcaldía Municipal de Nejapa con el apoyo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ordenanza Municipal Para el Manejo Adecuado de las Aguas Residuales y Planta de Tratamiento del Municipio de Nejapa Publicado en el D.O. N° 214, Tomo 369 del 17 de noviembre del 2005.) se obliga a todo establecimiento industrial, agrícola, minero, pesquero, de servicios o de cualquier otra índole, a la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales previo estudio de factibilidad y aprobación del Concejo Municipal, con lo que la disminución de la concentración de los diferentes parámetros determinantes del ICA podrían deberse a estas prácticas conservacionistas puestas en acción desde el año 2005.

### **6.2.2 Conclusiones acerca del balance hídrico de la cuenca del río San Antonio.**

Debido a la falta de datos para el de cálculo de la evapotranspiración potencial de estaciones meteorológicas cercanas a la zona de la cuenca del río San Antonio en Nejapa, ésta se calculó mediante el método de Thornthwaite el cual utiliza una fórmula empírica que relaciona la temperatura con la latitud de la zona donde se ubica la cuenca, por lo que también fue necesario comparar los resultados con los datos que actualmente tiene registrados el DGOA (SNET) y que proceden de la estación meteorológica de Ilopango, al realizar la comparación los resultados fueron cercanos en orden de magnitud, siendo más elevados los datos que resultaron de la fórmula de Thornthwaite, diferencia que

se puede atribuir a la latitud y elevación de la estación de referencia comparada con la de la zona de cuenca.

Actualmente la municipalidad cuenta con datos de aforos del río San Antonio históricos y realizados por entidades no gubernamentales y otros calculados por métodos racionales, esto debido a que lo largo del río no existe ninguna infraestructura construida con el propósito de poder medir el caudal del río, en el presente estudio el cálculo del caudal se realizó mediante el método del flotador, siendo este un método aproximado, al obtener el caudal, este se acerca al caudal mínimo registrado en otros estudios en época seca, analizando el comportamiento en el aumento del caudal lo largo del año.

El valor del volumen anual de extracción de pozos tiene más de 12 años de antigüedad, debido a que ANDA no cuenta con registros actualizados de los caudales extraídos en los pozos perforados y excavados tanto industriales como de uso doméstico, estos datos son antiguos y no brindan una cifra real de la extracción actual en pozos perforados y excavados recientemente ya que el volumen extraído actual debe haber aumentado con el aumento en los asentamientos humanos e industriales de la zona de la cuenca.

Al realizar el Balance hídrico anual en un periodo de 7 años los resultados muestran un déficit en la recarga con un promedio de 16.73 Hm<sup>3</sup> anuales que se extraen del acuífero y no son recuperados en la recarga anual, si esta tendencia se mantiene, la cuenca estará experimentando una disminución en las reservas subterráneas las cuales actualmente cuentan en promedio con un aproximado de 2300 Hm<sup>3</sup> disponibles y experimentando una disminución gradual llegando a 500 Hm<sup>3</sup> en aproximadamente 100 años, sumando el proceso de deforestación, la fracción de lluvia retenida por el follaje disminuirá gradualmente aumentando la temperatura de la zona y con esto la evaporación,

por lo que la fracción de agua precipitada que no se evapora aumentará los niveles de escorrentía superficial disminuyendo la cantidad de agua que infiltra finalmente al acuífero subterráneo. Debido a esta disminución en almacenamiento hídrico, el acuífero tiene ya sus primeros efectos visibles en la superficie de la cuenca, la cual ha experimentado en un periodo de 40 años sus primeros cambios mostrando una disminución en su cobertura vegetal, la deforestación y el aumento de zonas urbanas e industriales que se acentúa más en la zona, es necesario implementar medidas regulatorias para la explotación del recurso hídrico y el manejo de usos de suelos en los que se incluya aquellos que contribuyen a la recarga hídrica del acuífero de Nejapa.

### **6.3 Recomendaciones.**

#### **6.3.1 Recomendaciones sobre el análisis fisicoquímico y bacteriológico de las aguas del río San Antonio, y pozo aledaños a éste.**

Se recomienda establecer un chequeo rutinario de todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales de las diferentes industrias que realizan descargas de aguas residuales en el río y quebradas que desembocan en él, siguiendo el Reglamento Especial de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO.13.49.01:09, el cual establece la frecuencia mínima de los muestreos, así como los parámetros del análisis físico y químico de las aguas residuales los cuales deberán ser realizados por un laboratorio debidamente certificado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el seguimiento por parte de las autoridades municipales es determinante en este proceso, al igual que el apoyo a la municipalidad por parte del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Actualmente, los antiguos lavaderos ubicados en el nacimiento de agua Tres Piedras del río San Antonio siguen siendo utilizados por parte de los habitantes

aledaños al río, por lo que este es punto focalizado de contaminación, para el cual la alcaldía de Nejapa ya ha dado una solución alternativa con la construcción de lavaderos públicos con un sistema de tratamiento para aguas residuales resultantes del lavado, por lo que se recomienda realizar campañas de concientización a la población para que se utilicen los lavaderos con sistema de tratamiento, además de la remoción permanente de los antiguos lavaderos ubicados en el nacimiento de aguas Tres Piedras. Debido a que estos lavaderos siguen siendo utilizados, se pudo observar que las riveras del río se encuentran diversos desperdicios, por lo que se recomienda realizar campañas de limpieza no solo en el nacimiento de aguas sino también a lo largo del cauce del río San Antonio. Al mismo tiempo debe imponerse multas para aquellos que arrojen basura o que contribuyan a la contaminación del río San Antonio.

Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico y bacteriológico nos muestran un escenario en el cual el río está recibiendo descargas de agua negras sin un tratamiento previo adecuado tal como muestra en los niveles de coliformes fecales, además está recibiendo el arrastre de los herbicidas y plaguicidas que aplican en los cultivos, que se puede comprobar mediante la observación de los valores de nitratos y fosfatos resultantes del análisis químico de las aguas del río San Antonio.

Para determinar el índice de calidad de las aguas del río San Antonio es necesario realizar varios muestreos o tomas de muestras a lo largo del cauce de éste, con esto, aseguramos que tomamos en cuenta todo su curso, y podemos hacer diferenciaciones de calidad por tramos del río, dado que el río san Antonio nace en el casco urbano de Nejapa, y todas las quebradas de Nejapa desembocan en él.



Se recomienda establecer al menos dos puntos de aforo en el río para el monitoreo de los caudales y calidad de agua del río, para llevar un registro de la cantidad de agua y la calidad de la misma, el primer punto de muestreo servirá para tener un registro de la calidad del agua antes que esta haga su recorrido a través de las comunidades por la que el cauce del río San Antonio se desenvuelve además se tendrán los valores del caudal aguas arriba, y el segundo punto mostrara la variación en la calidad, así como también los volúmenes residuales aportados al río San Antonio.

### **6.3.2 Recomendaciones acerca del balance hídrico de la cuenca del río San Antonio.**

Para realizar el balance hídrico se recomienda utilizar datos climatológicos medidos de la zona de influencia, por el momento no existe ninguna estación meteorológica para llevar este control por lo que se recomienda la implementación de una estación meteorológica principal, la cual deberá ser capaz de realizar observaciones de precipitación, temperatura del aire, humedad, viento, radiación, brillo solar, evaporación, por parte de las autoridades del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales para llevar un registro y con la información obtenida se realice el balance hídrico de forma periódica con el fin de ver las condiciones de recarga de la cuenca.

Se recomienda que con los datos obtenidos del balance hídrico se genere un plan de monitoreo que verifique los caudales de explotación de la cuenca para lograr establecer un equilibrio entre las entradas y salidas de la cuenca, ya que si bien el balance nos muestra cómo se comporta la recarga también nos puede ayudar como herramienta para el diseño de un plan adecuado de manejo de los recursos hídricos y ambientales de la cuenca.

Se requiere que el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales mantenga un continuo monitoreo del fenómeno de la evapotranspiración potencial por lo que es necesario instalar equipos de medición que registren la temperatura y evaporación en la zona y auxiliarse de fórmulas como la de Thornthwaite o Hargreaves para calcular este parámetro.

Se recomienda la construcción de una infraestructura que sirva para el aforo del río, esta puede ser un canal o una alcantarilla con la capacidad suficiente para poder aforar en cualquier tiempo, de esta manera tener el monitoreo del comportamiento del caudal en el río en el transcurso del año.

Es necesario la actualización del inventario de pozos por parte de ANDA así como el volumen de extracción para verificar que se estén extrayendo los volúmenes autorizados y aprobados por ANDA y aplicar sanciones a empresas y personas que estén sobreexplotando sin control el acuífero o extrayendo agua de forma ilegal.

## **Glosario.**

**Acuífero:** es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados como gravas de río, limo, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas e incluso ciertos tipos de arcilla.

**Aforo:** Consiste en la determinación del caudal de un río o cualquier corriente de agua mediante la implementación de un vertedero o la utilización de un medidor como una veleta o un correntómetro.

**Afluyente:** es un curso de agua, también llamado tributario, que no desemboca en el mar sino en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia.

**Arcillas:** es un suelo o roca sedimentaria constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

**Arena:** es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0.063 y 2 milímetros (mm).

**Balance Hídrico:** se deriva del concepto de balance de materia, es decir, que es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.

**Cauce:** es la parte de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confín físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas.

**Caudal:** es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

**cenit del sol:** es la hora en que el Sol está más cerca de su culminación. Su sombra es mínima y apunta exactamente al Norte en el Hemisferio Norte y al Sur en el Hemisferio Sur.

**Coordenada Geográfica:** un sistema de referencia que utiliza las dos coordenadas angulares, latitud (Norte y Sur) y longitud (Este y Oeste) y sirve para determinar los laterales de la superficie terrestre (o en general de un círculo o un esferoide).

**Coordenada Geodésica:** Un sistema de referencia geodésico es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre. Son utilizados en geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélite para la correcta georreferenciación de elementos en la superficie terrestre cuyos parámetros están dados por latitud, longitud y elevación.

**Cretácico:** o Cretáceo, una división de la escala temporal geológica, es el tercer y último período de la Era Mesozoica; comenzó hace  $145.5 \pm 4.0$  millones de años y terminó hace  $65.5 \pm 0.3$  millones de años.

**Cuenca Hidrográfica:** unidad natural definida por la existencia de la divisoria de aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones, también conocido como “parteaguas”.

**Cuenca Hidrológica:** la definición de cuenca hidrológica es más integral que la de la cuenca hidrográfica. Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas integrales y además de incluir el concepto de la cuenca hidrográfica, abarca en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo.

**Cenit del sol:** es la hora en que el Sol está más cerca de su culminación. Su sombra es mínima y apunta exactamente al Norte en el Hemisferio Norte y al Sur en el Hemisferio Sur.

**Demografía:** es la tasa o índice que expresa el crecimiento o decrecimiento de la población de un determinado territorio durante un período determinado, expresado generalmente como porcentaje de la población al inicio de cada período o año

**Efluente:** corresponde a un curso de agua que desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial.

**Escorrentía Superficial:** es un término geológico de la hidrología, que hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida.

**Estación Meteorológica:** es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

**Erosión Laminar:** es el proceso de sustracción de masa sólida al suelo o a la roca de la superficie llevado a cabo por un flujo de agua que circula por la misma. Es el desgaste de una superficie rocosa o parte del suelo a causa de agua.

**Evapotranspiración:** se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo.

**Evapotranspiración Potencial:** máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua.

**Evapotranspiración Real:** es la cantidad de agua, expresada en mm/día, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal.

**Grado De Saturación:** es la cantidad de agua contenida en un material, tal como el suelo (la humedad del suelo) y las rocas medida en base a análisis volumétricos o gravimétricos.

**Granito:** es una roca ígnea plutónica constituida esencialmente por cuarzo, feldespato y mica.

**Hidrología:** es la ciencia que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración.

**Hidrogeología:** es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación.

**Infiltración:** velocidad máxima con que el agua penetra en el suelo. La capacidad de infiltración depende de muchos factores; un suelo desagregado y permeable tendrá una capacidad de infiltración mayor que un suelo arcilloso y compacto.

**Latitud:** es la distancia angular entre la línea ecuatorial (el ecuador), y un punto determinado de la Tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto.

**Longitud:** expresa la distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano que se tome como 0° (es decir el meridiano base) medida a lo largo del paralelo en el que se encuentra dicho punto, una circunferencia cuyo centro es la intersección del eje de la Tierra con el plano del citado paralelo.

**Nivel Freático:** corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. A menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

**Permeabilidad:** es la capacidad que tiene un material de permitirle que un flujo magnético lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

**Plioceno:** es una división de la escala temporal geológica, es la época geológica que comienza hace 5 332 000 años y termina hace 2 588 000 años.

**Precipitación:** es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre.

**Recarga de Acuíferos:** Parte de agua precipitada que resultada en una infiltración profunda llegando a los estratos donde se desarrolla el acuífero.

**Reservas Subterráneas:** Volumen de agua almacenado en uno o varios estratos geológicos, la cual puede ser variable en el tiempo dependiendo de la permeabilidad de los estratos y de las extracciones naturales o artificiales que el acuífero posea.



**Rocas Sedimentarias:** son rocas que se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de diversos tamaños que son transportadas por el hielo, el agua o el aire y sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis), y dan lugar a materiales más o menos consolidados.

**Rocas Ígneas:** se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica.

**Rocas Metamórficas:** son las que se forman a partir de otras rocas mediante un proceso llamado metamorfismo. El metamorfismo se da indistintamente en rocas ígneas, rocas sedimentarias u otras rocas metamórficas, cuando éstas quedan sometidas a altas presiones (de alrededor de 1.500 bar), altas temperaturas (entre 150 y 200 °C) o a un fluido activo que provoca cambios en la composición de la roca, aportando nuevas sustancias a ésta.

**Subducción:** de placas es el proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite convergente, según la teoría de tectónica de placas.

## Bibliografía

- Gestión Ambiental del Municipio de Nejapa, FUNDE, 1996.
- Base de datos de Nejapa (servicios, medio físico, medio socioeconómico) 2002.
- Mapa pedológico de San Salvador Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2012.
- K. Köppen. Sistema de Clasificación Climática, 2000
- Sala y Gay (SALA, M. y GAY, R. (1981): Notas de Geografía Física, N° 4. Departamento de Geografía.
- Schumm, S.A; Geol. Soc. Am. Bull 1956.
- Strahler A. (1964 “Geomorfología cuantitativa de las cuencas de drenaje y redes de canales”, Manual de Hidrología Aplicada.
- Morisawa (1985) - Rivers (Ríos), M. Morisawa, Longman, 1985.
- Mueller, Jerry 1968, Introducción a la Sinuosidad Hidráulica y Topográfica. Asociación Americana de Geógrafos.
- Observaciones sobre la estructura geológica de la República de El Salvador, Centro América” 1975, Wiesemann G.
- Léxico Estratigráfico de El Salvador (Baxter, 1984)”.
- Mapa geológico 1:100.000 realizado por la delegación alemana, 1978.
- Mecánica de Suelos tomo III, Flujo de Agua en Suelos, Editorial LIMUSA, 2004.
- Gil Laura, “Evaluación Hidrogeológica y Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema Acuífero del Municipio de Nejapa, San Salvador, El Salvador”. Investigación de Tesis de post-grado- Universidad de Costa Rica 2007. Balance hídrico Dinámico el Salvador, SNET - 2005.
- Revisión y Análisis de los componentes Hidrológico e Hidrogeológico del Estudio Hidrogeológico, Hidrológico, Hidráulico y de Riesgo Zona Planta Nixapa, Industrias La Constancia ILC, Nejapa, San Salvador 2013.

- Ponce de León y otros., “Caracterización de los riesgos geológicos y dimensionamientos de los recursos hidrogeológicos en el municipio de Nejapa”. Geólogos del Mundo, 2003.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperatura Applied Eng. in Agric.
- Balance hídrico dinámico e integrado de El Salvador: componente evaluación de recursos hídricos. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). El Salvador, San Salvador; 2006.
- Tesis de Ingeniería Química “Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de Lavaderos Públicos del Municipio de Nejapa.”, Universidad de El Salvador.
- Ordenanza Municipal Para el Manejo Adecuado de las Aguas Residuales y Planta de Tratamiento del Municipio de Nejapa Publicado en el D.O. N° 214, Tomo 369 del 17 de noviembre del 2005.
- NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA (Segunda actualización) Publicada en el Diario Oficial el 12 de Junio de 2009, tomo 383 Número 109.
- <http://www.snet.gob.sv/>
- <http://www.mag.gob.sv/>
- <http://mapas.snet.gob.sv/meteorologia/lluviadiaria.php>

# **ANEXOS.**

### **Anexo III - I**

Memoria de cálculo de ensayos de Porchet.

### **Resultados de las pruebas de permeabilidad con el método de Porchet.**

En el presente anexo se aborda el cálculo de la tasa de infiltración del suelo y subsuelo en los sectores de ubicación de la cuenca del Río San Antonio. Además se muestran los cálculos para la determinación de la humedad existente en el suelo en el sitio de cada ensayo de permeabilidad.

Se procedió a efectuar 22 pruebas de infiltración, en el área de la cuenca del Río San Antonio, los resultados de las pruebas efectuadas permiten establecer, tal y como era de esperar, que al comienzo del proceso de infiltración ocurren tasas más altas, que disminuyen rápidamente en los primeros minutos, para tender a valores más pequeños en el largo plazo, lo que se nota claramente en las curvas de cada prueba que se detallan a continuación.

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°1.

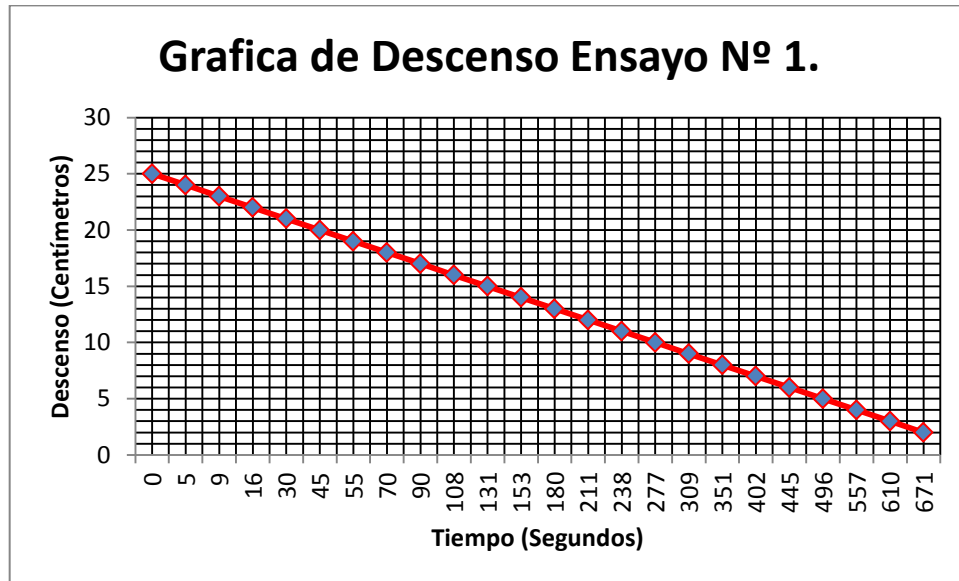
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	1		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	475043	299755	432
UBICACION	Ciudad de Nejapa		
FECHA	13 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	25	180	13
5	24	211	12
9	23	238	11
16	22	277	10
30	21	309	9
45	20	351	8
55	19	402	7
70	18	445	6
90	17	496	5
108	16	557	4
131	15	610	3
153	14	671	2

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°1)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	16	h <sub>1</sub>	22
t <sub>2</sub>	30	h <sub>2</sub>	21
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (30 - 16)} \cdot \ln \left( \frac{2(22) + 15}{2(21) + 15} \right)$			
k = 0.0185 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°1)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	445	h <sub>1</sub>	6
t <sub>2</sub>	496	h <sub>2</sub>	5
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (496 - 445)} \cdot \ln \left( \frac{2(6) + 15}{2(5) + 15} \right)$			
k = 0.0113 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°1.
k = 0.0149 cm/seg



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N°1.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 14-8	78.60
Tara 14-8 + Muestra # 1 Húmeda	547.0
Peso Muestra # 1 Húmeda	468.40
Tara 14-8 + Muestra # 1 Seca	507.40
Peso Muestra # 1 Seca	428.80

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{468.40 - 428.80}{468.40} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \#1} = 8.45 \%$$



**Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°2.**

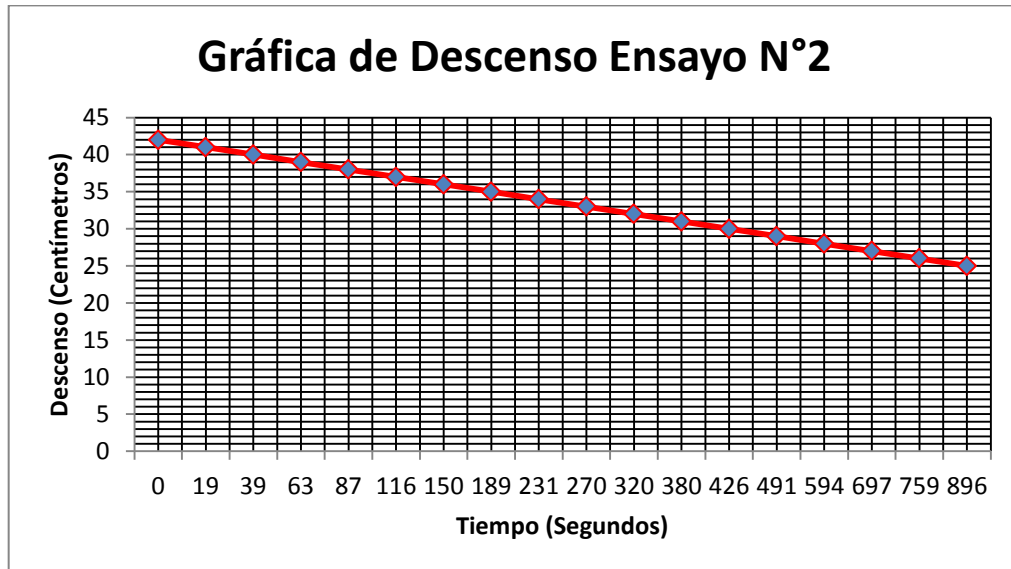
<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>ENSAYO N°</b>	<b>2</b>		
<b>COORDENADAS</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación (m.s.n.m)</b>
	476971	301211	410
<b>UBICACION</b>	<b>Cantón El Camote</b>		
<b>FECHA</b>	<b>13 mayo 2013</b>		

<b>PRUEBA DE DESCENSO</b>			
<b>Radio (cm)</b>		<b>15</b>	
<b>Altura (cm)</b>		<b>50</b>	
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>
0	42	270	33
19	41	320	32
39	40	380	31
63	39	426	30
87	38	491	29
116	37	594	28
150	36	697	27
189	35	759	26
231	34	896	25

<b>Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°2)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	63	h <sub>1</sub>	39
t <sub>2</sub>	87	h <sub>2</sub>	38
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (87 - 63)} \cdot \ln \left( \frac{2(39) + 15}{2(38) + 15} \right)$			
$k = 0.00679 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°2)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	594	h <sub>1</sub>	28
t <sub>2</sub>	697	h <sub>2</sub>	27
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (697 - 594)} \cdot \ln \left( \frac{2(28) + 15}{2(27) + 15} \right)$			
$k = 0.00208 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°2.</b>
$k = 0.00443 \text{ cm/seg}$



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N°2.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 12P5	51.0
Tara 12P5 + Muestra # 2 Húmeda	568.60
Peso Muestra # 2 Húmeda	517.60
Tara 12P5 + Muestra # 2 Seca	466.85
Peso Muestra # 2 Seca	415.85

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{517.60 - 415.85}{517.60} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \#2} = 19.66 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°3.

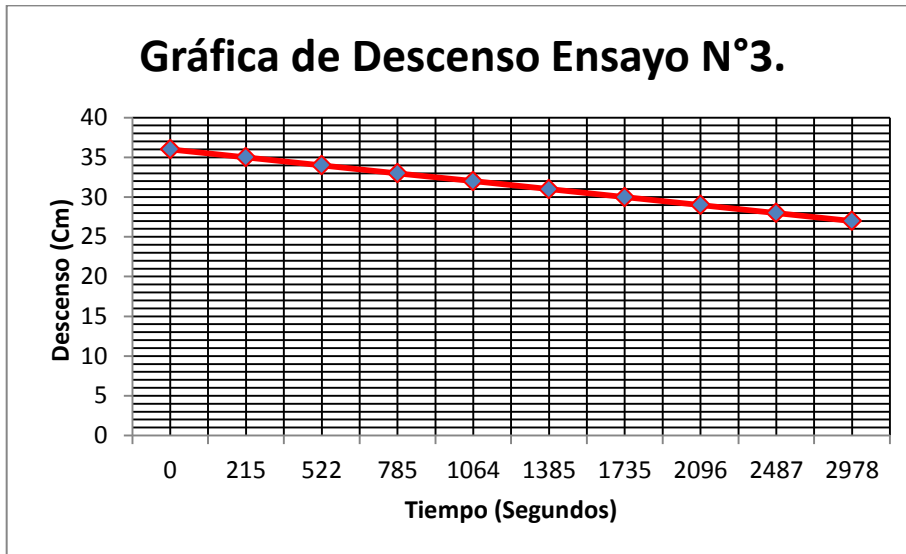
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	3		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	477787	301616	413
UBICACION	Cantón El Camote.		
FECHA	13 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	36	1385	31
215	35	1735	30
522	34	2096	29
785	33	2487	28
1064	32	2978	27

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°3)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	522	h <sub>1</sub>	34
t <sub>2</sub>	785	h <sub>2</sub>	33
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (785 - 522)} \cdot \ln \left( \frac{2(34) + 15}{2(33) + 15} \right)$ $k = 0.000696 \text{ cm/seg}$			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°3)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	2487	h <sub>1</sub>	28
t <sub>2</sub>	2978	h <sub>2</sub>	27
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (2978 - 2487)} \cdot \ln \left( \frac{2(28) + 15}{2(27) + 15} \right)$ $k = 0.000465 \text{ cm/seg}$			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°3.
$k = 0.000581 \text{ cm/seg}$



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N°3.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 0-6	51.40
Tara 0-6 + Muestra # 3 Húmeda	447.0
Peso Muestra # 3 Húmeda	395.60
Tara 0-6 + Muestra # 3 Seca	365.30
Peso Muestra # 3 Seca	313.90

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{395.60 - 313.90}{395.60} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \#1} = 20.65 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°4.

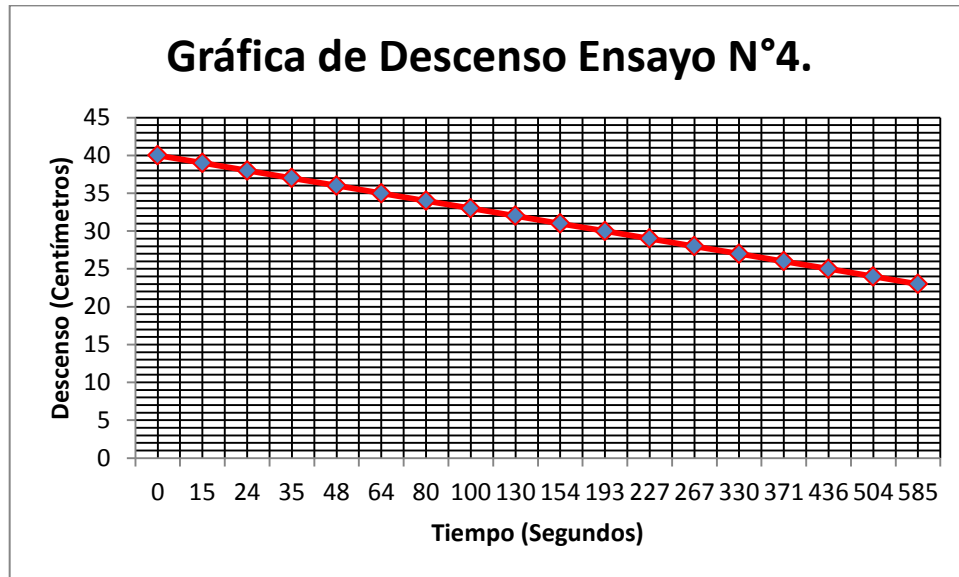
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	4		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	475807	298311	506
UBICACION	Cantón El Cedral		
FECHA	13 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		60	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	40	154	31
15	39	193	30
24	38	227	29
35	37	267	28
48	36	330	27
64	35	371	26
80	34	436	25
100	33	504	24
130	32	585	23

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°4)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	35	h <sub>1</sub>	37
t <sub>2</sub>	48	h <sub>2</sub>	36
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (48 - 35)} \cdot \ln \left( \frac{2(37) + 15}{2(36) + 15} \right)$			
k = 0.0131 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°4)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	436	h <sub>1</sub>	25
t <sub>2</sub>	504	h <sub>2</sub>	24
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (504 - 436)} \cdot \ln \left( \frac{2(25) + 15}{2(24) + 15} \right)$			
k = 0.00345 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°4.
k = 0.00828 cm/seg



#### Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N°4.

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 12-8	28.0
Tara + Muestra # 4 Húmeda	365.96
Peso Muestra # 4 Húmeda	337.96
Tara 12-8 + Muestra # 4 Seca	303.0
Peso Muestra # 4 Seca	275.0

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{337.96 - 275.0}{337.96} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 4} = 18.63 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°5.

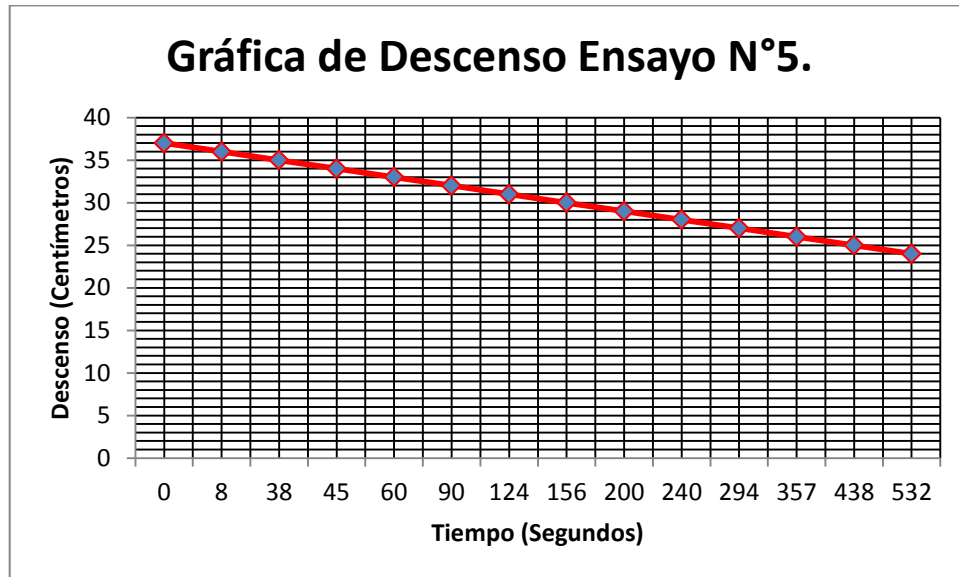
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	5		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	475600	298720	513
UBICACION	Cantón El Cedral		
FECHA	13 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	37	156	30
8	36	200	29
38	35	240	28
45	34	294	27
60	33	357	26
90	32	438	25
124	31	532	24

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°5)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	156	h <sub>1</sub>	30
t <sub>2</sub>	200	h <sub>2</sub>	29
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (200 - 156)} \cdot \ln \left( \frac{2(30) + 15}{2(29) + 15} \right)$			
k = 0.00461 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°5)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	357	h <sub>1</sub>	26
t <sub>2</sub>	438	h <sub>2</sub>	25
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (438 - 357)} \cdot \ln \left( \frac{2(26) + 15}{2(25) + 15} \right)$			
k = 0.00281 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°5.
k = 0.00371 cm/seg



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 5.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 12-5	27.35
Tara 12-5 + Muestra # 5 Húmeda	429.70
Peso Muestra # 5 Húmeda	402.35
Tara 12-5 + Muestra # 5 Seca	356.10
Peso Muestra # 5 Seca	328.75

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{402.35 - 328.75}{402.35} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 5} = 18.29 \%$$



**Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°6.**

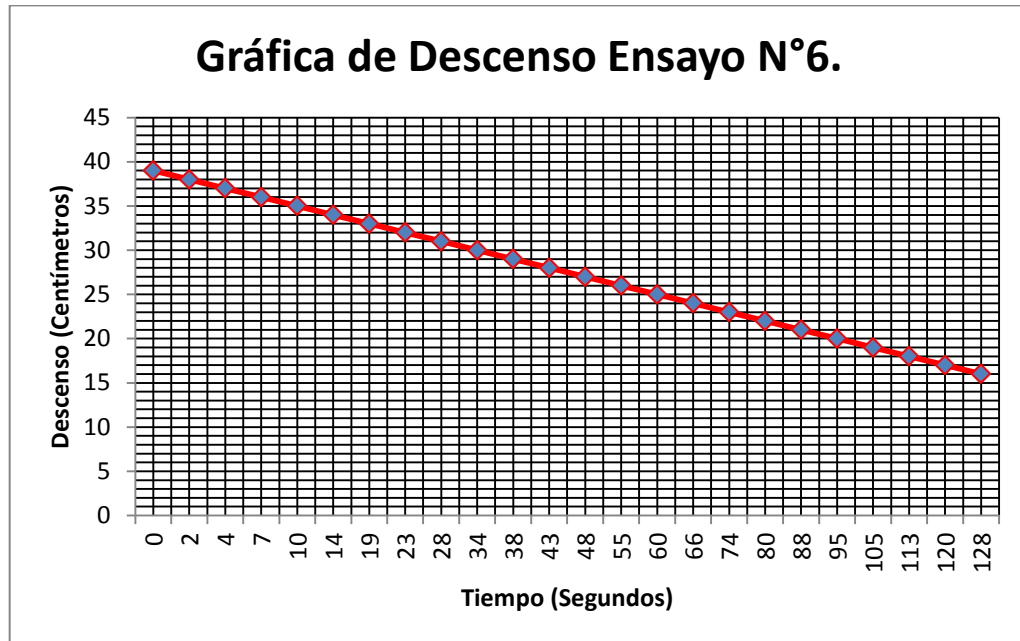
<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>ENSAYO N°</b>	<b>6</b>		
<b>COORDENADAS</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación (m.s.n.m)</b>
	475428	299384	452
<b>UBICACION</b>	<b>Ciudad de Nejapa</b>		
<b>FECHA</b>	<b>13 mayo 2013</b>		

<b>PRUEBA DE DESCENSO</b>			
<b>Radio (cm)</b>		<b>15</b>	
<b>Altura (cm)</b>		<b>50</b>	
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>
0	39	48	27
2	38	55	26
4	37	60	25
7	36	66	24
10	35	74	23
14	34	80	22
19	33	88	21
23	32	95	20
28	31	105	19
34	30	113	18
38	29	120	17
43	28	128	16

<b>Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°6)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	14	h <sub>1</sub>	34
t <sub>2</sub>	19	h <sub>2</sub>	33
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (19 - 14)} \cdot \ln \left( \frac{2(34) + 15}{2(33) + 15} \right)$			
$k = 0.0366 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°6)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	105	h <sub>1</sub>	19
t <sub>2</sub>	113	h <sub>2</sub>	18
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (113 - 105)} \cdot \ln \left( \frac{2(19) + 15}{2(18) + 15} \right)$			
$k = 0.0361 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°6.</b>
$k = 0.0364 \text{ cm/seg}$



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 6.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 14-12	29.50
Tara 14-12 + Muestra # 6 Húmeda	318.0
Peso Muestra # 6 Húmeda	288.50
Tara 14-12 + Muestra # 6 Seca	256.10
Peso Muestra # 6 Seca	226.60

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{288.50 - 226.60}{288.50} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 6} = 21.46 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°7.

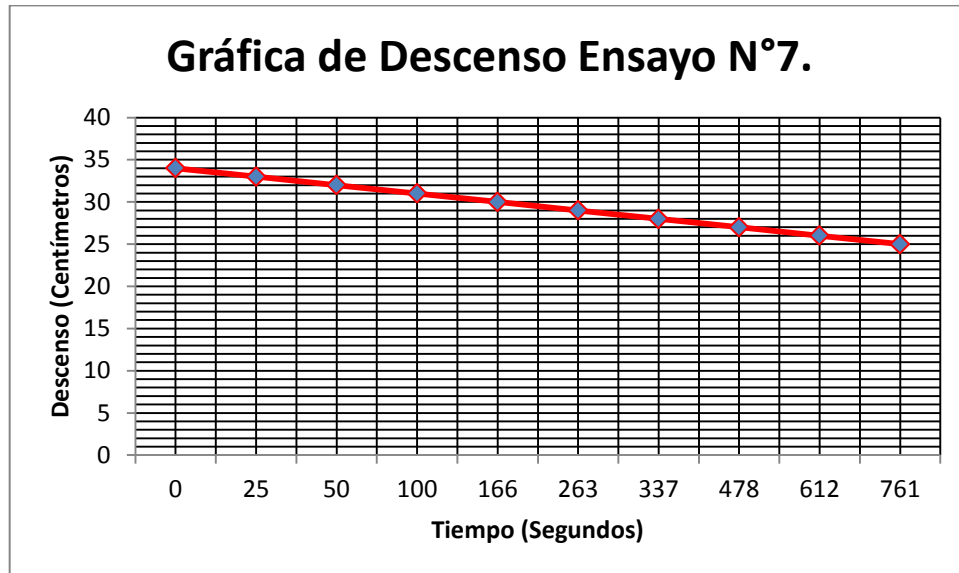
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	7		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	475886	299642	499
UBICACION	Cantón El Cedral		
FECHA	13 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		40	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	34	263	29
25	33	337	28
50	32	478	27
100	31	612	26
166	30	761	25

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°7)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	100	h <sub>1</sub>	31
t <sub>2</sub>	166	h <sub>2</sub>	30
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (166 - 100)} \cdot \ln \left( \frac{2(31) + 15}{2(30) + 15} \right)$			
k = 0.00299 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°7)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	612	h <sub>1</sub>	26
t <sub>2</sub>	761	h <sub>2</sub>	25
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (761 - 612)} \cdot \ln \left( \frac{2(26) + 15}{2(25) + 15} \right)$			
k = 0.00153 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°7.
k = 0.00226 cm/seg



#### Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 7.

	Peso (Grs)
Tara 14-3	26.80
Tara 14-3 + Muestra # 7 Húmeda	329.80
Peso Muestra # 7 Húmeda	303.0
Tara 14-3 + Muestra # 7 Seca	294.90
Peso Muestra # 7 Seca	268.10

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{303.0 - 268.10}{303.0} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 7} = 11.52 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°8.

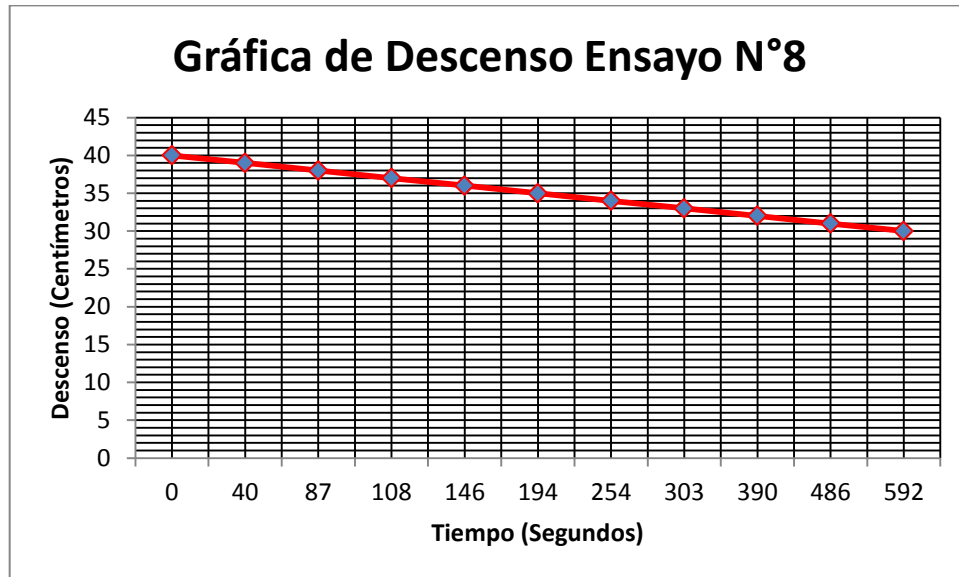
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	8		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	476006	301401	424
UBICACION	Cantón El Puchero, Hacienda las Marías.		
FECHA	14 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		40	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	40	254	34
40	39	303	33
87	38	390	32
108	37	486	31
146	36	592	30
194	35		

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°8)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	146	h <sub>1</sub>	36
t <sub>2</sub>	194	h <sub>2</sub>	35
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (194 - 146)} \cdot \ln \left( \frac{2(36) + 15}{2(35) + 15} \right)$			
k = 0.00363 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°8)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	486	h <sub>1</sub>	31
t <sub>2</sub>	592	h <sub>2</sub>	30
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (592 - 486)} \cdot \ln \left( \frac{2(31) + 15}{2(30) + 15} \right)$			
k = 0.00186 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°8.
k = 0.00275 cm/seg



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 8.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 12-8	28.0
Tara 12-8 + Muestra # 8 Húmeda	231.50
Peso Muestra # 8 Húmeda	203.50
Tara 12-8 + Muestra # 8 Seca	202.70
Peso Muestra # 8 Seca	174.70

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{203.50 - 174.70}{203.50} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 8} = 14.15 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°9.

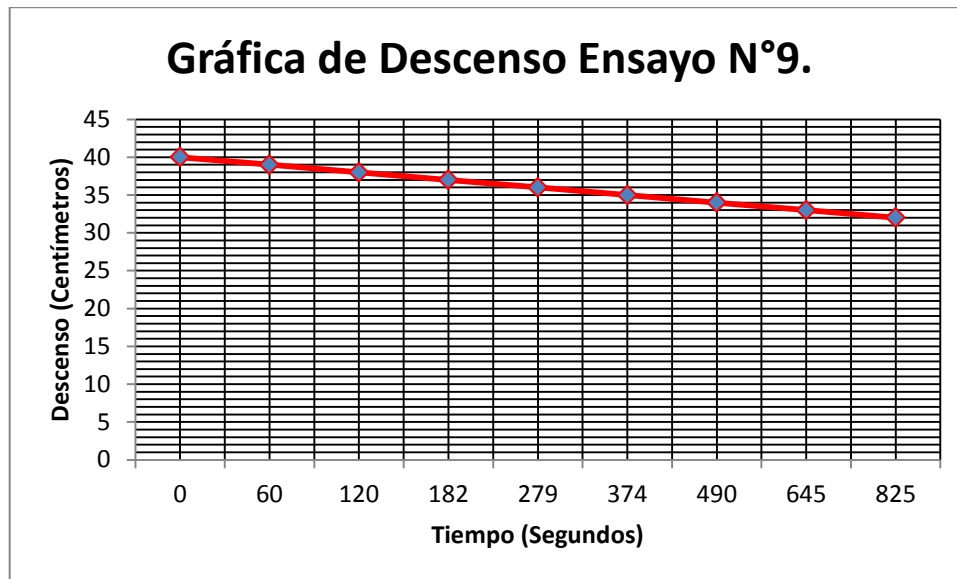
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	9		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	475247	301248	431
UBICACION	Amapilapa		
FECHA	14 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	40	374	35
60	39	490	34
120	38	645	33
182	37	825	32
279	36		

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°9)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	182	h <sub>1</sub>	37
t <sub>2</sub>	279	h <sub>2</sub>	36
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (279 - 182)} \cdot \ln \left( \frac{2(37) + 15}{2(36) + 15} \right)$			
k = 0.00176 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°9)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	645	h <sub>1</sub>	33
t <sub>2</sub>	825	h <sub>2</sub>	32
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (825 - 645)} \cdot \ln \left( \frac{2(33) + 15}{2(32) + 15} \right)$			
k = 0.00104 cm /seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°9.
k = 0.00140 cm/seg



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 9.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 14-3	26.80
Tara 14-3 + Muestra # 9 Húmeda	272.50
Peso Muestra # 9 Húmeda	245.70
Tara 14-3 + Muestra # 9 Seca	213.10
Peso Muestra # 9 Seca	186.30

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{245.70 - 186.30}{245.70} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 9} = 24.18 \%$$



### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°10.

DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	10		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	475319	303293	454
UBICACION	Cantón El Llano.		
FECHA	14 mayo 2013		

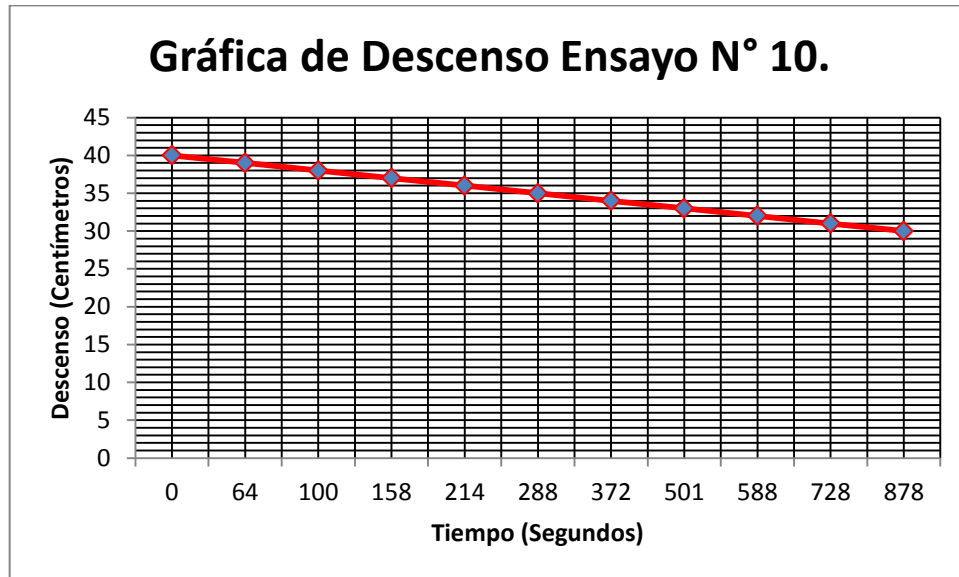
PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		40	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	40	372	34
64	39	501	33
100	38	588	32
158	37	728	31
214	36	878	30
288	35		

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°10)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	158	h <sub>1</sub>	37
t <sub>2</sub>	214	h <sub>2</sub>	36
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (214 - 158)} \cdot \ln \left( \frac{2(37) + 15}{2(36) + 15} \right)$			
$k = 0.00304 \text{ cm/seg}$			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°10)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	588	h <sub>1</sub>	32
t <sub>2</sub>	728	h <sub>2</sub>	31
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (728 - 588)} \cdot \ln \left( \frac{2(32) + 15}{2(31) + 15} \right)$			
$k = 0.00137 \text{ cm/seg}$			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N°10.
--

$k = 0.00221 \text{ cm/seg}$
------------------------------



#### Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 10.

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 14-12	29.50
Tara 14-12 + Muestra # 10 Húmeda	230.50
Peso Muestra # 10 Húmeda	201.0
Tara 14-12 + Muestra # 10 Seca	210.0
Peso Muestra # 10 Seca	180.50

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{201.0 - 180.50}{201.0} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 10} = 10.20 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°11.

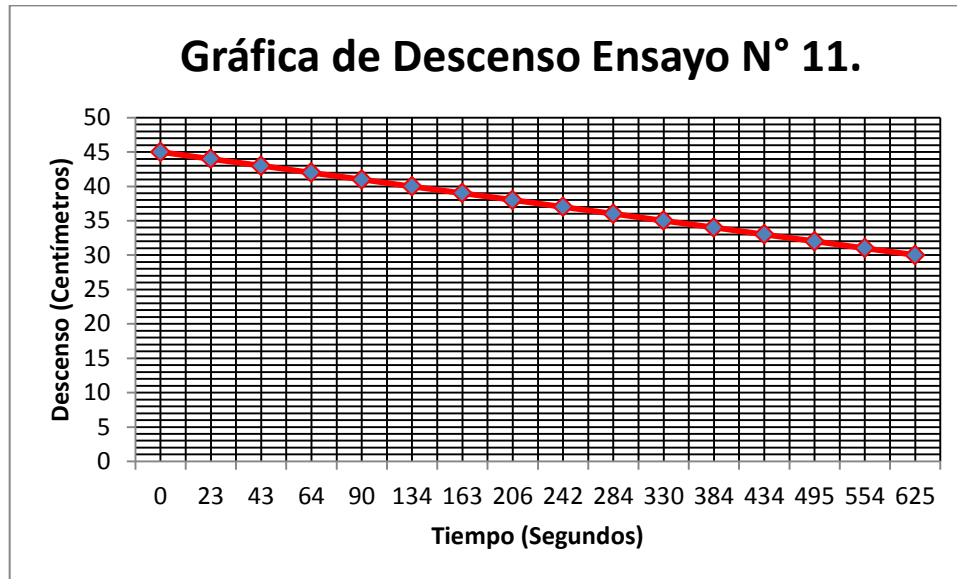
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	11		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	474470	301902	470
UBICACION	Cantón Camotepeque.		
FECHA	14 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	45	242	37
23	44	284	36
43	43	330	35
64	42	384	34
90	41	434	33
134	40	495	32
163	39	554	31
206	38	625	30

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°11)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	134	h <sub>1</sub>	40
t <sub>2</sub>	163	h <sub>2</sub>	39
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (163 - 134)} \cdot \ln \left( \frac{2(40) + 15}{2(39) + 15} \right)$ $k = 0.00550 \text{ cm/seg}$			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°11)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	495	h <sub>1</sub>	32
t <sub>2</sub>	554	h <sub>2</sub>	31
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (554 - 495)} \cdot \ln \left( \frac{2(32) + 15}{2(31) + 15} \right)$ $k = 0.00326 \text{ cm/seg}$			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 11.
$k = 0.00438 \text{ cm/seg}$



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 11.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 12-5	27.35
Tara 12-5 + Muestra # 11 Húmeda	301.70
Peso Muestra # 11 Húmeda	274.35
Tara 12-5 + Muestra # 11 Seca	230.30
Peso Muestra # 11 Seca	202.95

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{274.35 - 202.95}{274.35} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 11} = 26.02 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°12.

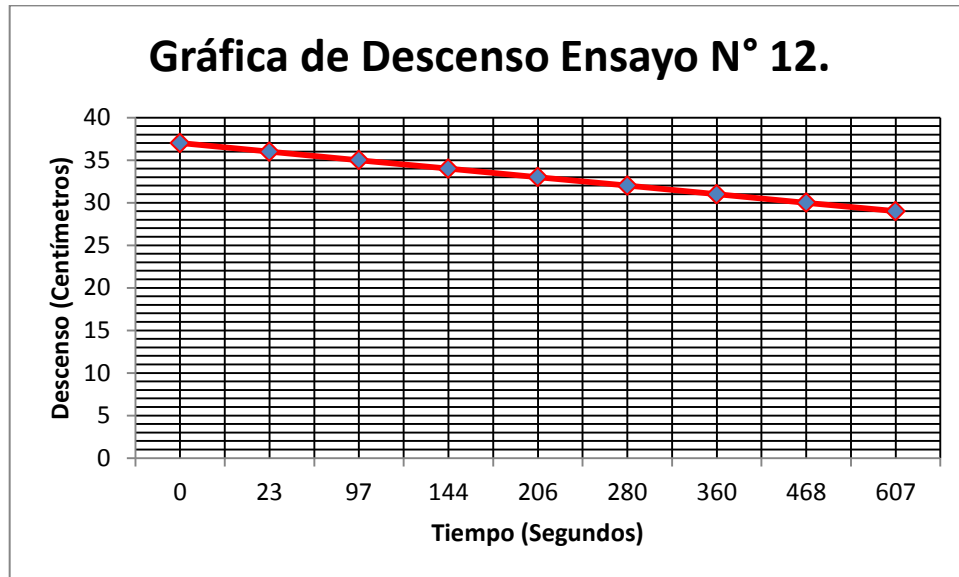
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	12		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	473526	299305	467
UBICACION	Cantón El Salitre		
FECHA	14 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		45	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	37	280	32
23	36	360	31
97	35	468	30
144	34	607	29
206	33		

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°12)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	144	h <sub>1</sub>	34
t <sub>2</sub>	206	h <sub>2</sub>	33
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (206 - 144)} \cdot \ln \left( \frac{2(34) + 15}{2(33) + 15} \right)$			
k = 0.00295 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°12)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	468	h <sub>1</sub>	30
t <sub>2</sub>	607	h <sub>2</sub>	29
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (607 - 468)} \cdot \ln \left( \frac{2(30) + 15}{2(29) + 15} \right)$			
k = 0.00146 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 12.
k = 0.00221 cm/seg



#### Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 12.

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 0-6	51.40
Tara 0-6 + Muestra # 12 Húmeda	432.10
Peso Muestra # 12 Húmeda	380.70
Tara 0-6 + Muestra # 12 Seca	383.70
Peso Muestra # 12 Seca	332.30

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{380.70 - 332.30}{380.70} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 12} = 12.71 \%$$

**Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°13.**

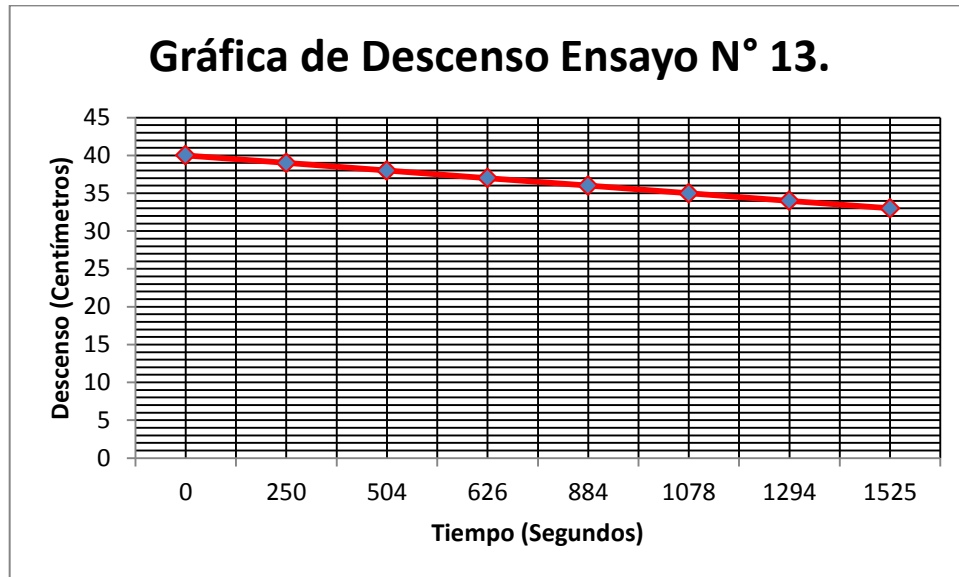
<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>ENSAYO N°</b>	<b>13</b>		
<b>COORDENADAS</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación (m.s.n.m)</b>
	474304	298070	498
<b>UBICACION</b>	<b>Hacienda Los Moranes</b>		
<b>FECHA</b>	<b>14 mayo 2013</b>		

<b>PRUEBA DE DESCENSO</b>			
<b>Radio (cm)</b>		<b>15</b>	
<b>Altura (cm)</b>		<b>45</b>	
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>
0	40	884	36
250	39	1078	35
504	38	1294	34
626	37	1525	33

<b>Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°13)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	626	h <sub>1</sub>	37
t <sub>2</sub>	884	h <sub>2</sub>	36
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (884 - 626)} \cdot \ln \left( \frac{2(37) + 15}{2(36) + 15} \right)$			
$k = 0.000661 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°13)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	1078	h <sub>1</sub>	35
t <sub>2</sub>	1294	h <sub>2</sub>	34
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (1294 - 1078)} \cdot \ln \left( \frac{2(35) + 15}{2(34) + 15} \right)$			
$k = 0.000827 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 13.</b>
$k = 0.000744 \text{ cm/seg}$



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 13.**

	Peso (Grs)
Tara 12P5	51.0
Tara 12P5 + Muestra # 13 Húmeda	356.50
Peso Muestra # 13 Húmeda	305.50
Tara 12P5 + Muestra # 13 Seca	317.30
Peso Muestra # 13 Seca	266.30

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{305.50 - 266.30}{305.50} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 13} = 12.83 \%$$



### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°14.

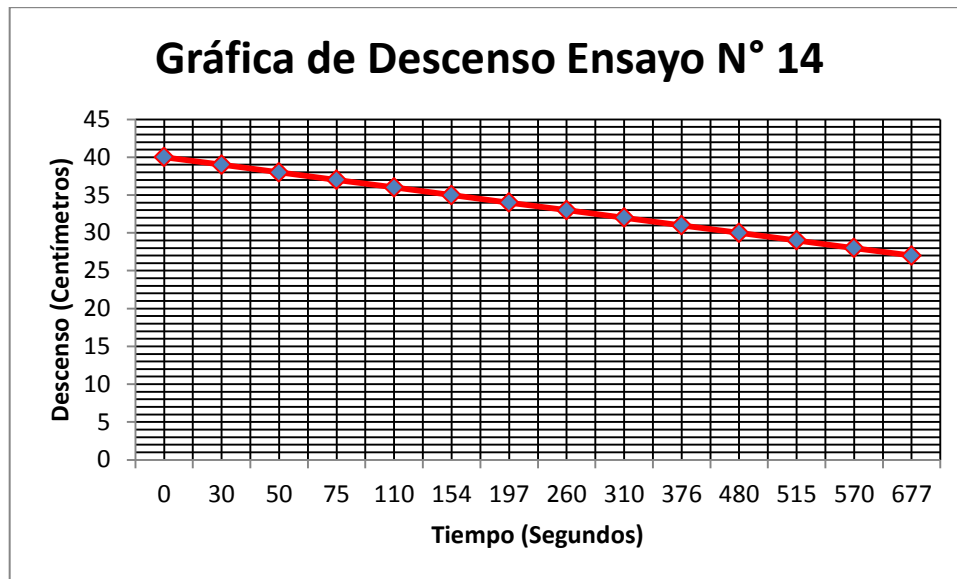
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	14		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	475944	298117	496
UBICACION	Cantón El Nance.		
FECHA	14 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	40	260	33
30	39	310	32
50	38	376	31
75	37	480	30
110	36	515	29
154	35	570	28
197	34	677	27

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°14)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	197	h <sub>1</sub>	34
t <sub>2</sub>	260	h <sub>2</sub>	33
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (260 - 197)} \cdot \ln \left( \frac{2(34) + 15}{2(33) + 15} \right)$			
k = 0.00290 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°14)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	570	h <sub>1</sub>	28
t <sub>2</sub>	677	h <sub>2</sub>	27
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (677 - 570)} \cdot \ln \left( \frac{2(28) + 15}{2(27) + 15} \right)$			
k = 0.00200 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 14.
k = 0.00245 cm/seg



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 14.**

	Peso (Grs)
Tara 14-8	78.60
Tara 14-8 + Muestra # 14 Húmeda	426.60
Peso Muestra # 14 Húmeda	348.0
Tara 14-8 + Muestra # 14 Seca	398.10
Peso Muestra # 14 Seca	319.50

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{348.0 - 319.50}{348.0} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 14} = 8.19 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°15.

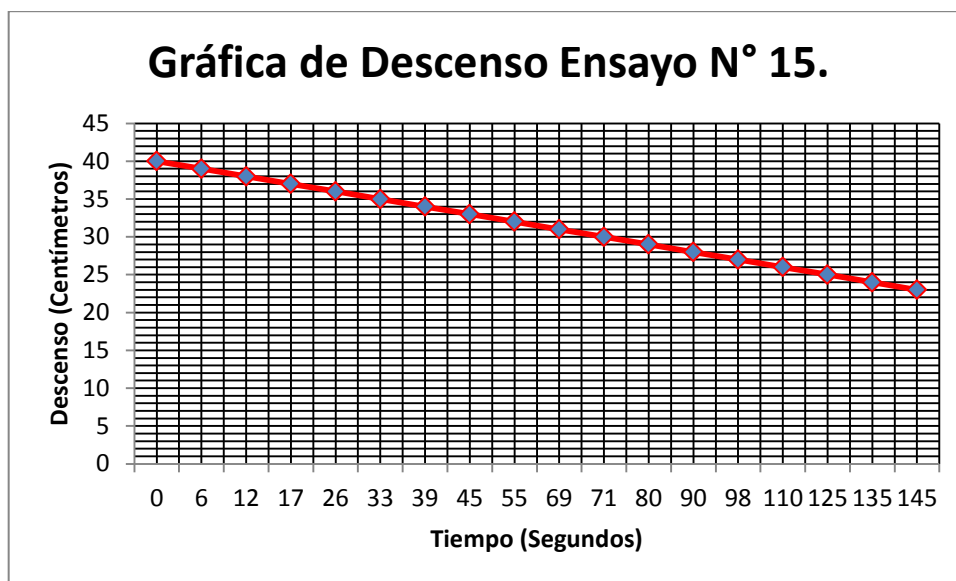
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	15		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	477069	297923	489
UBICACION	La Puerta		
FECHA	14 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	40	69	31
6	39	71	30
12	38	80	29
17	37	90	28
26	36	98	27
33	35	110	26
39	34	125	25
45	33	135	24
55	32	145	23

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°15)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	45	h <sub>1</sub>	33
t <sub>2</sub>	55	h <sub>2</sub>	32
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (55 - 45)} \cdot \ln \left( \frac{2(33) + 15}{2(32) + 15} \right)$			
k = 0.0188 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°15)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	110	h <sub>1</sub>	26
t <sub>2</sub>	125	h <sub>2</sub>	25
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (125 - 110)} \cdot \ln \left( \frac{2(26) + 15}{2(25) + 15} \right)$			
k = 0.0152 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 15.
k = 0.0170 cm/seg



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 15.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 1-5	82.70
Tara 1-5 + Muestra # 15 Húmeda	506.30
Peso Muestra # 15 Húmeda	423.60
Tara 1-5 + Muestra # 15 Seca	471.0
Peso Muestra # 15 Seca	388.30

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{423.60 - 388.30}{423.60} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 15} = 8.33 \%$$

**Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°16.**

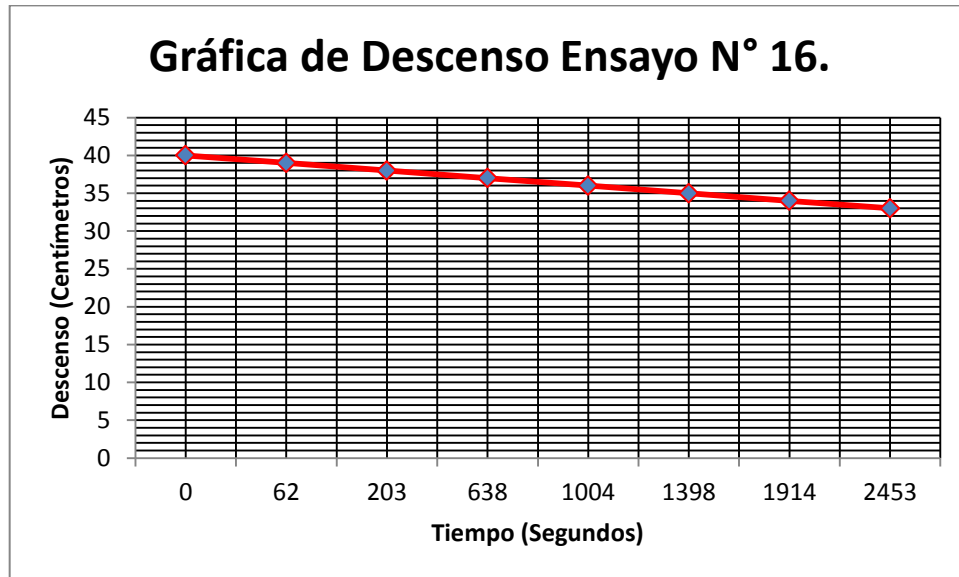
<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>ENSAYO N°</b>	<b>16</b>		
<b>COORDENADAS</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación (m.s.n.m)</b>
	472346	293034	1375
<b>UBICACION</b>	<b>El Picacho Finca Santa Isabel.</b>		
<b>FECHA</b>	<b>16 mayo 2013</b>		

<b>PRUEBA DE DESCENSO</b>			
<b>Radio (cm)</b>		<b>15</b>	
<b>Altura (cm)</b>		<b>50</b>	
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>
0	40	1004	36
62	39	1398	35
203	38	1914	34
638	37	2453	33

<b>Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°16)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	203	h <sub>1</sub>	38
t <sub>2</sub>	638	h <sub>2</sub>	37
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (638 - 203)} \cdot \ln \left( \frac{2(38) + 15}{2(37) + 15} \right)$ $k = 0.000383 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°16)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	1398	h <sub>1</sub>	35
t <sub>2</sub>	1914	h <sub>2</sub>	34
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (1914 - 1398)} \cdot \ln \left( \frac{2(35) + 15}{2(34) + 15} \right)$ $k = 0.000346 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 16.</b>
$k = 0.000365 \text{ cm/seg}$



#### Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 16.

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 14-8	78.60
Tara 14-8 + Muestra # 16 Húmeda	359.30
Peso Muestra # 16 Húmeda	280.70
Tara 14-8 + Muestra # 16 Seca	314.70
Peso Muestra # 16 Seca	236.10

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{280.70 - 236.10}{280.70} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 16} = 15.89 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°17.

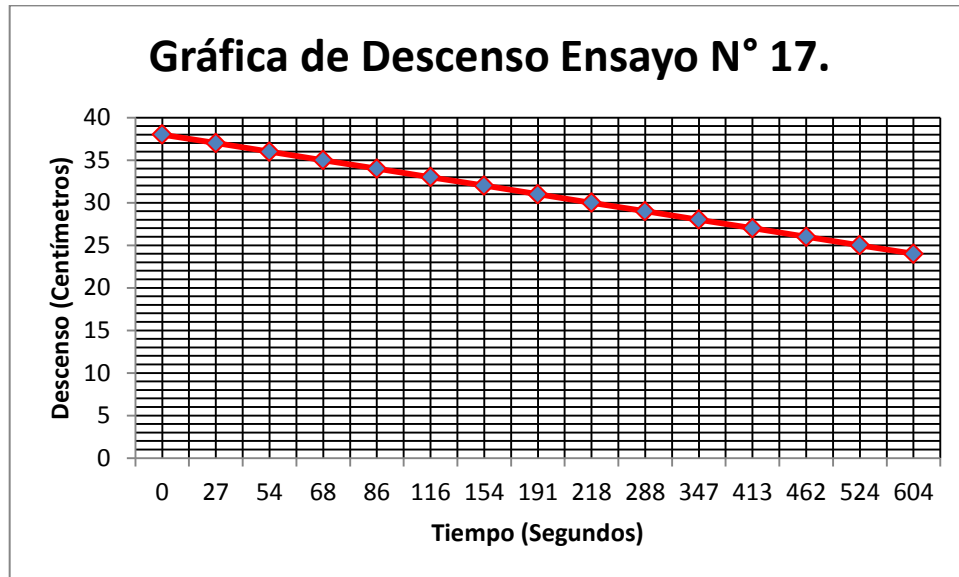
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	17		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	471609	293017	1424
UBICACION	El Picacho, Finca El Ciprés.		
FECHA	16 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	38	218	30
27	37	288	29
54	36	347	28
68	35	413	27
86	34	462	26
116	33	524	25
154	32	604	24
191	31		

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°17)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	218	h <sub>1</sub>	30
t <sub>2</sub>	288	h <sub>2</sub>	29
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (288 - 218)} \cdot \ln \left( \frac{2(30) + 15}{2(29) + 15} \right)$			
k = 0.00290 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°17)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	462	h <sub>1</sub>	26
t <sub>2</sub>	524	h <sub>2</sub>	25
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (524 - 462)} \cdot \ln \left( \frac{2(26) + 15}{2(25) + 15} \right)$			
k = 0.00367 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 17.
k = 0.000329 cm/seg



#### Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 17.

	Peso (Grs)
Tara 0-6	51.40
Tara 0-6 + Muestra # 17 Húmeda	303.60
Peso Muestra # 17 Húmeda	252.20
Tara 0-6 + Muestra # 17 Seca	247.55
Peso Muestra # 17 Seca	196.15

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{252.20 - 196.15}{252.20} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 17} = 22.22 \%$$



**Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°18.**

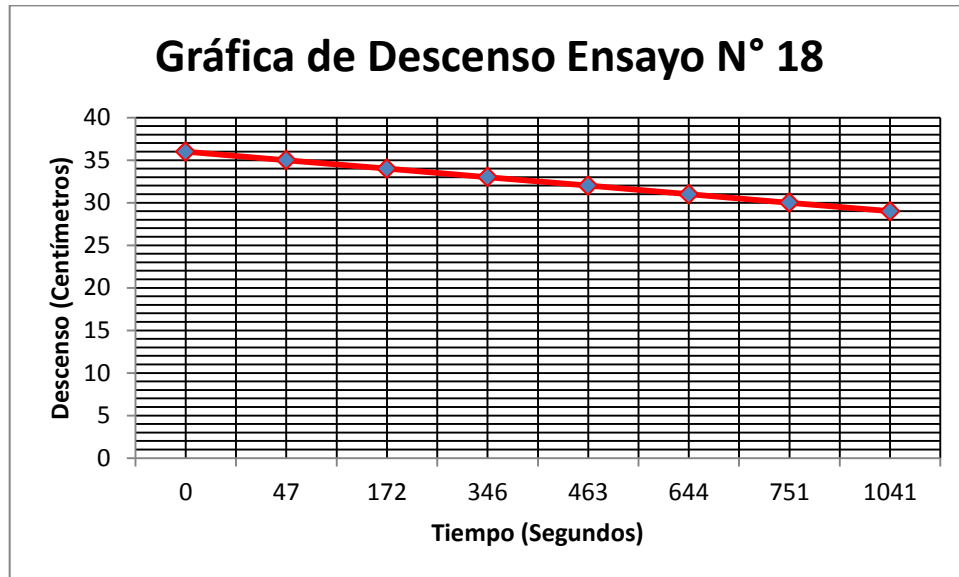
<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>ENSAYO N°</b>	<b>18</b>		
<b>COORDENADAS</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación (m.s.n.m)</b>
	471203	292906	1374
<b>UBICACION</b>	<b>El Picacho.</b>		
<b>FECHA</b>	<b>16 mayo 2013</b>		

<b>PRUEBA DE DESCENSO</b>			
<b>Radio (cm)</b>		<b>15</b>	
<b>Altura (cm)</b>		<b>50</b>	
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>
0	36	463	32
47	35	644	31
172	34	751	30
346	33	1041	29

<b>Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°18)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	346	h <sub>1</sub>	33
t <sub>2</sub>	463	h <sub>2</sub>	32
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (463 - 346)} \cdot \ln \left( \frac{2(33) + 15}{2(32) + 15} \right)$ $k = 0.00160 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°18)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>		<b>Descenso (cm)</b>	
t <sub>1</sub>	751	h <sub>1</sub>	30
t <sub>2</sub>	1041	h <sub>2</sub>	29
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (1041 - 751)} \cdot \ln \left( \frac{2(30) + 15}{2(29) + 15} \right)$ $k = 0.000699 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 18.</b>
$k = 0.00115 \text{ cm/seg}$



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 18.**

	Peso (Grs)
Tara 12P5	51.0
Tara 12P5 + Muestra # 18 Húmeda	446.40
Peso Muestra # 18 Húmeda	395.40
Tara 12P5 + Muestra # 18 Seca	388.40
Peso Muestra # 18 Seca	337.40

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{395.40 - 337.40}{395.40} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 18} = 14.67 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°19.

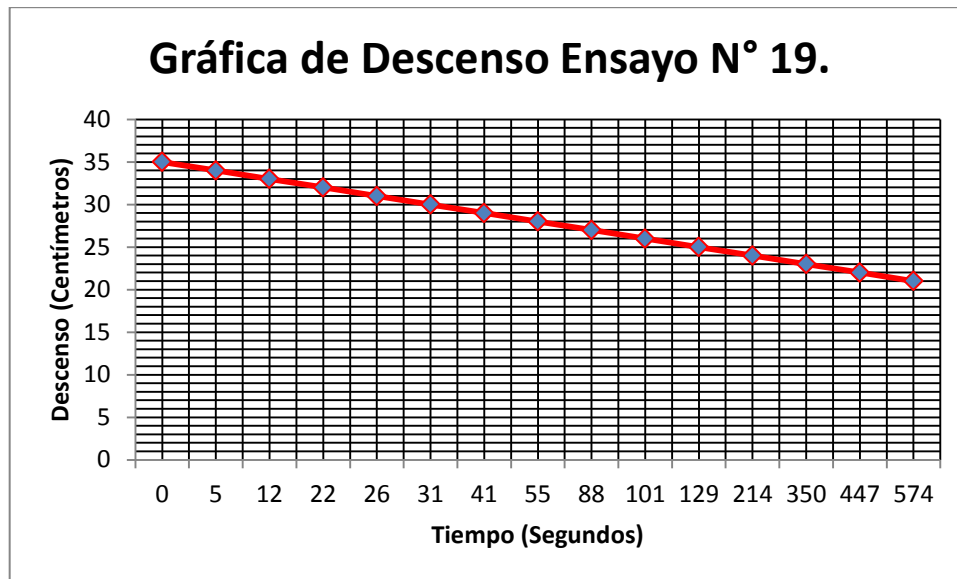
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	19		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	471187	292060	1482
UBICACION	El Picacho, Cantón San Jerónimo.		
FECHA	16 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	35	88	27
5	34	101	26
12	33	129	25
22	32	214	24
26	31	350	23
31	30	447	22
41	29	574	21
55	28		

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°19)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	101	h <sub>1</sub>	26
t <sub>2</sub>	129	h <sub>2</sub>	25
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (129 - 101)} \cdot \ln \left( \frac{2(26) + 15}{2(25) + 15} \right)$			
k = 0.00812 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°19)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	447	h <sub>1</sub>	22
t <sub>2</sub>	574	h <sub>2</sub>	21
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (574 - 447)} \cdot \ln \left( \frac{2(22) + 15}{2(21) + 15} \right)$			
k = 0.00204 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 19.
k = 0.00508 cm/seg



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 19.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara E-2	65.50
Tara E-2 + Muestra # 19 Húmeda	395.70
Peso Muestra # 19 Húmeda	330.20
Tara E-2 + Muestra # 19 Seca	359.10
Peso Muestra # 19 Seca	293.60

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{330.20 - 293.60}{330.20} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 19} = 11.10 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°20.

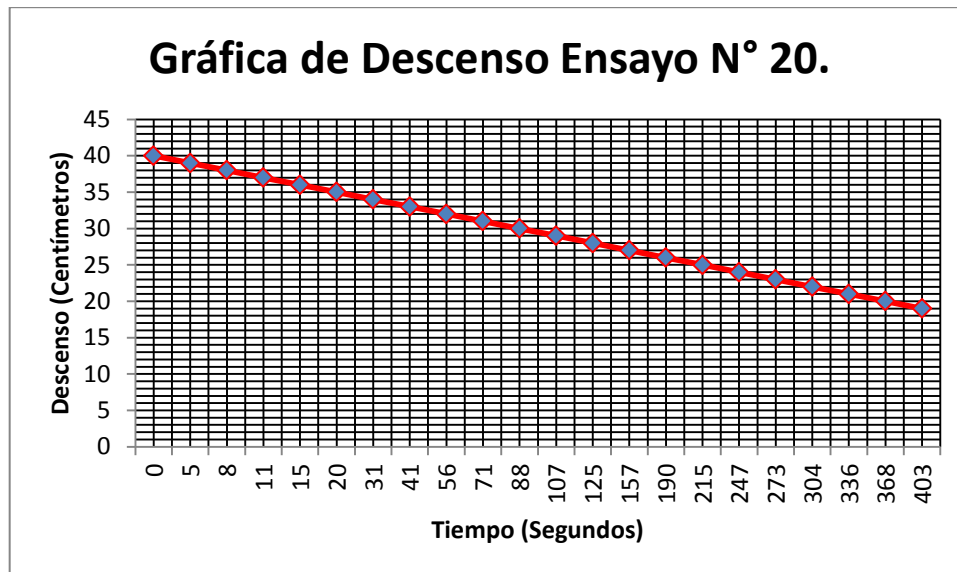
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	20		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	470981	289867	1582
UBICACION	Cantón La Esperanza.		
FECHA	16 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	40	107	29
5	39	125	28
8	38	157	27
11	37	190	26
15	36	215	25
20	35	247	24
31	34	273	23
41	33	304	22
56	32	336	21
71	31	368	20
88	30	403	19

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°20)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	157	h <sub>1</sub>	27
t <sub>2</sub>	190	h <sub>2</sub>	26
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (190 - 157)} \cdot \ln \left( \frac{2(27) + 15}{2(26) + 15} \right)$ $k = 0.00668 \text{ cm/seg}$			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°20)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	336	h <sub>1</sub>	21
t <sub>2</sub>	368	h <sub>2</sub>	20
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$ $k = \frac{15}{2 \cdot (368 - 336)} \cdot \ln \left( \frac{2(21) + 15}{2(20) + 15} \right)$ $k = 0.00837 \text{ cm/seg}$			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 20.
$k = 0.00753 \text{ cm/seg}$



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 20.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 0-7	49.70
Tara 0-7 + Muestra # 20 Húmeda	496.20
Peso Muestra # 20 Húmeda	446.50
Tara 0-7 + Muestra # 20 Seca	467.40
Peso Muestra # 20 Seca	417.70

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{446.50 - 417.70}{446.50} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 20} = 6.45 \%$$

### Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°21.

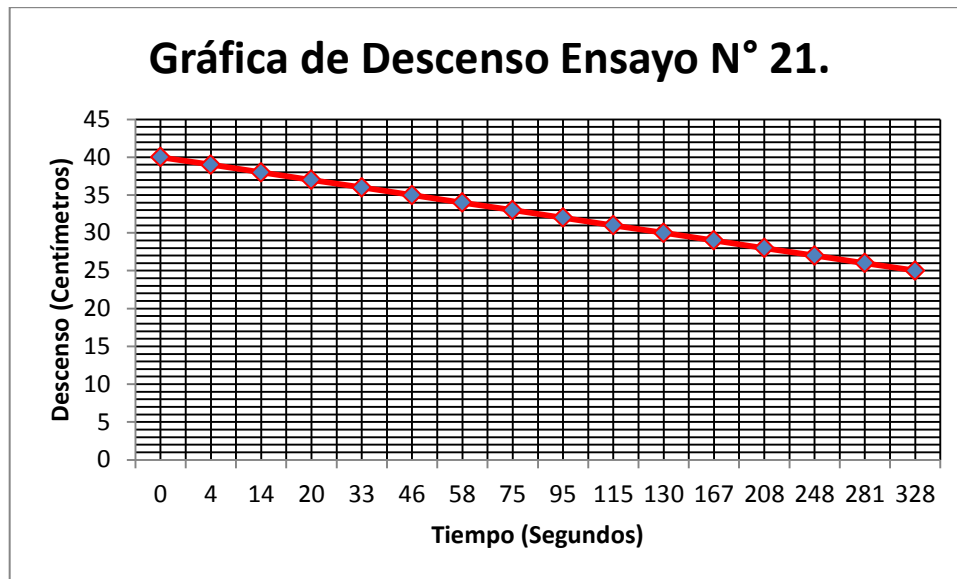
DATOS GENERALES			
ENSAYO N°	21		
COORDENADAS	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m)
	470070	290100	1764
UBICACION	El Boquerón.		
FECHA	16 mayo 2013		

PRUEBA DE DESCENSO			
Radio (cm)		15	
Altura (cm)		50	
Tiempo (seg)	Descenso (cm)	Tiempo (seg)	Descenso (cm)
0	40	95	32
4	39	115	31
14	38	130	30
20	37	167	29
33	36	208	28
46	35	248	27
58	34	281	26
75	33	328	25

Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°21)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	208	h <sub>1</sub>	28
t <sub>2</sub>	248	h <sub>2</sub>	27
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (248 - 208)} \cdot \ln \left( \frac{2(28) + 15}{2(27) + 15} \right)$			
k = 0.00536 cm/seg			

Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°21)			
Tiempo (seg)		Descenso (cm)	
t <sub>1</sub>	281	h <sub>1</sub>	26
t <sub>2</sub>	328	h <sub>2</sub>	25
Cálculos.			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (328 - 281)} \cdot \ln \left( \frac{2(26) + 15}{2(25) + 15} \right)$			
k = 0.00484 cm/seg			

Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 21.
k = 0.00510 cm/seg



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 21.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 12	69.30
Tara 12 + Muestra # 21 Húmeda	397.60
Peso Muestra # 21 Húmeda	328.30
Tara 12 + Muestra # 21 Seca	353.90
Peso Muestra # 21 Seca	284.60

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{328.30 - 284.60}{328.30} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 21} = 13.31 \%$$



**Ensayo de Permeabilidad de Porchet N°22.**

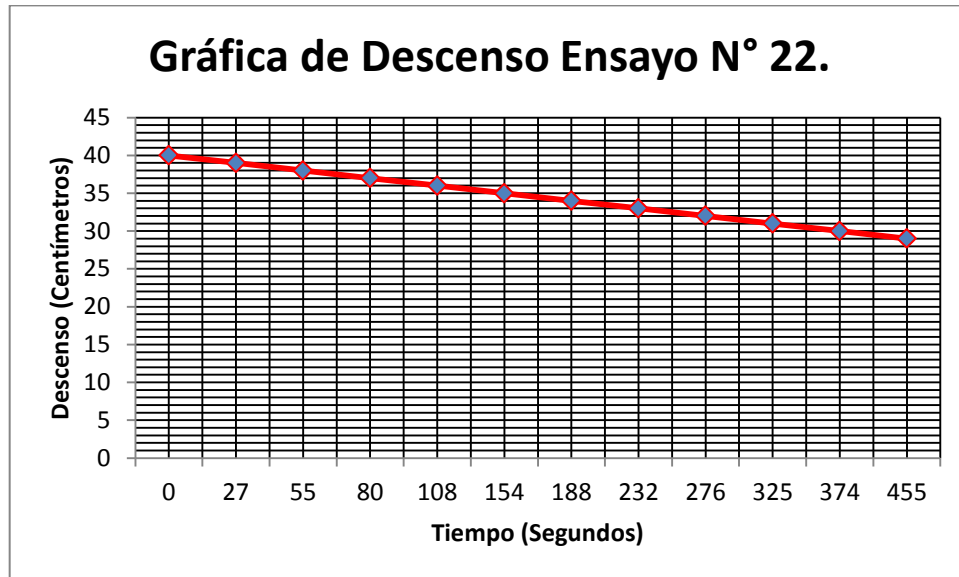
<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>ENSAYO N°</b>	<b>22</b>		
<b>COORDENADAS</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación (m.s.n.m)</b>
	469943	290000	1793
<b>UBICACION</b>	<b>El Boquerón.</b>		
<b>FECHA</b>	<b>16 mayo 2013</b>		

<b>PRUEBA DE DESCENSO</b>			
<b>Radio (cm)</b>		<b>15</b>	
<b>Altura (cm)</b>		<b>60</b>	
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>
0	40	188	34
27	39	232	33
55	38	276	32
80	37	325	31
108	36	374	30
154	35	455	29

<b>Tasa de Infiltración N°1 (Ensayo N°22)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>		
t <sub>1</sub>	276	h <sub>1</sub>	32
t <sub>2</sub>	325	h <sub>2</sub>	31
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (325 - 276)} \cdot \ln \left( \frac{2(32) + 15}{2(31) + 15} \right)$			
$k = 0.00392 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración N°2 (Ensayo N°22)</b>			
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Descenso (cm)</b>		
t <sub>1</sub>	374	h <sub>1</sub>	30
t <sub>2</sub>	455	h <sub>2</sub>	29
<b>Cálculos.</b>			
$k = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$			
$k = \frac{15}{2 \cdot (455 - 374)} \cdot \ln \left( \frac{2(30) + 15}{2(29) + 15} \right)$			
$k = 0.00250 \text{ cm/seg}$			

<b>Tasa de Infiltración Promedio Ensayo N° 22.</b>
$k = 0.00321 \text{ cm/seg}$



**Determinación del porcentaje de humedad en el sitio de ensayo N° 22.**

	<b>Peso (Grs)</b>
Tara 0-8	49.80
Tara 0-8 + Muestra # 22 Húmeda	337.0
Peso Muestra # 22 Húmeda	287.20
Tara 0-8 + Muestra # 22 Seca	299.60
Peso Muestra # 22 Seca	249.80

**Cálculo:**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}} - \text{Peso muestra}_{\text{seca}}}{\text{Peso muestra}_{\text{húmeda}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{287.20 - 249.80}{287.20} * 100$$

$$\% \text{ Humedad Ensayo \# 22} = 13.02 \%$$

### **Anexo III - II**

Memoria de cálculo del Índice de Calidad de las Aguas.

## **Cálculo del “ICA” para las muestras tomadas en el Río San Antonio.**

### **Cálculos muestra de río #1.**

#### **Coliformes Fecales.**

Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3.

$$\text{Coliformes totales} = 170,000.0$$

*∴ de la figura 3 – 10 obtenemos que el Sub<sub>1</sub> = 3*

#### **Potencial de Hidrógeno (pH).**

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 3.

$$\text{pH} = 6.76 \text{ unidades} \therefore \text{de la figura 3 – 11 obtenemos que el Sub}_2 = 80$$

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).**

Si la DBO<sub>5</sub> es mayor de 30 mg/L el (Sub<sub>3</sub>) es igual a 2.

$$\text{DBO}_5 = 16.6 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 12 obtenemos que el Sub}_3 = 17$$

#### **Nitratos.**

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2.

$$\text{Nitratos} = 2.6 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 13 obtenemos que el Sub}_4 = 92$$

#### **Fosfatos.**

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5.

$$\text{Fosfatos} = 4.3 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 14 obtenemos que el Sub}_5 = 16$$

### **Temperatura.**

Para el parámetro de Temperatura (Sub<sub>6</sub>) primero hay que calcular la diferencia entre la T°ambiente y la T°Muestra.

$$\Delta T = 5 \text{ }^{\circ}\text{C} \therefore \text{de la figura 3 – 15 obtenemos que el Sub}_6 = 74$$

### **Turbidez.**

Si la Turbidez es mayor de 100 UNT el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5.

$$\text{Turbidez} = 9.29 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 16 obtenemos que el Sub}_7 = 78$$

### **Sólidos Disueltos Totales.**

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3

$$\text{Sólidos Disueltos Totales} = 166 \text{ mg/L}$$

$$\therefore \text{de la figura 3 – 17 obtenemos que el Sub}_8 = 76$$

### **Oxígeno Disuelto.**

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua.

$$\text{Temperatura}_{\text{muestra}} = 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

*De la Tabla 3.7 obtenemos el valor del 100% de oxígeno disuelto a 28 °C.*

$$100 \% \text{ de Oxígeno disuelto}_{28 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 7.81 \text{ mg/L}$$

$$\text{Oxígeno Disuelto}_{\text{laboratorio}} = 8.5 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ de Saturación} = \frac{8.5 \text{ mg/L}}{7.81 \text{ mg/L}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ de Saturación} = 108.8 \% \approx 109 \%$$

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual a 47.

$$\% \text{ de Saturación} = 109 \% \therefore \text{de la figura 3 – 18 obtenemos el Sub}_9 = 94$$

### **Índice de Calidad del Agua.**

Para determinar el valor del "ICA" es necesario obtener los  $Sub_i$  de distintas gráficas, dicho valor se eleva por sus respectivos  $w_i$  y se multiplican los 9 resultados, obteniendo de esta manera el "ICA".

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

$$ICA_m = (3^{0.15})(80^{0.12})(17^{0.10})(92^{0.10})(16^{0.10})(74^{0.10})(78^{0.08})(76^{0.08})(94^{0.17})$$

$$ICA_{muestra\ 1\ del\ Rio\ San\ Antonio} = 36.64$$

## **Cálculos muestra de río #2.**

### **Coliformes Fecales.**

Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3.

$$\text{Coliformes totales} = 170,000.0$$

*∴ de la figura 3 – 10 obtenemos que el Sub<sub>1</sub> = 3*

### **Potencial de Hidrógeno (pH).**

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 3.

$$\text{pH} = 6.94 \text{ unidades} \therefore \text{de la figura 3 – 11 obtenemos que el Sub}_2 = 89$$

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).**

Si la DBO<sub>5</sub> es mayor de 30 mg/L el (Sub<sub>3</sub>) es igual a 2.

$$\text{DBO}_5 = 5.10 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 12 obtenemos que el Sub}_3 = 54$$

### **Nitratos.**

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2.

$$\text{Nitratos} = 2.70 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 13 obtenemos que el Sub}_4 = 92$$

### **Fosfatos.**

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5.

$$\text{Fosfatos} = 4.0 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 14 obtenemos que el Sub}_5 = 18$$

### **Temperatura.**

Para el parámetro de Temperatura (Sub<sub>6</sub>) primero hay que calcular la diferencia entre la T°ambiente y la T°Muestra.

$$\Delta T = 5 \text{ } ^\circ\text{C} \therefore \text{de la figura 3 – 15 obtenemos que el Sub}_6 = 74$$

### **Turbidez.**

Si la Turbidez es mayor de 100 UNT el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5.

$$\text{Turbidez} = 31.8 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 16 obtenemos que el Sub}_7 = 51$$

### **Sólidos Disueltos Totales.**

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3

$$\text{Sólidos Disueltos Totales} = 176 \text{ mg/L}$$

$$\therefore \text{de la figura 3 – 17 obtenemos que el Sub}_8 = 75$$

### **Oxígeno Disuelto.**

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua.

$$\text{Temperatura}_{\text{muestra}} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De la Tabla 3.7 obtenemos el valor del 100% de oxígeno disuelto a 17 °C.

$$100 \% \text{ de Oxígeno disuelto}_{28 \text{ } ^\circ\text{C}} = 7.81 \text{ mg/L}$$

$$\text{Oxígeno Disuelto}_{\text{laboratorio}} = 7.5 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ de Saturación} = \frac{7.5 \text{ mg/L}}{7.81 \text{ mg/L}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ de Saturación} = 96 \%$$

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual a 47.

$$\% \text{ de Saturación} = 96 \% \therefore \text{de la figura 3 – 18 obtenemos el Sub}_9 = 96$$



### **Índice de Calidad del Agua.**

Para determinar el valor del "ICA" es necesario obtener los  $Sub_i$  de las distintas gráficas, dicho valor se eleva por sus respectivos  $w_i$  y se multiplican los 9 resultados, obteniendo de esta manera el "ICA".

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

$$ICA_m = (3^{0.15})(89^{0.12})(54^{0.10})(92^{0.10})(18^{0.10})(74^{0.10})(51^{0.08})(75^{0.08})(96^{0.17})$$

$$ICA_{muestra\ 2\ del\ Rio\ San\ Antonio} = 40.85$$

## **Cálculo del “ICA” para las muestras tomadas en pozos aledaños al Río San Antonio.**

### **Cálculos muestra de pozo #1.**

#### **Coliformes Fecales.**

Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3.

$$\text{Coliformes totales} = 5,000.0$$

$$\therefore \text{de la figura 3 – 10 obtenemos que el Sub}_1 = 14$$

#### **Potencial de Hidrógeno (pH).**

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 3.

$$\text{pH} = 6.64 \text{ unidades} \therefore \text{de la figura 3 – 11 obtenemos que el Sub}_2 = 74$$

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).**

Si la DBO<sub>5</sub> es mayor de 30 mg/L el (Sub<sub>3</sub>) es igual a 2.

$$\text{DBO}_5 = 0.20 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 12 obtenemos que el Sub}_3 = 98$$

#### **Nitratos.**

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2.

$$\text{Nitratos} = 1.90 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 13 obtenemos que el Sub}_4 = 90$$

#### **Fosfatos.**

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5.

$$\text{Fosfatos} = 1.90 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 14 obtenemos que el Sub}_5 = 29$$

### **Temperatura.**

Para el parámetro de Temperatura (Sub<sub>6</sub>) primero hay que calcular la diferencia entre la T°ambiente y la T°Muestra y con el valor obtenido proceder.

$$\Delta T = 4 \text{ } ^\circ\text{C} \therefore \text{de la figura 3 – 15 obtenemos que el Sub}_6 = 78$$

### **Turbidez.**

Si la Turbidez es mayor de 100 UNT el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5.

$$\text{Turbidez} = 0.89 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 16 obtenemos que el Sub}_7 = 97$$

### **Sólidos Disueltos Totales.**

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3

$$\text{Sólidos Disueltos Totales} = 227 \text{ mg/L}$$

$$\therefore \text{de la figura 3 – 17 obtenemos que el Sub}_8 = 70$$

### **Oxígeno Disuelto.**

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua.

$$\text{Temperatura}_{\text{muestra}} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

*De la Tabla 3.7 obtenemos el valor del 100% de oxígeno disuelto a 28 °C.*

$$100 \% \text{ de Oxígeno disuelto}_{28 \text{ } ^\circ\text{C}} = 7.81 \text{ mg/L}$$

$$\text{Oxígeno Disuelto}_{\text{laboratorio}} = 5.80 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ de Saturación} = \frac{5.80 \text{ mg/L}}{7.81 \text{ mg/L}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ de Saturación} = 74.26 \% \approx 74 \%$$

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual a 47.

$$\% \text{ de Saturación} = 74 \% \therefore \text{de la figura 3 – 18 obtenemos el Sub}_9 = 72$$

### **Índice de Calidad del Agua.**

Para determinar el valor del "ICA" es necesario obtener los  $Sub_i$  de las distintas gráficas, dicho valor se eleva por sus respectivos  $w_i$  y se multiplican los 9 resultados, obteniendo de esta manera el "ICA".

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

$$ICA_m = (14^{0.15})(74^{0.12})(98^{0.10})(90^{0.10})(29^{0.10})(78^{0.10})(97^{0.08})(70^{0.08})(72^{0.17})$$

$$ICA_{muestra\ 1\ de\ pozo} = 56.04$$

## **Cálculos muestra de pozo #2.**

### **Coliformes Fecales.**

Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3.

$$\text{Coliformes totales} = 1,600.0$$

*∴ de la figura 3 – 10 obtenemos que el Sub<sub>1</sub> = 20*

### **Potencial de Hidrógeno (pH).**

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 3.

$$\text{pH} = 6.13 \text{ unidades} \therefore \text{de la figura 3 – 11 obtenemos que el Sub}_2 = 60$$

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).**

Si la DBO<sub>5</sub> es mayor de 30 mg/L el (Sub<sub>3</sub>) es igual a 2.

$$\text{DBO}_5 = 1.70 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 12 obtenemos que el Sub}_3 = 88$$

### **Nitratos.**

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2.

$$\text{Nitratos} = 23.0 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 13 obtenemos que el Sub}_4 = 34$$

### **Fosfatos.**

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5.

$$\text{Fosfatos} = 2.90 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 14 obtenemos que el Sub}_5 = 22$$

### **Temperatura.**

Para el parámetro de Temperatura (Sub<sub>6</sub>) primero hay que calcular la diferencia entre la T°ambiente y la T°Muestra y con el valor obtenido proceder.

$$\Delta T = 5 \text{ } ^\circ\text{C} \therefore \text{de la figura 3 – 15 obtenemos que el Sub}_6 = 74$$

### **Turbidez.**

Si la Turbidez es mayor de 100 UNT el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5.

$$\text{Turbidez} = 6.33 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 16 obtenemos que el Sub}_7 = 84$$

### **Sólidos Disueltos Totales.**

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3

$$\text{Sólidos Disueltos Totales} = 389 \text{ mg/L}$$

$$\therefore \text{de la figura 3 – 17 obtenemos que el Sub}_8 = 48$$

### **Oxígeno Disuelto.**

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua.

$$\text{Temperatura}_{\text{muestra}} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

*De la Tabla 3.7 obtenemos el valor del 100% de oxígeno disuelto a 28 °C.*

$$100 \% \text{ de Oxígeno disuelto}_{28 \text{ } ^\circ\text{C}} = 7.81 \text{ mg/L}$$

$$\text{Oxígeno Disuelto}_{\text{laboratorio}} = 5.70 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ de Saturación} = \frac{5.70 \text{ mg/L}}{7.81 \text{ mg/L}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ de Saturación} = 72.98 \% \approx 73 \%$$

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual a 47.

**% de Saturación = 73 % ∴ de la figura 3 – 18 obtenemos el  $Sub_9 = 74$**

### **Índice de Calidad del Agua.**

Para determinar el valor del “ICA” es necesario obtener los  $Sub_i$  de las distintas gráficas, dicho valor se eleva por sus respectivos  $w_i$  y se multiplican los 9 resultados, obteniendo de esta manera el “ICA”.

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

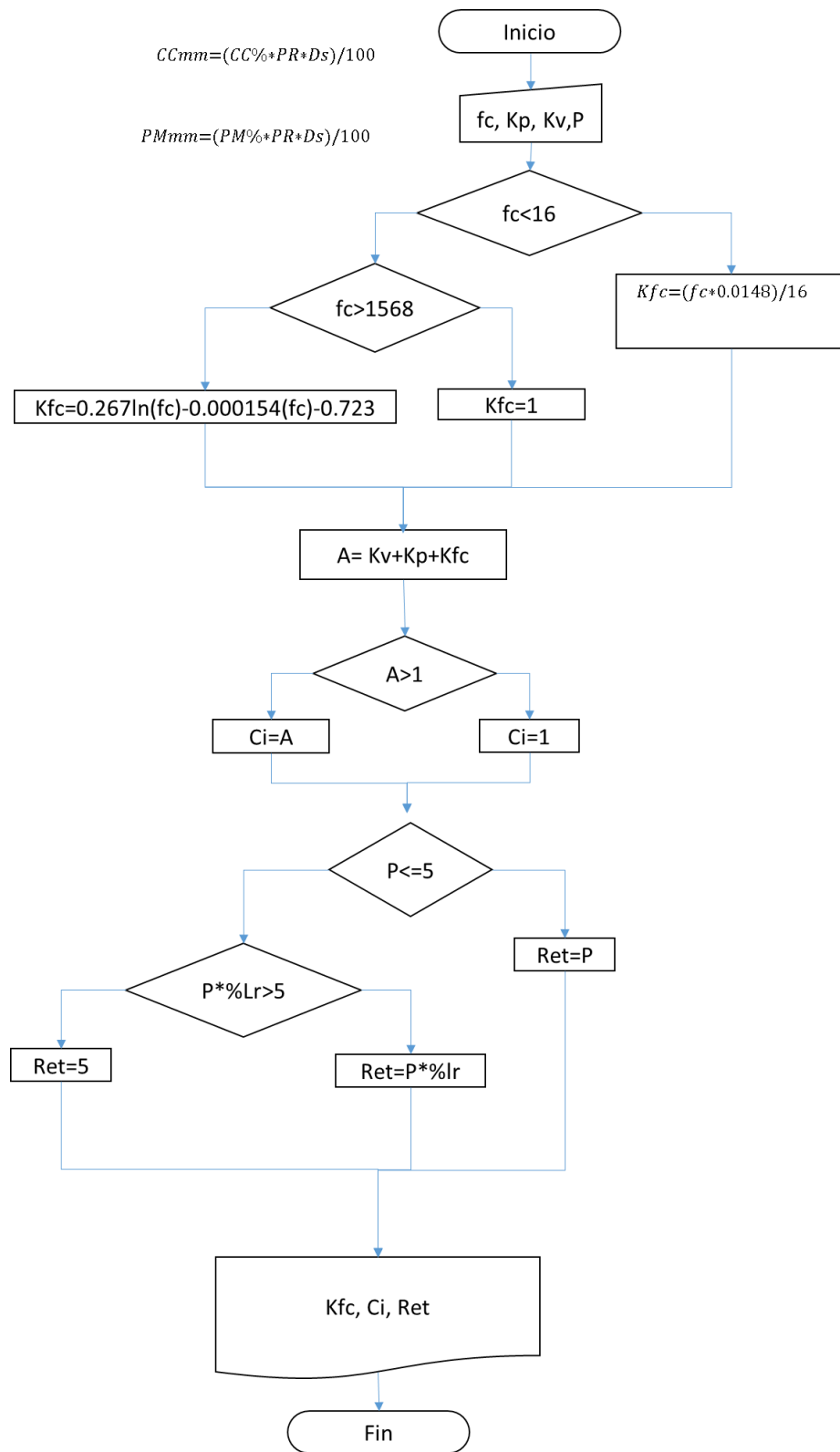
$$ICA_m = (20^{0.15})(60^{0.12})(88^{0.10})(34^{0.10})(22^{0.10})(74^{0.10})(84^{0.08})(48^{0.08})(74^{0.17})$$

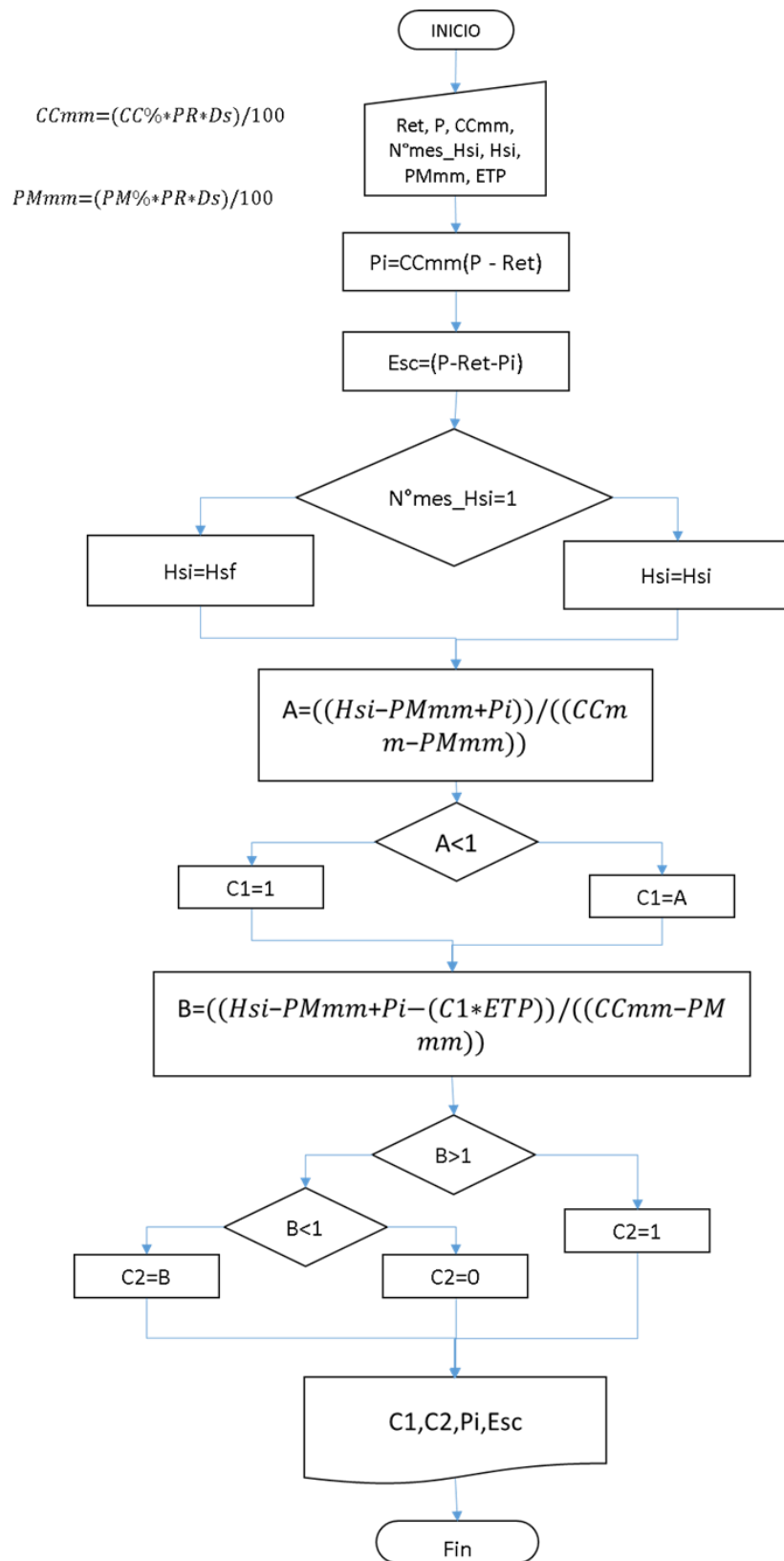
$$ICA_{muestra\ 2\ de\ pozo} = 48.25$$

## **Anexo IV - I**

Diagramas de flujo para la determinación del Balance Hídrico de suelos Método  
Gunther Schosinsky

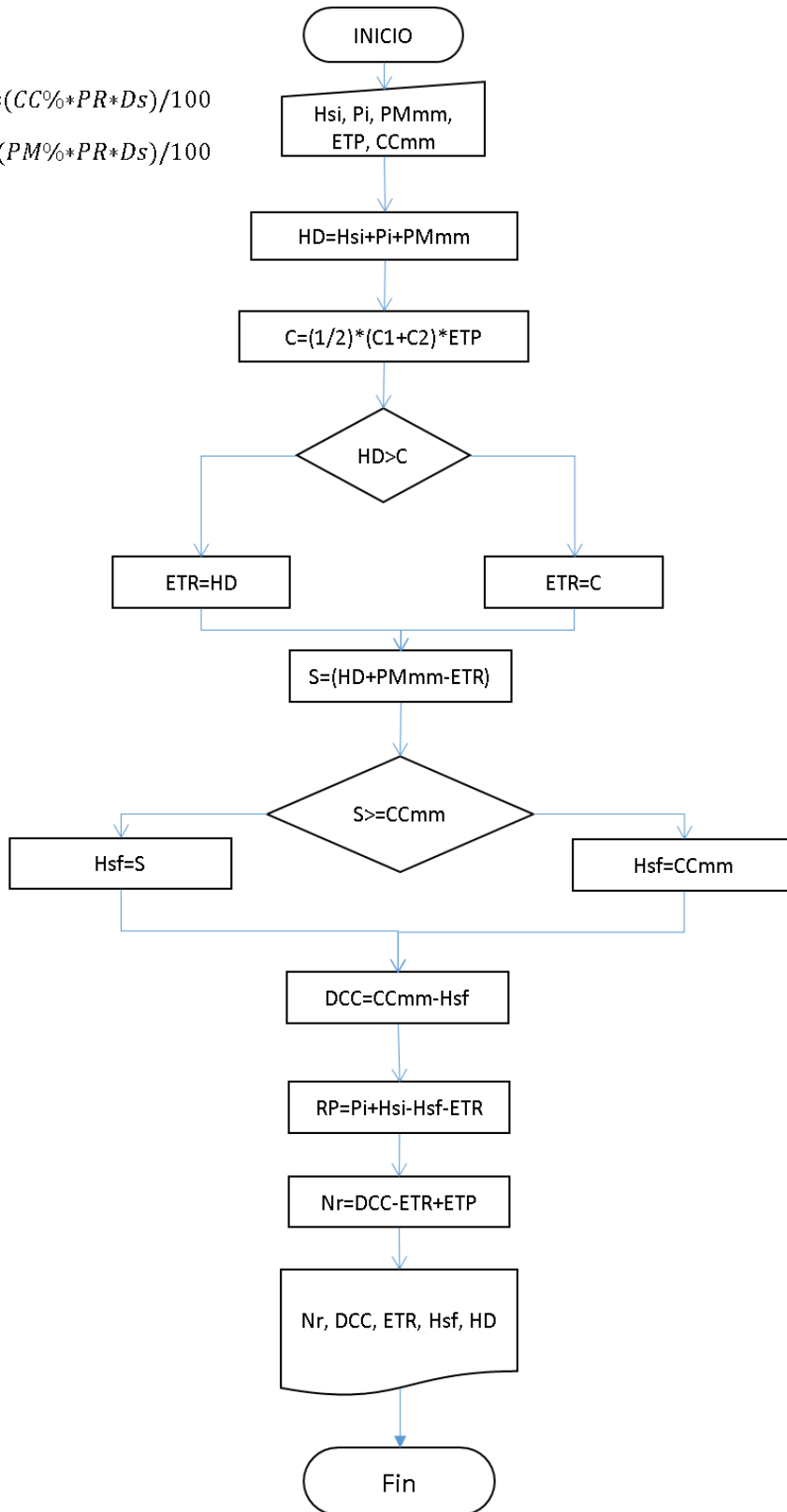






$$CCmm = (CC\% * PR * Ds) / 100$$

$$PMmm = (PM\% * PR * Ds) / 100$$



## **Anexo IV - II**

Balances Hídricos de suelos Método Gunther Schosinsky utilizando ETP  
Método Thornthwaite.

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I  
**Fecha:** 2007  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	94.51				
Kp [0.01%]	0.27				
Kv [0.01%]	0.14				
Kfc [0.01%]	0.47694		por peso		
I [0.01%]	0.88524		(%)	(mm)	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57		CC	20.17	237.50
PR (mm)	750.00		PM	10.96	129.05
HSi (mm)	183.28		(CC-PM)	9.21	108.45
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	0.00	66.90	29.80	13.70	149.80	55.00	184.40	98.60	38.45	0.00	636.65
Ret [mm]	0.00	0.00	0.00	8.03	5.00	5.00	17.98	6.60	22.13	11.83	5.00	0.00	81.56
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	52.12	21.95	7.70	116.70	42.85	143.65	76.81	29.61	0.00	491.38
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	6.76	2.85	1.00	15.13	5.55	18.62	9.96	3.84	0.00	63.70
ETP (mm)	226.31	192.08	246.82	230.95	243.94	230.37	238.98	228.05	212.79	213.14	220.67	222.48	2706.60
HSi (mm)	129.05	129.05	129.05	129.05	129.05	129.05	129.05	129.05	129.05	183.28	153.52	129.05	
C1	0.00	0.00	0.00	0.48	0.20	0.07	1.00	0.40	1.00	1.00	0.50	0.00	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.00	52.12	21.95	7.70	116.70	42.85	143.65	131.03	54.07	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	52.12	21.95	7.70	116.70	42.85	106.40	106.57	54.07	0.00	508.35
HSf (mm)	129.05	129.05	129.05	129.05	129.05	129.05	129.05	129.05	166.31	153.52	129.05	129.05	
DCC (mm)	108.45	108.45	108.45	108.45	108.45	108.45	108.45	108.45	71.19	83.99	108.45	108.45	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	334.76	300.53	355.27	287.28	330.43	331.12	230.73	293.66	177.59	190.56	275.04	330.93	3437.90

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I  
**Fecha:** 2008  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	94.51					
Kp [0.01%]	0.27					
Kv [0.01%]	0.14					
Kfc [0.01%]	0.47695				por peso	
I [0.01%]	0.88695				(%)	(mm)
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57				CC	20.17
PR (mm)	750.00				PM	10.96
HSi (mm)	183.28				(CC-PM)	9.21
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10					129.05
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12					108.45

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	17.45	4.30	62.80	79.70	93.10	366.10	234.50	294.10	375.05	0.00	0.00	1527.10
Ret [mm]	0.00	5.00	4.30	7.54	9.56	11.17	43.93	28.14	35.29	45.01	0.00	0.00	189.94
Pi (mm)	0.00	11.04	0.00	49.02	62.21	72.67	285.75	183.03	229.55	292.73	0.00	0.00	1185.99
ESC (mm)	0.00	1.41	0.00	6.25	7.93	9.26	36.42	23.33	29.26	37.31	0.00	0.00	151.17
ETP (mm)	250.99	224.94	156.78	176.29	197.61	182.91	195.53	181.98	160.24	163.73	159.84	164.22	2215.06
HSi (mm)	135.98	129.05	129.05	129.05	138.23	135.40	141.43	236.93	237.50	183.28	237.50	157.58	
C1	0.06	0.10	0.00	0.45	0.66	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.26	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	6.93	11.04	0.00	49.02	71.38	79.01	298.13	290.90	338.00	346.96	108.45	28.53	
ETR (mm)	6.93	11.04	0.00	39.84	65.04	66.63	190.26	181.98	160.24	163.73	79.92	21.60	987.20
HSf (mm)	129.05	129.05	129.05	138.23	135.40	141.43	236.93	237.50	237.50	237.50	157.58	135.98	
DCC (mm)	108.45	108.45	108.45	99.27	102.10	96.07	0.58	0.00	0.00	0.00	79.92	101.52	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	69.31	74.78	0.00	0.00	144.57
NR (mm)	352.51	322.35	265.23	235.72	234.68	212.35	5.85	0.00	0.00	0.00	159.84	244.14	2032.66

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I  
**Fecha:** 2009  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	94.51				
Kp [0.01%]	0.27				
Kv [0.01%]	0.14				
Kfc [0.01%]	0.47694		por peso		
I [0.01%]	0.88524		(%)	(mm)	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57		CC	20.17	237.50
PR (mm)	750.00		PM	10.96	129.05
HSi (mm)	183.28		(CC-PM)	9.21	108.45
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	147.90	310.00	394.05	400.10	124.02	190.30	23.45	1589.92
Ret [mm]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	17.75	37.20	47.29	48.01	14.88	22.84	5.00	193.06
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.22	241.49	306.97	311.68	96.61	148.25	16.33	1236.55
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.94	31.31	39.79	40.41	12.52	19.22	2.12	160.30
ETP (mm)	173.07	131.50	157.26	176.94	197.65	182.34	194.40	182.16	159.65	163.57	159.47	164.07	2042.08
HSi (mm)	158.40	134.98	131.39	129.70	129.17	129.06	153.11	233.63	237.50	183.28	198.11	224.10	
C1	0.27	0.05	0.02	0.01	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	1.00	1.00	0.00	0.53	0.00	
HD (mm)	29.34	5.93	2.33	0.64	0.12	115.23	265.55	411.55	420.13	150.84	217.30	111.38	
ETR (mm)	23.41	3.59	1.69	0.52	0.11	91.17	160.97	182.16	159.65	81.78	122.25	82.03	909.35
HSf (mm)	134.98	131.39	129.70	129.17	129.06	153.11	233.63	237.50	237.50	198.11	224.10	158.40	
DCC (mm)	102.52	106.11	107.81	108.33	108.44	84.39	3.87	0.00	0.00	39.39	13.40	79.10	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	120.94	152.03	0.00	0.00	0.00	272.97
NR (mm)	252.17	234.02	263.38	284.74	305.98	175.56	37.30	0.00	0.00	121.18	50.62	161.14	1886.09

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I

**Fecha:** 2010

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

94.51

Kp [0.01%]

0.27

Kv [0.01%]

0.14

Kfc [0.01%]

0.47694

I [0.01%]

0.88524

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.57

PR (mm)

750.00

HSi (mm)

183.28

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 20.17 237.50

PM 10.96 129.05

(CC-PM) 9.21 108.45

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	55.85	67.30	422.40	294.75	464.30	461.80	354.15	41.60	39.50	0.00	2201.65
Ret [mm]	0.00	0.00	6.70	8.08	50.69	35.37	55.72	55.42	42.50	5.00	5.00	0.00	264.47
Pi (mm)	0.00	0.00	43.51	52.43	329.05	229.61	361.69	359.75	275.89	32.40	30.54	0.00	1714.87
ESC (mm)	0.00	0.00	5.64	6.80	42.66	29.77	46.89	46.64	35.77	4.20	3.96	0.00	222.31
ETP (mm)	171.79	141.47	156.31	175.64	197.58	183.49	196.66	181.79	160.83	163.89	160.20	164.37	2054.02
HSi (mm)	132.33	129.73	129.29	141.27	141.35	237.50	237.50	237.50	237.50	183.28	150.22	142.57	
C1	0.03	0.01	0.40	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.48	0.12	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	3.27	0.68	43.74	64.65	341.35	338.06	470.14	468.19	384.33	86.62	51.71	13.52	
ETR (mm)	2.59	0.44	31.52	52.35	197.58	183.49	196.66	181.79	160.83	65.45	38.19	10.24	1121.15
HSf (mm)	129.73	129.29	141.27	141.35	237.50	237.50	237.50	237.50	237.50	150.22	142.57	132.33	
DCC (mm)	107.77	108.21	96.23	96.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.28	94.93	105.17	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	35.33	46.13	165.03	177.96	115.06	0.00	0.00	0.00	539.50
NR (mm)	276.97	249.24	221.01	219.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	185.71	216.94	259.30	1628.61



## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I

**Fecha:** 2011

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

94.51

Kp [0.01%]

0.27

Kv [0.01%]

0.14

Kfc [0.01%]

0.47694

I [0.01%]

0.88524

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.57

PR (mm)

750.00

HSi (mm)

183.28

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 20.17 237.50

PM 10.96 129.05

(CC-PM) 9.21 108.45

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.50	29.70	17.00	60.00	57.65	256.05	341.00	304.75	285.80	660.10	25.50	0.00	2042.05
Ret [mm]	4.50	5.00	5.00	7.20	6.92	30.73	40.92	36.57	34.30	79.21	5.00	0.00	255.34
Pi (mm)	0.00	21.87	10.62	46.74	44.91	199.47	265.64	237.40	222.64	514.22	18.15	0.00	1581.66
ESC (mm)	0.00	2.83	1.38	6.06	5.82	25.86	34.44	30.78	28.86	66.66	2.35	0.00	205.04
ETP (mm)	174.35	131.11	158.22	178.24	197.73	181.20	192.16	182.53	158.47	163.24	158.75	163.77	2039.77
HSi (mm)	140.62	131.32	138.60	134.51	138.36	133.84	223.45	237.50	237.50	183.28	237.50	176.27	
C1	0.11	0.22	0.19	0.48	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.44	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	11.57	24.13	20.17	52.20	54.21	204.26	360.04	345.85	331.09	568.45	126.60	47.22	
ETR (mm)	9.30	14.59	14.71	42.89	49.42	109.86	192.16	182.53	158.47	163.24	79.38	35.65	1052.21
HSf (mm)	131.32	138.60	134.51	138.36	133.84	223.45	237.50	237.50	237.50	237.50	176.27	140.62	
DCC (mm)	106.18	98.90	102.99	99.14	103.66	14.05	0.00	0.00	0.00	0.00	61.23	96.88	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.43	54.87	64.17	296.76	0.00	0.00	475.23
NR (mm)	271.23	215.42	246.50	234.49	251.96	85.39	0.00	0.00	0.00	0.00	140.60	225.00	1670.60

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I

**Fecha:** 2012

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	94.51		
Kp [0.01%]	0.27		
Kv [0.01%]	0.14		
Kfc [0.01%]	0.47694	por peso	
I [0.01%]	0.88524	(%)	(mm)
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57	CC	20.17 237.50
PR (mm)	750.00	PM	10.96 129.05
HSi (mm)	183.28	(CC-PM)	9.21 108.45
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.80	2.60	14.80	47.20	229.00	133.00	320.60	438.60	167.20	167.60	1.00	22.80	1552.20
Ret [mm]	5.00	2.60	5.00	5.66	27.48	15.96	38.47	52.63	20.06	20.11	1.00	5.00	198.98
Pi (mm)	2.48	0.00	8.68	36.77	178.39	103.61	249.75	341.67	130.25	130.56	0.00	15.76	1197.92
ESC (mm)	0.32	0.00	1.12	4.77	23.13	13.43	32.38	44.29	16.89	16.93	0.00	2.04	155.30
ETP (mm)	169.24	142.31	154.39	173.06	197.42	185.80	201.24	181.05	163.21	164.54	161.66	164.96	2058.89
HSi (mm)	138.14	131.60	129.93	131.81	137.04	216.72	222.74	237.50	237.50	183.28	216.21	151.25	
C1	0.11	0.02	0.09	0.36	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.35	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.00	1.00	0.70	0.19	0.00	0.00	
HD (mm)	11.57	2.54	9.55	39.52	186.38	191.28	343.44	450.12	238.70	184.79	87.16	37.95	
ETR (mm)	9.02	1.67	6.80	31.53	98.71	97.59	201.24	181.05	138.41	97.63	64.96	28.86	957.48
HSf (mm)	131.60	129.93	131.81	137.04	216.72	222.74	237.50	237.50	229.34	216.21	151.25	138.14	
DCC (mm)	105.91	107.57	105.70	100.46	20.78	14.76	0.00	0.00	8.16	21.29	86.25	99.36	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.75	160.62	0.00	0.00	0.00	0.00	194.37
NR (mm)	266.13	248.22	253.29	241.98	119.49	102.97	0.00	0.00	32.96	88.20	182.95	235.46	1771.65

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I

**Fecha:** 2013

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

94.51

Kp [0.01%]

0.27

Kv [0.01%]

0.14

Kfc [0.01%]

0.47694

I [0.01%]

0.88524

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.57

PR (mm)

750.00

HSi (mm)

183.28

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 20.17 237.50

PM 10.96 129.05

(CC-PM) 9.21 108.45

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.60	3.80	0.00	55.60	82.20	197.40	191.60	231.20	167.20	167.60	1.00	22.80	1122.00
Ret [mm]	1.60	3.80	0.00	6.67	9.86	23.69	22.99	27.74	20.06	20.11	1.00	5.00	142.54
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	43.31	64.03	153.78	149.26	180.11	130.25	130.56	0.00	15.76	867.06
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	5.62	8.30	19.94	19.35	23.35	16.89	16.93	0.00	2.04	112.40
ETP (mm)	179.49	138.99	162.08	183.46	198.02	176.69	183.37	184.00	153.85	161.95	155.88	162.59	2040.38
HSi (mm)	139.11	130.79	129.68	129.21	135.76	135.21	200.64	226.53	235.25	183.28	215.81	153.46	
C1	0.09	0.02	0.01	0.40	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.37	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.86	0.76	0.21	0.00	0.00	
HD (mm)	10.06	1.73	0.62	43.47	70.74	159.93	220.85	277.59	236.44	184.79	86.76	40.16	
ETR (mm)	8.32	1.11	0.47	36.77	64.58	88.34	123.37	171.39	135.51	98.03	62.36	30.11	820.35
HSf (mm)	130.79	129.68	129.21	135.76	135.21	200.64	226.53	235.25	229.99	215.81	153.46	139.11	
DCC (mm)	106.71	107.82	108.29	101.75	102.29	36.86	10.97	2.25	7.51	21.69	84.04	98.39	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	277.89	245.71	269.90	248.44	235.73	125.20	70.97	14.86	25.85	85.61	177.57	230.87	2008.61

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2007

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933			por peso	
I [0.01%]	0.95933			(%)	(mm)
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58			CC	17.04
PR (mm)	1200.00			PM	6.78
HSi (mm)	225.81			(CC-PM)	10.26
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				323.08
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				128.55
					194.53

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	0.00	86.50	127.00	122.00	586.80	326.80	351.40	244.80	23.80	0.00	1869.10
Ret [mm]	0.00	0.00	0.00	15.57	22.86	21.96	105.62	58.82	63.25	44.06	5.00	0.00	337.15
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	68.05	99.90	95.97	461.61	257.08	276.43	192.57	18.04	0.00	1469.64
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	2.88	4.24	4.07	19.57	10.90	11.72	8.16	0.76	0.00	62.30
ETP (mm)	172.75	131.59	157.02	176.61	197.63	182.62	194.96	182.07	159.94	163.65	159.66	164.14	2042.66
HSi (mm)	174.27	151.70	141.33	135.18	166.20	196.23	210.68	323.08	323.08	225.81	283.48	217.81	
C1	0.24	0.12	0.07	0.38	0.71	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.46	
C2	0.03	0.04	0.01	0.04	0.00	0.05	1.00	1.00	1.00	0.65	0.16	0.07	
HD (mm)	45.72	23.15	12.79	74.68	137.56	163.65	543.74	451.61	470.96	289.84	172.97	89.26	
ETR (mm)	22.57	10.36	6.15	37.02	69.88	81.52	194.96	182.07	159.94	134.90	83.71	43.54	1026.64
HSf (mm)	151.70	141.33	135.18	166.20	196.23	210.68	323.08	323.08	283.48	217.81	174.27		
DCC (mm)	171.38	181.74	187.90	156.88	126.85	112.40	0.00	0.00	0.00	39.59	105.26	148.81	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	154.25	75.01	116.49	0.00	0.00	0.00	345.74
NR (mm)	321.56	302.98	338.77	296.47	254.60	213.50	0.00	0.00	0.00	68.34	181.22	269.41	2246.84

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2008  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933			por peso	
I [0.01%]	0.95933			(%)	(mm)
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58			CC	17.04
PR (mm)	1200.00			PM	6.78
HSi (mm)	225.81			(CC-PM)	10.26
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				323.08
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				128.55
					194.53

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	29.00	0.00	68.00	121.20	478.21	417.40	244.00	299.80	491.60	0.00	0.00	2149.21
Ret [mm]	0.00	5.22	0.00	12.24	21.82	86.08	75.13	43.92	53.96	88.49	0.00	0.00	386.86
Pi (mm)	0.00	22.81	0.00	53.49	95.34	376.18	328.35	191.94	235.84	386.72	0.00	0.00	1690.68
ESC (mm)	0.00	0.97	0.00	2.27	4.04	15.95	13.92	8.14	10.00	16.39	0.00	0.00	71.67
ETP (mm)	172.43	141.27	156.78	176.29	197.61	182.91	195.53	181.98	160.24	163.73	159.84	164.22	2052.82
HSi (mm)	179.95	154.58	154.80	142.17	162.40	192.12	323.08	323.08	323.08	225.81	323.08	228.91	
C1	0.26	0.25	0.13	0.35	0.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.52	
C2	0.03	0.07	0.03	0.03	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.18	0.08	
HD (mm)	51.40	48.84	26.25	67.11	129.19	439.76	522.88	386.47	430.37	483.98	194.53	100.36	
ETR (mm)	25.37	22.59	12.63	33.26	65.62	182.91	195.53	181.98	160.24	163.73	94.17	48.96	1186.99
HSf (mm)	154.58	154.80	142.17	162.40	192.12	323.08	323.08	323.08	323.08	323.08	228.91	179.95	
DCC (mm)	168.50	168.28	180.91	160.68	130.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	94.17	143.13	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.32	132.82	9.97	75.60	125.72	0.00	0.00	406.43
NR (mm)	315.56	286.95	325.06	303.71	262.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	159.84	258.39	1912.46

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2009

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933		por peso		
I [0.01%]	0.95933		(%)	(mm)	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58		CC	17.04	323.08
PR (mm)	1200.00		PM	6.78	128.55
HSi (mm)	225.81		(CC-PM)	10.26	194.53
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	149.60	344.20	429.60	462.60	141.40	298.00	30.20	1855.80
Ret [mm]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	26.93	61.96	77.33	83.27	25.45	53.64	5.44	334.21
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.68	270.77	337.95	363.90	111.23	234.42	23.76	1459.71
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.99	11.48	14.33	15.43	4.72	9.94	1.01	61.88
ETP (mm)	173.07	131.50	157.26	176.94	197.65	182.34	194.40	182.16	159.65	163.57	159.47	164.07	2042.08
HSi (mm)	237.92	183.90	159.13	144.40	136.54	132.48	189.59	294.50	323.08	225.81	236.37	316.14	
C1	0.56	0.28	0.16	0.08	0.04	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.06	0.09	0.03	0.01	0.00	0.04	0.71	1.00	1.00	0.23	0.94	0.24	
HD (mm)	109.38	55.35	30.58	15.85	7.99	121.61	331.81	503.90	558.43	208.50	342.25	211.35	
ETR (mm)	54.02	24.77	14.73	7.86	4.06	60.57	165.86	182.16	159.65	100.67	154.66	101.97	1030.98
HSf (mm)	183.90	159.13	144.40	136.54	132.48	189.59	294.50	323.08	323.08	236.37	316.14	237.92	
DCC (mm)	139.18	163.95	178.68	186.54	190.60	133.48	28.58	0.00	0.00	86.71	6.94	85.15	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	127.21	204.26	0.00	0.00	0.00	331.46
NR (mm)	258.22	270.67	321.21	355.62	384.19	255.25	57.12	0.00	0.00	149.60	11.76	147.25	2210.89

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2010

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso			
I [0.01%]	0.95933	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	(mm)			
PR (mm)	1200.00	CC	17.04	323.08	
HSi (mm)	225.81	PM	6.78	128.55	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	10.26	194.53	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	78.20	71.00	533.20	297.60	454.80	324.00	355.80	48.40	27.70	0.00	2190.70
Ret [mm]	0.00	0.00	14.08	12.78	95.98	53.57	81.86	58.32	64.04	8.71	5.00	0.00	394.34
Pi (mm)	0.00	0.00	61.52	55.85	419.44	234.11	357.77	254.87	279.89	38.07	21.78	0.00	1723.30
ESC (mm)	0.00	0.00	2.61	2.37	17.78	9.92	15.17	10.81	11.87	1.61	0.92	0.00	73.06
ETP (mm)	171.79	141.47	156.31	175.64	197.58	183.49	196.66	181.79	160.83	163.89	160.20	164.37	2054.02
HSi (mm)	152.60	140.74	135.10	163.90	174.58	323.08	323.08	323.08	323.08	225.81	197.90	175.53	
C1	0.12	0.06	0.35	0.47	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.47	0.24	
C2	0.01	0.02	0.07	0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.11	0.08	0.04	
HD (mm)	24.06	12.19	68.07	91.20	465.47	428.64	552.30	449.40	474.42	135.34	91.12	46.98	
ETR (mm)	11.86	5.64	32.72	45.17	197.58	183.49	196.66	181.79	160.83	65.99	44.14	22.93	1148.80
HSf (mm)	140.74	135.10	163.90	174.58	323.08	323.08	323.08	323.08	323.08	197.90	175.53	152.60	
DCC (mm)	182.34	187.98	159.18	148.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	125.18	147.55	170.47	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	73.37	50.62	161.11	73.08	119.06	0.00	0.00	0.00	477.24
NR (mm)	342.27	323.81	282.77	278.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	223.08	263.61	311.91	2026.42

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2011

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso			
I [0.01%]	0.95933	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	(mm)			
PR (mm)	1200.00	CC	17.04	323.08	
HSi (mm)	225.81	PM	6.78	128.55	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	10.26	194.53	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	14.20	8.50	72.70	79.00	218.40	334.60	302.00	318.80	560.40	36.40	0.00	1953.00
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	13.09	14.22	39.31	60.23	54.36	57.38	100.87	6.55	0.00	361.01
Pi (mm)	2.88	8.83	3.36	57.19	62.15	171.80	263.21	237.57	250.78	440.84	28.63	0.00	1527.24
ESC (mm)	0.12	0.37	0.14	2.42	2.63	7.28	11.16	10.07	10.63	18.69	1.21	0.00	64.75
ETP (mm)	174.35	131.11	158.22	178.24	197.73	181.20	192.16	182.53	158.47	163.24	158.75	163.77	2039.77
HSi (mm)	188.77	160.44	151.07	141.94	164.09	176.59	239.79	316.89	323.08	225.81	323.08	246.05	
C1	0.32	0.21	0.13	0.36	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	
C2	0.03	0.07	0.02	0.03	0.00	0.20	0.94	1.00	1.00	1.00	0.33	0.10	
HD (mm)	63.10	40.72	25.88	70.58	97.68	219.84	374.46	425.91	445.31	538.10	223.16	117.51	
ETR (mm)	31.21	18.19	12.49	35.04	49.64	108.60	186.12	182.53	158.47	163.24	105.66	57.28	1108.48
HSf (mm)	160.44	151.07	141.94	164.09	176.59	239.79	316.89	323.08	323.08	323.08	246.05	188.77	
DCC (mm)	162.64	172.01	181.14	158.99	146.49	83.28	6.19	0.00	0.00	0.00	77.02	134.31	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.85	92.31	180.33	0.00	0.00	321.49
NR (mm)	305.78	284.92	326.88	302.19	294.57	155.88	12.23	0.00	0.00	0.00	130.12	240.80	2053.36



## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2012  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso			
I [0.01%]	0.95933	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	(mm)			
PR (mm)	1200.00	CC	17.04	323.08	
HSi (mm)	225.81	PM	6.78	128.55	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	10.26	194.53	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.40	3.80	7.20	107.40	234.80	228.20	411.40	312.40	265.80	213.10	7.20	5.00	1796.70
Ret [mm]	0.40	3.80	5.00	19.33	42.26	41.08	74.05	56.23	47.84	38.36	5.00	5.00	338.36
Pi (mm)	0.00	0.00	2.11	84.49	184.71	179.51	323.63	245.75	209.09	167.64	2.11	0.00	1399.03
ESC (mm)	0.00	0.00	0.09	3.58	7.83	7.61	13.72	10.42	8.86	7.11	0.09	0.00	59.31
ETP (mm)	169.24	142.31	154.39	173.06	197.42	185.80	201.24	181.05	163.21	164.54	161.66	164.96	2058.89
HSi (mm)	165.98	147.58	138.75	134.97	174.56	243.66	278.30	323.08	323.08	225.81	268.73	201.73	
C1	0.19	0.10	0.06	0.47	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.73	0.38	
C2	0.03	0.03	0.01	0.05	0.17	0.56	1.00	1.00	1.00	0.52	0.12	0.06	
HD (mm)	37.43	19.03	12.31	90.90	230.71	294.62	473.38	440.28	403.62	264.90	142.30	73.18	
ETR (mm)	18.40	8.83	5.89	44.90	115.60	144.87	201.24	181.05	163.21	124.71	69.12	35.74	1113.58
HSf (mm)	147.58	138.75	134.97	174.56	243.66	278.30	323.08	323.08	268.73	201.73	165.98		
DCC (mm)	175.50	184.33	188.11	148.52	79.42	44.78	0.00	0.00	0.00	54.34	121.35	157.09	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.61	64.70	45.88	0.00	0.00	0.00	188.19
NR (mm)	326.34	317.81	336.61	276.68	161.24	85.71	0.00	0.00	0.00	94.17	213.90	286.31	2098.76

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2013

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de Iluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso			
I [0.01%]	0.95933	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	(mm)			
PR (mm)	1200.00	CC	17.04	323.08	
HSi (mm)	225.81	PM	6.78	128.55	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	10.26	194.53	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	9.40	4.40	0.60	73.80	190.60	310.80	359.60	355.00	265.80	213.10	7.20	5.00	1795.30
Ret [mm]	5.00	4.40	0.60	13.28	34.31	55.94	64.73	63.90	47.84	38.36	5.00	5.00	338.37
Pi (mm)	4.22	0.00	0.00	58.05	149.94	244.49	282.88	279.26	209.09	167.64	2.11	0.00	1397.68
ESC (mm)	0.18	0.00	0.00	2.46	6.36	10.36	11.99	11.84	8.86	7.11	0.09	0.00	59.25
ETP (mm)	179.49	138.99	162.08	183.46	198.02	176.69	183.37	184.00	153.85	161.95	155.88	162.59	2040.38
HSi (mm)	166.76	149.89	140.09	134.48	160.65	217.93	302.69	323.08	323.08	225.81	269.62	202.96	
C1	0.22	0.11	0.06	0.33	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	0.38	
C2	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.81	1.00	1.00	1.00	0.53	0.15	0.06	
HD (mm)	42.43	21.34	11.54	63.99	182.03	333.87	457.02	473.79	403.62	264.90	143.18	74.42	
ETR (mm)	21.09	9.80	5.61	31.89	92.65	159.73	183.37	184.00	153.85	123.83	68.77	36.20	1070.79
HSf (mm)	149.89	140.09	134.48	160.65	217.93	302.69	323.08	323.08	323.08	269.62	202.96	166.76	
DCC (mm)	173.19	182.99	188.60	162.43	105.15	20.38	0.00	0.00	0.00	53.46	120.11	156.32	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.12	95.26	55.25	0.00	0.00	0.00	229.63
NR (mm)	331.59	312.18	345.06	314.00	210.52	37.34	0.00	0.00	0.00	91.58	207.23	282.70	2132.22

### **Anexo IV-III**

Balances Hídricos de suelos Método Gunther Schosinsky utilizando ETP  
Método Hargreaves

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I  
**Fecha:** 2007  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	94.51		
Kp [0.01%]	0.27		
Kv [0.01%]	0.14		
Kfc [0.01%]	0.47695	por peso	
I [0.01%]	0.88695	(%)	(mm)
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57	CC	20.17 237.50
PR (mm)	750.00	PM	10.96 129.05
HSi (mm)	183.28	(CC-PM)	9.21 108.45
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	0.00	66.90	29.80	13.70	149.80	55.00	184.40	98.60	38.45	0.00	636.65
Ret [mm]	0.00	0.00	0.00	8.03	5.00	5.00	17.98	6.60	22.13	11.83	5.00	0.00	81.56
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	52.22	22.00	7.72	116.92	42.93	143.93	76.96	29.67	0.00	492.33
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	6.66	2.80	0.98	14.90	5.47	18.34	9.81	3.78	0.00	62.75
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	146.55	135.82	131.61	129.64	141.69	138.46	135.04	175.97	157.59	183.28	193.74	169.90	
C1	0.16	0.06	0.02	0.49	0.32	0.16	1.00	0.83	1.00	1.00	0.87	0.38	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	17.49	6.77	2.55	52.80	34.63	17.12	122.91	89.84	172.46	131.18	94.35	40.85	
ETR (mm)	10.73	4.21	1.97	40.17	25.23	11.13	76.00	61.30	90.35	66.50	53.51	23.35	464.44
HSf (mm)	135.82	131.61	129.64	141.69	138.46	135.04	175.97	157.59	211.17	193.74	169.90	146.55	
DCC (mm)	101.68	105.89	107.86	95.81	99.04	102.46	61.54	79.91	26.33	43.77	67.60	90.95	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	223.95	236.68	272.89	220.64	231.82	232.33	137.54	166.61	64.98	110.27	137.10	191.60	2226.41

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I  
**Fecha:** 2008  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	94.51				
Kp [0.01%]	0.27				
Kv [0.01%]	0.14				
Kfc [0.01%]	0.47695		por peso		
I [0.01%]	0.88695		(%)	(mm)	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57		CC	20.17	237.50
PR (mm)	750.00		PM	10.96	129.05
HSi (mm)	183.28		(CC-PM)	9.21	108.45
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	17.45	4.30	62.80	79.70	93.10	366.10	234.50	294.10	375.05	0.00	0.00	1527.10
Ret [mm]	0.00	5.00	4.30	7.54	9.56	11.17	43.93	28.14	35.29	45.01	0.00	0.00	189.94
Pi (mm)	0.00	11.04	0.00	49.02	62.21	72.67	285.75	183.03	229.55	292.73	0.00	0.00	1185.99
ESC (mm)	0.00	1.41	0.00	6.25	7.93	9.26	36.42	23.33	29.26	37.31	0.00	0.00	151.17
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	149.16	136.83	136.16	130.69	141.17	149.24	161.54	237.50	237.50	183.28	237.50	176.00	
C1	0.19	0.17	0.07	0.47	0.69	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.43	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	20.11	18.82	7.11	50.65	74.33	92.85	318.24	291.48	338.00	346.96	108.45	46.95	
ETR (mm)	12.33	11.71	5.47	38.53	54.14	60.36	152.00	148.00	129.00	133.00	61.50	26.84	832.89
HSf (mm)	136.83	136.16	130.69	141.17	149.24	161.54	237.50	237.50	237.50	237.50	176.00	149.16	
DCC (mm)	100.67	101.34	106.81	96.33	88.27	75.96	0.00	0.00	0.00	0.00	61.50	88.34	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.79	35.03	100.55	105.51	0.00	0.00	298.88
NR (mm)	221.34	224.63	268.34	222.80	192.12	156.60	0.00	0.00	0.00	0.00	123.00	185.50	1594.33

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I  
**Fecha:** 2009  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	94.51				
Kp [0.01%]	0.27				
Kv [0.01%]	0.14				
Kfc [0.01%]	0.47695	por peso			
I [0.01%]	0.88695	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57	(mm)			
PR (mm)	750.00	CC	20.17	237.50	
HSi (mm)	183.28	PM	10.96	129.05	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	9.21	108.45	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	147.90	310.00	394.05	400.10	124.02	190.30	23.45	1589.92
Ret [mm]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	17.75	37.20	47.29	48.01	14.88	22.84	5.00	193.06
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.44	241.96	307.56	312.28	96.80	148.53	16.36	1238.94
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.71	30.84	39.20	39.80	12.34	18.93	2.09	157.91
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	187.78	151.77	137.63	131.03	129.53	129.18	174.12	237.50	237.50	183.28	202.53	233.41	
C1	0.54	0.21	0.08	0.02	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.17	0.91	0.00	
HD (mm)	58.72	22.71	8.58	1.97	0.47	115.57	287.03	416.01	420.73	151.02	222.00	120.72	
ETR (mm)	36.01	14.14	6.60	1.50	0.34	70.50	152.00	148.00	129.00	77.55	117.64	62.00	815.29
HSf (mm)	151.77	137.63	131.03	129.53	129.18	174.12	237.50	237.50	237.50	202.53	233.41	187.78	
DCC (mm)	85.73	99.87	106.47	107.98	108.32	63.38	0.00	0.00	0.00	34.98	4.09	49.72	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.58	159.56	183.28	0.00	0.00	0.00	369.43
NR (mm)	182.72	220.73	266.87	271.47	265.98	133.88	0.00	0.00	0.00	90.42	9.44	111.72	1553.25

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I  
**Fecha:** 2010

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	94.51				
Kp [0.01%]	0.27				
Kv [0.01%]	0.14				
Kfc [0.01%]	0.47695		por peso		
I [0.01%]	0.88695		(%)	(mm)	
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57		CC	20.17	237.50
PR (mm)	750.00		PM	10.96	129.05
HSi (mm)	183.28		(CC-PM)	9.21	108.45
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	55.85	67.30	422.40	294.75	464.30	461.80	354.15	41.60	39.50	0.00	2201.65
Ret [mm]	0.00	0.00	6.70	8.08	50.69	35.37	55.72	55.42	42.50	5.00	5.00	0.00	264.47
Pi (mm)	0.00	0.00	43.59	52.53	329.69	230.06	362.39	360.44	276.42	32.46	30.60	0.00	1718.19
ESC (mm)	0.00	0.00	5.56	6.70	42.02	29.32	46.19	45.94	35.23	4.14	3.90	0.00	219.00
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	140.94	133.65	130.79	139.48	144.12	237.50	237.50	237.50	237.50	183.28	162.58	156.82	
C1	0.11	0.04	0.42	0.58	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.59	0.26	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	11.89	4.60	45.33	62.96	344.75	338.50	470.84	468.89	384.87	86.69	64.13	27.76	
ETR (mm)	7.29	2.86	34.90	47.89	158.00	141.00	152.00	148.00	129.00	53.16	36.37	15.87	926.34
HSf (mm)	133.65	130.79	139.48	144.12	237.50	237.50	237.50	237.50	237.50	162.58	156.82	140.94	
DCC (mm)	103.85	106.71	98.02	93.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	74.92	80.69	96.56	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	78.31	89.06	210.39	212.44	147.42	0.00	0.00	0.00	737.62
NR (mm)	229.56	238.85	230.12	210.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	154.76	167.32	204.69	1435.78

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I

**Fecha:** 2011

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente ( ver léame)

Kv: Factor por vegetación ( ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

94.51

Kp [0.01%]

0.27

Kv [0.01%]

0.14

Kfc [0.01%]

0.47695

I [0.01%]

0.88695

DS (g/cm<sup>3</sup>):

1.57

PR (mm)

750.00

HSi (mm)

183.28

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 20.17 237.50

PM 10.96 129.05

(CC-PM) 9.21 108.45

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.50	29.70	17.00	60.00	57.65	256.05	341.00	304.75	285.80	660.10	25.50	0.00	2042.05
Ret [mm]	4.50	5.00	5.00	7.20	6.92	30.73	40.92	36.57	34.30	79.21	5.00	0.00	255.34
Pi (mm)	0.00	21.91	10.64	46.83	45.00	199.85	266.16	237.86	223.07	515.22	18.18	0.00	1584.72
ESC (mm)	0.00	2.79	1.36	5.97	5.74	25.47	33.92	30.32	28.43	65.67	2.32	0.00	201.99
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	156.07	139.50	141.27	134.31	141.52	144.66	225.61	237.50	237.50	183.28	237.50	192.13	
C1	0.25	0.30	0.21	0.48	0.53	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	0.03	0.00	
HD (mm)	27.01	32.36	22.86	52.09	57.46	215.45	362.71	346.31	331.52	569.44	126.63	63.07	
ETR (mm)	16.56	20.14	17.60	39.63	41.86	118.90	152.00	148.00	129.00	133.00	63.56	36.06	916.31
HSf (mm)	139.50	141.27	134.31	141.52	144.66	225.61	237.50	237.50	237.50	237.50	192.13	156.07	
DCC (mm)	98.00	96.23	103.19	95.98	92.85	11.90	0.00	0.00	0.00	0.00	45.38	81.43	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	102.26	89.86	94.07	327.99	0.00	0.00	614.19
NR (mm)	214.43	211.09	252.59	221.36	208.99	33.99	0.00	0.00	0.00	0.00	104.82	169.38	1416.65



## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I  
**Fecha:** 2012  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	94.51				
Kp [0.01%]	0.27				
Kv [0.01%]	0.14				
Kfc [0.01%]	0.47695	por peso			
I [0.01%]	0.88695	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57	(mm)			
PR (mm)	750.00	CC	20.17	237.50	
HSi (mm)	183.28	PM	10.96	129.05	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	9.21	108.45	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.80	2.60	14.80	47.20	229.00	133.00	320.60	438.60	167.20	167.60	1.00	22.80	1552.20
Ret [mm]	5.00	2.60	5.00	5.66	27.48	15.96	38.47	52.63	20.06	20.11	1.00	5.00	198.98
Pi (mm)	2.48	0.00	8.69	36.84	178.74	103.81	250.23	342.33	130.50	130.81	0.00	15.79	1200.23
ESC (mm)	0.32	0.00	1.11	4.70	22.78	13.23	31.89	43.63	16.63	16.67	0.00	2.01	152.98
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	151.88	138.84	132.75	131.90	138.55	216.26	217.06	237.50	237.50	183.28	215.68	166.56	
C1	0.23	0.09	0.11	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.49	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.46	1.00	1.00	1.00	0.48	0.00	0.00	
HD (mm)	25.31	9.79	12.39	39.69	188.23	191.02	338.24	450.78	238.95	185.04	86.63	53.29	
ETR (mm)	15.52	6.09	9.54	30.19	101.02	103.02	152.00	148.00	129.00	98.41	49.13	30.47	872.39
HSf (mm)	138.84	132.75	131.90	138.55	216.26	217.06	237.50	237.50	237.50	215.68	166.56	151.88	
DCC (mm)	98.66	104.75	105.60	98.95	21.24	20.45	0.00	0.00	0.00	21.82	70.95	85.62	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.79	194.33	1.50	0.00	0.00	0.00	273.62
NR (mm)	216.14	233.66	263.06	233.76	78.21	58.43	0.00	0.00	0.00	56.41	144.82	179.16	1463.65

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** I  
**Fecha:** 2013  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	94.51				
Kp [0.01%]	0.27				
Kv [0.01%]	0.14				
Kfc [0.01%]	0.47695	por peso			
I [0.01%]	0.88695	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.57	(mm)			
PR (mm)	750.00	CC	20.17	237.50	
HSi (mm)	183.28	PM	10.96	129.05	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	9.21	108.45	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.60	3.80	0.00	55.60	82.20	197.40	191.60	231.20	167.20	167.60	1.00	22.80	1122.00
Ret [mm]	1.60	3.80	0.00	6.67	9.86	23.69	22.99	27.74	20.06	20.11	1.00	5.00	142.54
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	43.40	64.16	154.07	149.55	180.46	130.50	130.81	0.00	15.79	868.74
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	5.53	8.18	19.64	19.06	23.00	16.63	16.67	0.00	2.01	110.73
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	151.88	137.88	132.39	129.82	139.62	149.34	211.23	228.91	237.50	183.28	215.68	166.56	
C1	0.21	0.08	0.03	0.41	0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.49	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.74	1.00	1.00	0.48	0.00	0.00	
HD (mm)	22.82	8.83	3.33	44.16	74.73	174.36	231.72	280.31	238.95	185.04	86.63	53.29	
ETR (mm)	14.00	5.49	2.57	33.60	54.43	92.19	131.87	148.00	129.00	98.41	49.13	30.47	789.15
HSf (mm)	137.88	132.39	129.82	139.62	149.34	211.23	228.91	237.50	237.50	215.68	166.56	151.88	
DCC (mm)	99.62	105.11	107.68	97.88	88.16	26.27	8.59	0.00	0.00	21.82	70.95	85.62	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.86	1.50	0.00	0.00	0.00	25.36
NR (mm)	218.62	234.62	272.11	229.28	191.72	75.08	28.73	0.00	0.00	56.41	144.82	179.16	1630.56

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2007  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso			
I [0.01%]	0.95933	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	(mm)			
PR (mm)	1200.00	CC	17.04	323.08	
HSi (mm)	225.81	PM	6.78	128.55	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	10.26	194.53	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	0.00	86.50	127.00	122.00	586.80	326.80	351.40	244.80	23.80	0.00	1869.10
Ret [mm]	0.00	0.00	0.00	15.57	22.86	21.96	105.62	58.82	63.25	44.06	5.00	0.00	337.15
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	68.05	99.90	95.97	461.61	257.08	276.43	192.57	18.04	0.00	1469.64
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	2.88	4.24	4.07	19.57	10.90	11.72	8.16	0.76	0.00	62.30
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	188.84	161.71	146.68	137.80	168.09	200.73	218.99	323.08	323.08	225.81	298.27	235.12	
C1	0.31	0.17	0.09	0.40	0.72	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.55	
C2	0.10	0.05	0.01	0.06	0.13	0.24	1.00	1.00	1.00	0.81	0.35	0.20	
HD (mm)	60.29	33.16	18.13	77.29	139.44	168.15	552.05	451.61	470.96	289.84	187.76	106.57	
ETR (mm)	27.13	15.03	8.89	37.76	67.26	77.71	152.00	148.00	129.00	120.11	81.19	46.28	910.35
HSf (mm)	161.71	146.68	137.80	168.09	200.73	218.99	323.08	323.08	323.08	298.27	235.12	188.84	
DCC (mm)	161.37	176.40	185.28	154.99	122.35	104.09	0.00	0.00	0.00	24.81	87.96	134.24	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	205.52	109.08	147.43	0.00	0.00	0.00	462.03
NR (mm)	267.24	296.37	343.40	282.24	213.09	167.38	0.00	0.00	0.00	37.69	129.77	211.96	1949.13

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2008  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12		
Kp [0.01%]	0.06		
Kv [0.01%]	0.15		
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso	
I [0.01%]	0.95933	(%)	(mm)
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	CC	17.04 323.08
PR (mm)	1200.00	PM	6.78 128.55
HSi (mm)	225.81	(CC-PM)	10.26 194.53
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	29.00	0.00	68.00	121.20	478.21	417.40	244.00	299.80	491.60	0.00	0.00	2149.21
Ret [mm]	0.00	5.22	0.00	12.24	21.82	86.08	75.13	43.92	53.96	88.49	0.00	0.00	386.86
Pi (mm)	0.00	22.81	0.00	53.49	95.34	376.18	328.35	191.94	235.84	386.72	0.00	0.00	1690.68
ESC (mm)	0.00	0.97	0.00	2.27	4.04	15.95	13.92	8.14	10.00	16.39	0.00	0.00	71.67
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	191.01	162.91	159.81	144.49	164.07	196.29	323.08	323.08	323.08	225.81	323.08	238.96	
C1	0.32	0.29	0.16	0.36	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.57	
C2	0.10	0.09	0.02	0.05	0.13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.37	0.21	
HD (mm)	62.47	57.17	31.26	69.44	130.86	443.92	522.88	386.47	430.37	483.98	194.53	110.42	
ETR (mm)	28.11	25.91	15.32	33.92	63.12	141.00	152.00	148.00	129.00	133.00	84.11	47.95	1001.44
HSf (mm)	162.91	159.81	144.49	164.07	196.29	323.08	323.08	323.08	323.08	323.08	238.96	191.01	
DCC (mm)	160.17	163.27	178.59	159.01	126.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.11	132.06	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	108.39	176.35	43.94	106.84	156.45	0.00	0.00	591.97
NR (mm)	265.06	272.36	330.27	290.09	221.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	123.00	208.11	1710.57

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2009  
**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12		
Kp [0.01%]	0.06		
Kv [0.01%]	0.15		
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso	
I [0.01%]	0.95933	(%)	(mm)
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	CC	17.04 323.08
PR (mm)	1200.00	PM	6.78 128.55
HSi (mm)	225.81	(CC-PM)	10.26 194.53
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	149.60	344.20	429.60	462.60	141.40	298.00	30.20	1855.80
Ret [mm]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	26.93	61.96	77.33	83.27	25.45	53.64	5.44	334.21
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.68	270.77	337.95	363.90	111.23	234.42	23.76	1459.71
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.99	11.48	14.33	15.43	4.72	9.94	1.01	61.88
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	254.78	197.98	166.52	147.91	138.45	133.68	194.60	317.16	323.08	225.81	244.74	323.08	
C1	0.65	0.36	0.20	0.10	0.05	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.21	0.11	0.03	0.02	0.01	0.17	0.95	1.00	1.00	0.39	1.00	0.48	
HD (mm)	126.24	69.43	37.97	19.36	9.91	122.81	336.82	526.56	558.43	208.50	350.61	218.29	
ETR (mm)	56.80	31.47	18.60	9.46	4.78	56.76	148.21	148.00	129.00	92.31	123.00	92.05	910.43
HSf (mm)	197.98	166.52	147.91	138.45	133.68	194.60	317.16	323.08	323.08	244.74	323.08	254.78	
DCC (mm)	125.10	156.56	175.17	184.62	189.40	128.47	5.92	0.00	0.00	78.34	0.00	68.29	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	184.03	234.90	0.00	33.08	0.00	452.01
NR (mm)	201.29	260.10	323.56	340.17	342.62	212.72	9.71	0.00	0.00	119.03	0.00	100.24	1909.45

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2010

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso			
I [0.01%]	0.95933	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	(mm)			
PR (mm)	1200.00	CC	17.04	323.08	
HSi (mm)	225.81	PM	6.78	128.55	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	10.26	194.53	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.00	0.00	78.20	71.00	533.20	297.60	454.80	324.00	355.80	48.40	27.70	0.00	2190.70
Ret [mm]	0.00	0.00	14.08	12.78	95.98	53.57	81.86	58.32	64.04	8.71	5.00	0.00	394.34
Pi (mm)	0.00	0.00	61.52	55.85	419.44	234.11	357.77	254.87	279.89	38.07	21.78	0.00	1723.30
ESC (mm)	0.00	0.00	2.61	2.37	17.78	9.92	15.17	10.81	11.87	1.61	0.92	0.00	73.06
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	159.44	145.54	137.84	164.66	175.59	323.08	323.08	323.08	323.08	225.81	202.99	183.16	
C1	0.16	0.09	0.36	0.47	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.49	0.28	
C2	0.05	0.03	0.05	0.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.22	0.18	0.10	
HD (mm)	30.90	16.99	70.81	91.97	466.48	428.64	552.30	449.40	474.42	135.34	96.22	54.61	
ETR (mm)	13.90	7.70	34.70	44.92	158.00	141.00	152.00	148.00	129.00	60.90	41.60	23.72	955.44
HSf (mm)	145.54	137.84	164.66	175.59	323.08	323.08	323.08	323.08	323.08	202.99	183.16	159.44	
DCC (mm)	177.54	185.24	158.42	147.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	120.09	139.92	163.63	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	113.95	93.11	205.77	106.87	150.89	0.00	0.00	0.00	670.60
NR (mm)	296.63	312.54	290.72	267.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	192.19	221.31	263.92	1844.88

## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2011

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso			
I [0.01%]	0.95933	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	(mm)			
PR (mm)	1200.00	CC	17.04	323.08	
HSi (mm)	225.81	PM	6.78	128.55	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	10.26	194.53	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	14.20	8.50	72.70	79.00	218.40	334.60	302.00	318.80	560.40	36.40	0.00	1953.00
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	13.09	14.22	39.31	60.23	54.36	57.38	100.87	6.55	0.00	361.01
Pi (mm)	2.88	8.83	3.36	57.19	62.15	171.80	263.21	237.57	250.78	440.84	28.63	0.00	1527.24
ESC (mm)	0.12	0.37	0.14	2.42	2.63	7.28	11.16	10.07	10.63	18.69	1.21	0.00	64.75
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	202.09	170.58	156.36	144.45	165.93	180.07	251.54	323.08	323.08	225.81	323.08	258.55	
C1	0.39	0.26	0.16	0.38	0.51	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	
C2	0.12	0.08	0.02	0.06	0.10	0.42	1.00	1.00	1.00	1.00	0.51	0.24	
HD (mm)	76.42	50.86	31.17	73.09	99.53	223.32	386.20	432.10	445.31	538.10	223.16	130.00	
ETR (mm)	34.39	23.05	15.27	35.70	48.01	100.34	152.00	148.00	129.00	133.00	93.17	56.45	968.38
HSf (mm)	170.58	156.36	144.45	165.93	180.07	251.54	323.08	323.08	323.08	323.08	258.55	202.09	
DCC (mm)	152.50	166.72	178.63	157.14	143.01	71.54	0.00	0.00	0.00	0.00	64.53	120.99	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.67	89.57	121.78	210.57	0.00	0.00	461.60
NR (mm)	251.11	278.67	330.36	286.44	253.00	112.20	0.00	0.00	0.00	0.00	94.37	188.53	1794.69

## Gunther Schosinsky

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2012

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

**Simbología**

fc: Capacidad de Infiltración. I: Infiltración. CC: Capacidad de Campo. PM: Punto de Marchitez. PR: Profundidad de Raíces. (CC-PM): Rango de Agua Disponible. DS: Densidad de Suelo. C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR Kp: Factor por pendiente ( ver léame) Kv: Factor por vegetación ( ver léame) Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	P: Precipitación Media Mensual. Pi: Precipitación que infiltra. ESC: Escorrentía Superficial ETP: Evapotranspiración Potencial. ETR: Evapotranspiración Real. HSi: Humedad de Suelo Inicial. HD: Humedad Disponible HSf: Humedad de Suelo Final. DCC: Déficit de Capacidad de Campo. Rp: Recarga Potencial NR: Necesidad de Riego. Ret: Retención de lluvia
--	--

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933			por peso	
I [0.01%]	0.95933			(%)	(mm)
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58			CC	17.04
PR (mm)	1200.00			PM	6.78
HSi (mm)	225.81			(CC-PM)	10.26
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				17.04
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				323.08
					128.55
					194.53

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.40	3.80	7.20	107.40	234.80	228.20	411.40	312.40	265.80	213.10	7.20	5.00	1796.70
Ret [mm]	0.40	3.80	5.00	19.33	42.26	41.08	74.05	56.23	47.84	38.36	5.00	5.00	338.36
Pi (mm)	0.00	0.00	2.11	84.49	184.71	179.51	323.63	245.75	209.09	167.64	2.11	0.00	1399.03
ESC (mm)	0.00	0.00	0.09	3.58	7.83	7.61	13.72	10.42	8.86	7.11	0.09	0.00	59.31
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	178.46	156.00	143.56	137.28	176.23	251.73	302.14	323.08	323.08	225.81	281.86	216.77	
C1	0.26	0.14	0.09	0.48	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.45	
C2	0.08	0.04	0.01	0.07	0.38	0.83	1.00	1.00	1.00	0.68	0.29	0.16	
HD (mm)	49.91	27.45	17.12	93.22	232.39	302.69	497.22	440.28	403.62	264.90	155.42	88.22	
ETR (mm)	22.46	12.44	8.39	45.54	109.21	129.10	152.00	148.00	129.00	111.59	67.20	38.31	973.23
HSf (mm)	156.00	143.56	137.28	176.23	251.73	302.14	323.08	323.08	323.08	281.86	216.77	178.46	
DCC (mm)	167.08	179.52	185.80	146.85	71.35	20.94	0.00	0.00	0.00	41.22	106.31	144.62	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.69	97.75	80.09	0.00	0.00	0.00	328.53
NR (mm)	277.62	302.08	344.41	266.31	120.14	32.84	0.00	0.00	0.00	62.63	162.11	230.31	1798.45



## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

**Gunther Schosinsky**

**Zona de Estudio:** II  
**Fecha:** 2013

**Textura de Suelo:** Franco-Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	294.12				
Kp [0.01%]	0.06				
Kv [0.01%]	0.15				
Kfc [0.01%]	0.74933	por peso			
I [0.01%]	0.95933	(%)			
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.58	(mm)			
PR (mm)	1200.00	CC	17.04	323.08	
HSi (mm)	225.81	PM	6.78	128.55	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10	(CC-PM)	10.26	194.53	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.18				

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	9.40	4.40	0.60	73.80	190.60	310.80	359.60	355.00	265.80	213.10	7.20	5.00	1795.30
Ret [mm]	5.00	4.40	0.60	13.28	34.31	55.94	64.73	63.90	47.84	38.36	5.00	5.00	338.37
Pi (mm)	4.22	0.00	0.00	58.05	149.94	244.49	282.88	279.26	209.09	167.64	2.11	0.00	1397.68
ESC (mm)	0.18	0.00	0.00	2.46	6.36	10.36	11.99	11.84	8.86	7.11	0.09	0.00	59.25
ETP (mm)	133	135	167	165	158	141	152	148	129	133	123	124	1708.00
HSi (mm)	178.46	158.32	144.83	136.85	162.49	223.73	323.08	323.08	323.08	225.81	281.86	216.77	
C1	0.28	0.15	0.08	0.34	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.45	
C2	0.09	0.05	0.01	0.05	0.18	1.00	1.00	1.00	1.00	0.68	0.29	0.16	
HD (mm)	54.13	29.77	16.28	66.36	183.88	339.67	477.41	473.79	403.62	264.90	155.42	88.22	
ETR (mm)	24.36	13.49	7.98	32.41	88.70	141.00	152.00	148.00	129.00	111.59	67.20	38.31	954.04
HSf (mm)	158.32	144.83	136.85	162.49	223.73	323.08	323.08	323.08	323.08	281.86	216.77	178.46	
DCC (mm)	164.76	178.25	186.23	160.59	99.35	0.00	0.00	0.00	0.00	41.22	106.31	144.62	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.14	130.88	131.26	80.09	0.00	0.00	0.00	346.38
NR (mm)	273.40	299.76	345.25	293.17	168.65	0.00	0.00	0.00	0.00	62.63	162.11	230.31	1835.28

**Anexo IV – IV.**

Temperatura Promedios Mensuales de Nejapa y Radiación Solar a Diferentes  
Latitudes.

## TEMPERATURAS PROMEDIO DE NEJAPA (Grados Centígrados) PERIODO 2007-2013.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura promedio 2007	27.55	27.59	28.15	28.14	28.01	28.11	27.77	27.22	27.18	26.66	27.82	27.15
Temperatura promedio 2008	27.54	27.60	28.13	28.12	28.01	28.13	27.80	27.21	27.20	26.67	27.83	27.16
Temperatura promedio 2009	27.56	27.58	28.17	28.16	28.01	28.09	27.73	27.22	27.16	26.65	27.80	27.14
Temperatura promedio 2010	27.52	27.62	28.10	28.08	28.01	28.17	27.88	27.20	27.25	26.68	27.86	27.17
Temperatura promedio 2011	27.60	27.54	28.23	28.24	28.01	28.01	27.59	27.24	27.06	26.62	27.74	27.11
Temperatura promedio 2012	27.44	27.71	27.97	27.92	28.02	28.33	28.16	27.17	27.43	26.74	27.98	27.23
Temperatura promedio 2013	27.76	27.38	28.50	28.57	28.00	27.68	27.02	27.31	26.69	26.50	27.50	27.00

## HORAS DE SOL PROMEDIO MENSUAL.

Mes	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Latitud (Grados)</b>												
0°	8.5	7.66	8.49	8.21	8.5	8.22	8.5	8.49	8.21	8.5	8.22	8.5
5°	8.32	7.56	8.47	8.29	8.66	9.41	8.68	8.6	8.23	8.42	8.06	8.3
10°	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.6	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.1
15°	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.8	9.05	8.83	8.28	8.26	7.75	7.88
20°	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9	9.25	8.96	8.3	8.18	7.58	7.66
25°	7.53	7.14	8.39	8.61	9.33	9.23	9.45	9.09	8.32	8.09	7.4	7.42
30°	7.3	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.33	7.99	7.19	7.15
35°	7.05	6.88	8.35	8.83	9.76	9.77	9.93	9.37	8.36	7.87	6.97	6.86
40°	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	6.52
45°	6.37	6.51	8.28	9.09	10.35	10.5	10.61	9.77	8.42	7.6	6.41	6.09
50°	5.98	6.3	8.24	9.24	10.68	10.91	10.99	10	8.46	7.45	6.1	5.65
55°	5.33	5.93	8.16	9.44	11.21	11.65	11.65	10.35	8.52	7.21	5.57	4.93
60°	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.7	8.57	6.98	5.04	4.22

Tabla .- Porcentaje (p) de número máximo de horas de insolación mensual respecto al total anual según latitud (latitud norte)

## HORAS DE SOL PROMEDIO MENSUAL PARA LA LATITUD 13° NORTE.

Mes	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Latitud (Grados)</b>												
13°	8.244	7.536	6.998	8.412	8.912	8.72	8.974	8.782	8.268	8.292	7.814	7.968

**Anexo IV – V.**

Precipitaciones Diarias Estación Aguilares, San Andrés y Boquerón, Periodo  
2007-2013.

PRECIPITACION DIARIA (mm/día) PERIODO 2007-2013.

	Precipitacion	Precipitacion																																	
	acumulada	media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
<b>2007</b>																																			
Enero																																			
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Febrero																																			
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Marzo																																			
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril																																			
San Andres	47.30	1.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.8	9.2	0	0	0	0	12	3.8	11.5	0	0	0		
Aguilares	66.90	2.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.8	5.35	0	0	0	0	20.4	17.6	5.75	0	0	0		
Boqueron	86.50	2.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.8	1.5	0	0	0	0	28.8	31.4	0	0	0	0		
Mayo																																			
San Andres	151.00	4.87	15.8	0	0	0	12.5	0	33.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.3	0	0	0	0	0	2.7	0.3	73.5	1.5	
Aguilares	29.80	0.99	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.1	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	0	
Boqueron	127.00	4.10	11.6	0	0	0	12.8	4.2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.6	0	0	0	0	16.8	51.8	1.6	1.6	5	0	
Junio																																			
San Andres	71.90	2.40	2	1.7	0	3.4	1.6	11	1	0	17.2	0	0	0	14	0	0	0.9	0	0.1	2.2	3.7	7.7	0.8	3.3	0	0	0	0	1	0	0	0.3		
Aguilares	13.70	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	122.00	4.21	10	8.8	0.2	10.2	0.2	0.8	2	0	38.8	0	0.2	0.2	0.4	0.6	2.2	4.2	0.4	0	0.4	9.4	23.2	1.2	9.8	0	0	0	1.4	6.8	0	0	0		

	Precipitacion acumulada	Precipitacion media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
<b>2007</b>																																			
Julio																																			
San Andres	348.60	11.25	45	1.5	7.5	0	0	8.5	31.1	16.6	0	40	2.1	16.5	12.5	59.3	5.8	0	15.2	18.1	7.3	0.6	0	3.4	22.2	13.9	0	0	7.3	10.2	1.7	2.3	0		
Aguilares	149.80	4.83	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	45.8	0	0	0	0	0	0	9.8	14.2	0.7	0	0	12.3	21.5	0	0	0	39	0	0	0	0		
Boqueron	586.80	18.93	17.2	6.4	5.2	0	0	7.8	7.2	84	0	31	14.2	61.4	11.6	34	13	0	21.4	65	11.2	3.2	0.2	57.6	22.4	9	0	0	7.6	65.2	14.8	0.4	15.8		
Agosto																																			
San Andres	296.20	9.55	3.8	2.2	0	20.4	2.5	22.5	2.3	55	0	1.9	2	3.8	4	0.6	12.3	1.3	42.3	0.7	0.6	0	1	9.7	3.1	0	36.6	25.5	17.6	12.5	7.7	4.3	0		
Aguilares	55.00	1.77	0	0	0	6.5	0	0	0	20.9	0	0	0	0	11.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.2	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	326.80	10.54	6.2	13.4	0.6	27.2	16	1	0.2	21.4	12.8	6.8	6.2	9	11	2.8	3	2.4	24	14.8	4.8	0.6	0.4	20.6	6.6	0	25.4	15.2	3.8	32.8	30.8	7	0		
Septiembre																																			
San Andres	306.70	10.22	25.8	12.3	4.1	5.6	21	2.3	0.3	0	19.5	0.3	7.5	18.3	17.5	5.5	0	0	0	5.5	18	36	18	0.2	5	3.4	26.3	0.3	1.5	1.5	51	0			
Aguilares	184.40	6.15	12.2	8.6	0	0	12	0	0	16.2	0	0	4.3	57	0	0	0	0	4.2	5.1	3.1	18.5	0	0	0	11.1	0	0	0	32.1	0	0			
Boqueron	351.40	11.71	2.4	23.6	2.6	2.2	25	1	0.6	39.8	8.2	1.6	4.4	24.8	37.4	17.6	0.2	0	0	1.8	8.6	3.4	14.4	8.2	10.6	5.8	0	27.6	22.4	2.8	54.4	0			
Octubre																																			
San Andres	249.70	8.05	0	2.8	0	21.5	17.6	0	0.4	0	16.5	15.2	24.2	12.3	29.6	4.6	0.6	24	2.8	0	0	4	44.8	4.4	24.4	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	98.60	3.18	0	0	0	0	0	0	0	9.2	41.5	15.5	1.7	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0	26.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	244.80	7.90	0	27.6	0	3.8	0	1	17.8	2.6	22.4	26.8	28.2	13.6	5.8	17.6	10.2	4.2	1.8	0.8	0	7	51.4	1.8	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0		
Noviembre																																			
San Andres	53.10	1.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.6	5.5	0	36	0	0	0	0	0			
Aguilares	38.45	1.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	6.6	6.65	0	25.1	0	0	0	0	0			
Boqueron	23.80	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	1.6	7.8	0	14.2	0	0	0	0	0			
Diciembre																																			
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

	Precipitacion	Precipitacion																																
	acumulada	media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<b>2008</b>																																		
<b>Enero</b>																																		
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Febrero</b>																																		
San Andres	5.90	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	17.45	0.56	0	0	0	0	0	1.3	0.1	0	13.2	0	0	0	0	0	0	0	0	2.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	29.00	1.00	0	0	0	0	0	2.6	0.2	0	22.2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>Marzo</b>																																		
San Andres	8.60	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.6		
Aguilares	4.30	0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.3		
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>Abril</b>																																		
San Andres	57.60	1.92	18.1	0	0	0	0	0	0	2	0	1.8	0	0.8	0	0	0	0	0	0	7.4	10.3	0	4.5	12.7	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	62.80	2.03	10.3	0	0	0	0	0	0	1	0.1	0.9	0	15.7	0.1	0	0	0	0	0	6.4	5.65	0	16.4	6.35	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	68.00	2.27	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	30.6	0.2	0	0	0	0	0	5.4	1	0	28.2	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>Mayo</b>																																		
San Andres	38.20	1.27	0	2.1	7	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	5.9	0.2	0	0	3	0	0	0.7	1.4	11.2	5.4			
Aguilares	79.70	2.57	0.4	3.95	13.5	0.4	0.4	0	0	0.7	0.4	0.4	0	0	0	0	0	1.3	0	1.35	7.45	0.2	0	2	15	0.1	7.2	1.95	8.1	8.4	6.5			
Boqueron	121.20	4.04	0.8	5.8	20	0.8	0.8	0	0	1	0.8	0.8	0	0	0	0	2.6	0	0	1.8	9	0.2	0	4	27	0.2	14.4	3.2	14.8	5.6	7.6			
<b>Junio</b>																																		
San Andres	358.70	11.96	86.2	35.6	6.6	0	0.7	1.8	19.6	0	35.7	2.9	3.5	1.4	4.7	20.6	29.3	19.4	7	0	7.3	1.4	0	20.2	0	13	5.6	11	0	0.5	22	2.7		
Aguilares	93.10	3.10	38.4	54.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	478.21	15.94	99.2	76.2	6.6	0	21.4	1.2	40	15.2	1.4	13.2	1.4	5.6	9.2	15.8	3.6	28.8	5.4	0	15.4	12.6	0	20.8	0.2	6.4	9.8	33.6	0	0	33.2	2		

	Precipitacion	Precipitacion																																		
	acumulada	media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
<b>2008</b>																																				
Julio																																				
San Andres	314.80	10.15	25.2	33.5	37.7	0	19.6	17.6	10.3	27.5	7.2	21.4	2.7	16.3	4.6	7.3	0	0	0	11.9	5.1	0	8.5	2.3	24	0	0	0	0	1.9	3	21.2	6			
Aguilares	366.10	11.81	30.2	38.1	50.5	2.5	15.4	20.3	5.45	22.2	3.6	16.9	5.35	16.5	12.8	15.7	0.1	0	0	25.6	9.35	3.5	7.05	2.55	15.7	0	0	0	0	3.95	4.4	12.6	26.1			
Boqueron	417.40	13.46	35.2	42.6	63.2	5	11.2	23	0.6	16.8	0	12.4	8	16.6	21	24	0.2	0	0	39.2	13.6	7	5.6	2.8	7.4	0	0	0	0	6	5.8	4	46.2			
Agosto																																				
San Andres	225.00	7.26	35.4	55.7	7.9	0.8	5	9.1	0	0	0	0	0	11.5	0.6	0.2	0	29.6	0	4	0.8	6.6	0	9.5	20.7	0.1	12.7	2.8	1	1	0	8.6	1.4			
Aguilares	234.50	7.56	32.3	38	11.1	2.7	2.5	21	0.5	0	0	0	0	13.9	0.9	1	0	16.4	0.7	2	2.7	9	0	4.75	33.5	5.05	16.5	4.9	1.1	1.4	0	4.8	8.1			
Boqueron	244.00	7.87	29.2	20.2	14.2	4.6	0	32.8	1	0	0	0	0	16.2	1.2	1.8	0	3.2	1.4	0	4.6	11.4	0	0	46.2	10	20.2	7	1.2	1.8	0	1	14.8			
Septiembre																																				
San Andres	288.40	9.61	9.2	0.4	4.5	4.7	22.5	0	0	0	0	6.1	0.1	8.7	28.7	1	0.6	14.3	76.8	15.2	7.9	7.2	20.3	6.3	24.5	0	0.4	0	1.1	12	7.3	8.6				
Aguilares	294.10	9.49	14	0.5	3.45	2.55	28	0	0	0	0	3.05	0.05	4.65	14.6	0.5	25.2	19.3	52	12.4	3.95	13.8	22.4	8.65	26.4	0.1	1.5	0.2	5.05	6.4	9.95	15.7	0			
Boqueron	299.80	9.99	18.8	0.6	2.4	0.4	33.4	0	0	0	0	0	0	0.6	0.4	0	49.8	24.2	27.2	9.6	0	20.4	24.4	11	28.2	0.2	2.6	0.4	9	0.8	12.6	22.8				
Octubre																																				
San Andres	258.50	8.62	20.1	0	15.5	23	18.2	9.6	29.9	25.1	0	0	0.2	2.6	0	0	2.3	30.8	31.9	27.6	0	0	0	10	9.7	1.1	0.9	0	0	0	0	0	0			
Aguilares	375.05	12.10	10.6	0	20.2	31.8	18.5	10.2	49.7	45.5	1.2	0	0.1	1.4	8	0	3.95	49.6	44.3	51.9	2	0.4	0	15.2	5.75	3.95	1.05	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	491.60	16.39	1	0	24.8	40.6	18.8	10.8	69.4	65.8	2.4	0	0	0.2	16	0	5.6	68.4	56.6	76.2	4	0.8	0	20.4	1.8	6.8	1.2	0	0	0	0	0	0	0		
Noviembre																																				
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Diciembre																																				
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



	Precipitacion	Precipitacion																																
	acumulada	media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<b>2009</b>																																		
Enero																																		
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Febrero																																		
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Marzo																																		
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abril																																		
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mayo																																		
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	0.10	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	
Boqueron	0.20	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	
Junio																																		
San Andres	146.20	4.87	0	0	0	0	0	7.9	0	0.1	1	0	3.4	18	7.3	12.5	8.3	0	2.2	7	0	1.5	5.4	0.6	10	0.3	27.2	8.3	0	0	15.4	9.8		
Aguilares	147.90	4.77	0	0	0	0	0	4.35	0	0.15	0.5	0.2	10.1	13.4	4.75	7.25	4.45	10.5	1.2	11.8	0.1	1.15	8.3	1.4	15.5	0.15	18.6	4.15	0	9.5	9.9	10.5		
Boqueron	149.60	4.99	0	0	0	0	0	0.8	0	0.2	0	0.4	16.8	8.8	2.2	2	0.6	21	0.2	16.6	0.2	0.8	11.2	2.2	21	0	10	0	0	19	4.4	11.2		

	Precipitacion	Precipitacion																																		
	acumulada	media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
<b>2009</b>																																				
Julio																																				
San Andres	275.80	8.90	1.3	3.7	0	0	17.8	18.7	1.2	1.8	22.1	18.3	25.7	22.3	0	0	20	0	0	0	2.1	0	11.3	28.5	10	1.3	11.5	2.4	0	2.9	27.5	11	14.4			
Aguilares	310.00	10.00	6.65	3.55	0	0	25.8	13.8	0.6	4.2	26	20.6	25.85	31.6	0	0	10.5	0.8	0	0	1.05	5.5	22.8	28.7	13.9	0.75	15.7	1.5	0	1.55	25	10.1	13.9			
Boqueron	344.20	11.10	12	3.4	0	0	33.8	8.8	0	6.6	29.8	22.8	26	40.8	0	0	1	1.6	0	0	0	11	34.2	28.8	17.8	0.2	19.8	0.6	0	0.2	22.4	9.2	13.4			
Agosto																																				
San Andres	358.50	11.56	24	0	0	0	49	18.4	12.9	24.8	0	0	4.9	0	27.5	9	1	35.5	12.3	43.3	37	0	0.2	0.2	3.9	6	0	10.6	16	1.9	19.4	0	0.7			
Aguilares	394.05	12.71	31.3	0	0.3	0	50.4	36.7	12.1	20.5	0	0	7.95	0.1	18	16	31.7	30.8	6.75	35	22.7	0.4	0.8	1.3	6.65	12.4	5.2	7.6	20.2	1.25	10.4	5.3	2.45			
Boqueron	429.60	13.86	38.6	0	0.6	0	51.8	55	11.2	16.2	0	0	11	0.2	8.4	23	62.4	26	1.2	26.6	8.4	0.8	1.4	2.4	9.4	18.8	10.4	4.6	24.4	0.6	1.4	10.6	4.2			
Septiembre																																				
San Andres	337.60	11.25	0	0	0	2.3	18.1	0	0	45.7	2.6	0	8.5	0	5.6	0	0	56.4	16.5	31.8	4	9.2	0	54	33.2	0.8	6.8	8.6	4	12.4	17.1	0				
Aguilares	400.10	12.91	0	13.9	3.4	5.55	18.1	0.6	0	37.5	5.7	0.7	9.05	0.2	16	0	0.6	34.3	30.8	23.7	23.3	5	0.1	48.5	30.1	1.6	17.7	10.2	11.9	22.1	29.6	0.1	0			
Boqueron	462.60	15.42	0	27.8	6.8	8.8	18	1.2	0	29.2	8.8	1.4	9.6	0.4	26.4	0	1.2	12.2	45	15.6	42.6	0.8	0.2	43	27	2.4	28.6	11.8	19.8	31.8	42	0.2				
Octubre																																				
San Andres	106.64	3.44	1.3	0	0.7	25	42.7	10.1	0	0	6.5	0.3	0	0	12.5	0	0	0	1.8	0	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.8	4.5	0			
Aguilares	124.02	4.00	0.65	4.5	1.65	22.9	37.7	8.45	0.1	0	10.8	0.95	0	0.1	16	0	0	0	15.4	0	0.1	0	0.2	0	0	0	0	0	0	1.1	0.1	1.1	2.35	0		
Boqueron	141.40	4.56	0	9	2.6	20.8	32.6	6.8	0.2	0	15	1.6	0	0.2	19.4	0	0	0	29	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	2.2	0.2	1.4	0.2	0		
Noviembre																																				
San Andres	82.60	2.75	9	0	4.2	13.2	1.2	16.7	38.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	190.30	6.14	24.6	1.8	6.4	11.8	2.5	40.4	97.3	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	298.00	9.93	40.2	3.6	8.6	10.4	3.8	64	156	11.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Diciembre																																				
San Andres	16.70	0.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	23.45	0.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	23.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	30.20	0.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	29.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

	Precipitacion	Precipitacion																																		
	acumulada	media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
<b>2010</b>																																				
Enero																																				
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Febrero																																				
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boqueron	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marzo																																				
San Andres	33.50	1.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	55.85	1.80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boqueron	78.20	2.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril																																				
San Andres	63.60	2.12	0	0	0	4.4	0	0	8.3	0	0	0	0	3.4	31.5	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	5.9	5.8	0	4				
Aguilares	67.30	2.17	0	0	0	8	0.5	1.5	4.25	0	0	0	0	2.7	19.7	0	0.15	0	0.4	0.1	0.2	0	10.6	0	0	0	0	2.95	7.4	0	8.9	0				
Boqueron	71.00	2.37	0	0	0	11.6	1	3	0	0.2	0	0	0	2	7.8	0	0.2	0	0.8	0.2	0.4	0	21	0	0	0	0	9	0	13.8						
Mayo																																				
San Andres	311.60	10.05	10.6	0	0.1	10	0	43.5	3.2	0	0	0	2.9	4.8	0	2.5	0.5	0.5	1.6	0	0	8.7	0.4	25.3	4.7	4.9	4.5	27.8	4.2	139	12	0				
Aguilares	422.40	13.63	16.1	0.1	0.05	14.9	0.2	29.6	1.7	0.1	0	0	8.05	15.4	0	3.75	0.55	0.55	0.8	0	19.4	14.4	8.6	22.3	7.05	5.45	7.45	29.7	16.7	189	10.1	0.1				
Boqueron	533.20	17.20	21.6	0.2	0	19.8	0.4	15.6	0.2	0.2	0	0	13.2	26	0	5	0.6	0.6	0	0	38.8	20	16.8	19.2	9.4	6	10.4	31.6	29.2	240	8.2	0.2				
Junio																																				
San Andres	291.90	9.73	0	0.6	1.9	3	0	0	51	0.6	0.5	6.7	3.5	13	0.1	1.1	15	45.5	0	12.2	34.2	14.5	17.5	0	0	0	8	38.3	2.2	21.4	0.9	0.2				
Aguilares	294.75	9.51	0	0.3	2.65	9	0	0	30.7	5.1	0.85	13.2	2.45	16.1	0.25	2.8	16.8	42.3	0.9	22.8	35.5	10.2	12.2	0.5	1.7	0.1	5.8	28.8	3	27.3	3.35	0.4	0			
Boqueron	297.60	9.92	0	0	3.4	15	0	0	10.3	9.6	1.2	19.6	1.4	19.2	0.4	4.5	18.6	39	1.8	33.4	36.8	5.8	6.8	1	3.4	0.2	3.6	19.2	3.8	33.2	5.8	0.6				



	Precipitacion	Precipitacion																																	
	acumulada	media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
<b>2011</b>																																			
<b>Enero</b>																																			
San Andres	1.00	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aguilares	4.50	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boqueron	8.00	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Febrero</b>																																			
San Andres	45.20	1.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.7	0	14.2	2	0	2.3	0			
Aguilares	29.70	0.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.4	0	13.5	1.3	0	1.55	0	0	0	
Boqueron	14.20	0.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.8	0.6	0	0.8	0				
<b>Marzo</b>																																			
San Andres	25.50	0.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	7.8	0	17.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	17.00	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	3.9	2.3	8.65	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	8.50	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	4.6	0	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Abril</b>																																			
San Andres	47.30	1.58	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.2	26.3	0	13.5	0	0	0	0	0		
Aguilares	60.00	1.94	0	0	0	0	0.5	13	0	0	0	1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.6	31.9	1.6	6.8	0	0	0	0	0.8	0	
Boqueron	72.70	2.42	0	0	0	0	1	25.6	0	0	0	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37.4	3.2	0.1	0	0	0	0	1.6	0	
<b>Mayo</b>																																			
San Andres	36.30	1.17	0	6.1	0	0	0	0	0	0	0	7.6	0.3	1.4	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	15.5	0	2.3	0.7	0	
Aguilares	57.65	1.86	0	16.9	2.6	0	0	0.4	0	0	0	4.5	4.55	0.9	0.1	0.1	0.1	1.15	0	0.3	0	0	0.45	0	0	0	0	0.1	0	20.1	2.1	2.15	1.15	0.1	
Boqueron	79.00	2.55	0	27.6	5.2	0	0	0.8	0	0	0	1.4	8.8	0.4	0.2	0.2	0.2	0.8	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	24.6	4.2	2	1.6	0.2
<b>Junio</b>																																			
San Andres	293.70	9.79	0	0	0	8.9	0.1	8.1	0	0.9	0	1	6.1	6.8	1	31.6	30.2	13.6	0.3	27	4.1	0	7	16	47.6	17.5	10.7	2	1	21.2	18	13			
Aguilares	256.05	8.26	0	0	0	14	0.65	4.15	0	0.75	0	0.6	3.95	10.9	0.6	15.9	24.7	18.6	0.55	15.6	4.45	0.6	3.6	13	40.1	11.5	16.6	8.2	2.1	10.6	15.7	18.8	0		
Boqueron	218.40	7.28	0	0	0	19	1.2	0.2	0	0.6	0	0.2	1.8	15	0.2	0.2	19.2	23.6	0.8	4.2	4.8	1.2	0.2	10	32.6	5.4	22.4	14.4	3.2	0	13.4	24.6			



	Precipitacion	Precipitacion																																	
	acumulada	media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
<b>2012</b>																																			
Enero																																			
San Andres	15.20	0.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	7.80	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.35	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.40	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	
Febrero																																			
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	2.60	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	3.80	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Marzo																																			
San Andres	2.10	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0	
Aguilares	14.80	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2	0	0	0	0	0	0	0	2.2	0	0	0	0	0	0	8.4	
Boqueron	7.20	0.23	0	0	0	0.6	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0.6	
Abril																																			
San Andres	26.40	0.88	0	0	0	0	1.8	12.7	0	0	0	0	0	2.3	0	0	0.4	1.1	0.1	0.2	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Aguilares	47.20	1.57	0	0	0	0	0.2	2.2	10.4	0	0	0	0	4	19.4	0.6	0.2	0	1.2	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
Boqueron	107.40	3.58	0	0	0	0	0.8	2.4	0	0	0	0	0	0	51.8	0.4	10	18.4	7	0.4	5.8	4	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2		
Mayo																																			
San Andres	192.60	6.21	0	20.8	22	16.4	1.2	0	1.2	0	0	0	2.2	14	0.5	34.4	0.9	0	5.5	0	0.3	12.9	13.3	0	10.6	0	6.6	12.6	0.9	0	0.1	15	1.2		
Aguilares	229.00	7.39	0	1.2	25.8	3.8	0.2	0	0	0	0.4	0.2	22.2	29.8	9.2	18	0.2	9.4	36.4	0	4.4	17.6	1	0.2	31.6	0.2	0.8	3.8	0.6	3.4	0	0	8.6		
Boqueron	234.80	7.57	0	0.2	16.8	0.6	0	0	1.4	0.2	0	0	1.8	18.6	7.6	22.8	1.8	1	70	0.4	0.4	10	1.2	0.2	12.4	17.4	37.2	5	1.4	0.4	0.8	4.4	0.8		
Junio																																			
San Andres	160.50	5.35	12.6	0	2	0	2.9	0	2.7	0	57.6	15.5	0	0	25.7	3.6	19.2	0.1	0	0.8	0.6	0	0	0	9.1	0	0	0	1.7	6.1	0	0.3			
Aguilares	133.00	4.43	0.6	22.6	34.6	1.6	0	0	0	0	20.4	16.8	0	0	0.2	4.4	22.4	0.4	3	0	2.2	0	0	0	1.6	0	0	0	0	2	0	0.2			
Boqueron	228.20	7.61	22.6	0.4	7	17.6	31.8	0	37.4	0.2	41.8	16.2	0	0	4.6	5.8	0.2	13.4	0.2	2.2	7.4	0.2	0	0	13.8	0	0	0	0	4.6	0	0.8			

	Precipitacion	Precipitacion																																	
	acumulada	media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
<b>2012</b>																																			
Julio																																			
San Andres	244.10	7.87	2.2	0.4	11	13.3	0	6	41	12.5	0	0	0.6	1.2	44.8	0	0	4.1	6.7	1.9	0	0	17.1	11.8	0	8.2	0	0.4	8.5	0	18.3	25.9	8.2		
Aguilares	320.60	10.34	0.2	3.8	14	5	0	0	19.8	17.2	1.4	0	29.6	6.2	47	1.8	3.4	8.4	83.2	2.2	0	0	0.8	21.8	0	3.2	0	0.4	0.4	0	12	28.6	10.2		
Boqueron	411.40	13.27	15.6	6.4	25.8	27.8	0.6	0	47	6.4	0	0.6	1.2	14.6	54.4	1	0.4	0	54.8	2.4	0.2	7	41.8	16.4	0	0.4	0.6	0.2	13	0.2	30.4	29.4	12.8		
Agosto																																			
San Andres	297.60	9.60	21.4	10.6	12.1	2.5	0	0	5	4.7	0	25.4	0.5	55	0	0	0	0	31	3.6	2.1	7.2	26.5	0	5.5	5.3	0	31.1	0	2.5	3.7	21	20.9		
Aguilares	438.60	14.15	10.2	35.6	24.2	25	0	0	45	20.6	0	5.6	0	15	0	0.6	0	0	40.4	25.2	0	20.6	5.6	0	6.2	46	0	61.8	0	2.8	20.4	23.2	4.6		
Boqueron	312.40	10.08	8.6	22.6	28	3.6	0	0	11	23.4	0.2	1.8	3.8	16.6	0	9	10	0.2	2.4	7.2	0.2	0	31.6	0	23.6	14.8	2.6	31.8	0.2	3.2	35.2	11.6	9.2		
Septiembre																																			
San Andres	196.00	6.53	2.2	21.6	0	2.3	37.6	0.3	5.9	2.3	3.2	3.1	0.1	0	1.2	0	0	2.7	5	12.7	26.3	6.1	36.9	8.1	0	0	0	6	8	0	1.7	2.7			
Aguilares	167.20	5.57	0.8	12.2	0	1.6	4.8	2.4	5.6	0.6	0.4	7.4	0	0	9.4	0	0	1	3.2	0	4.8	19.2	31.4	36.2	0	0	0	0	13	0.2	0.4	12.6			
Boqueron	265.80	8.86	17.8	7.2	2.6	2.4	1.8	0.2	5.2	0.6	9.2	3	0.4	0	9.6	1.4	2	10.8	2	1.4	1.2	28.2	82.8	22.6	0	0	0	3.8	20.2	0	8	21.4			
Octubre																																			
San Andres	187.50	6.05	0	13.3	61.1	0.3	23	21.2	11.8	16.2	19.4	18.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	0.4	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	167.60	5.41	0	0	34.6	0.2	4.8	9.8	28	32.2	14.6	7.2	1.2	1	0	0	0	3	0.2	21.8	3.6	0	5.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	213.10	6.87	19.4	2.6	21	10.8	0.8	0	42.2	3.2	43.3	16.8	23.6	7.4	0	0	0	0	0.6	0	6.2	3.2	3.2	0.2	0.4	0.9	6.9	0.2	0	0	0	0	0.2		
Noviembre																																			
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	1.00	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	7.20	0.24	0	0	0	0.4	0	2.4	0.2	0.4	0.2	0	0	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	1.4	0.4	0	0			
Diciembre																																			
San Andres	42.00	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	22.80	0.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0		
Boqueron	5.00	0.16	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0		



	Precipitacion acumulada	Precipitacion media	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
<b>2013</b>																																				
<b>Enero</b>																																				
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	1.60	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	9.40	0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	7	0	0.2	0	0	0	0	1	0.8	0	0	0	0	0	0.2	0	0		
<b>Febrero</b>																																				
San Andres	4.30	0.15	0	0	0	0	0.1	1	0	0	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	3.80	0.14	0	0	0	0	1.6	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0		
Boqueron	4.40	0.16	0	0	0	0	0.2	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0.8	0.8	1.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>Marzo</b>																																				
San Andres	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Boqueron	0.60	0.02	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0		
<b>Abril</b>																																				
San Andres	90.30	3.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.5	19.8	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aguilares	55.60	1.92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.2	12.6	8.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0		
Boqueron	73.80	2.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.2	0	0	0	0	42.4	5.4	0.2	24.8	0.2	0	0	0	0	0	0.2	0		
<b>Mayo</b>																																				
San Andres	136.10	4.39	0	4.5	0	0	0	0	1.1	0	0	0.8	0	7.5	0	0	0	0	0.2	7.6	0	0	13.1	0.5	15.2	14.8	24.4	23.7	0.5	22.2	0	0	0	0		
Aguilares	82.20	2.65	0	14.4	0	12.2	0	0	10.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	19	6	14.8	0.4	1	0.8	0	0	0		
Boqueron	190.60	6.15	0	22.6	0	0	0	0	29	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	21.2	39	8.4	12.8	6.8	41.6	3.8	1.6	1.6	0	0.2		
<b>Junio</b>																																				
San Andres	372.40	12.41	0	3.7	0	6.6	2.1	0	13	16.8	0	33	17.5	20.5	38.9	0.7	1.5	25.4	0	5.7	30.8	8.4	6.1	33	6.4	26	21.9	5.6	18.1	29.3	0.6	0.8	0			
Aguilares	197.40	6.58	0	0	0	0.2	0.2	0	8.6	3.8	0	18.2	17.2	22.2	10.6	1	11.8	17.2	0	0	14.4	0.4	5.8	6.6	3.4	4	6.4	1.2	10.4	29	3	1.8	0			
Boqueron	310.80	10.36	0.8	0	2.2	8	0	0	0.2	2.8	0	29.6	15.6	13.2	17.4	7	34.8	25	0.4	0.4	11.2	5.4	1.4	17.4	8.6	0.8	21.4	16.2	42.2	25.6	1.6	1.6	0	0		
<b>Julio</b>																																				
San Andres	370.00	11.94	0.4	17.4	10.2	0	6.2	0	0	41.3	1	9	16.9	61.5	0.3	0.1	0	4.3	31.7	31.7	13.3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	17.2	27.5	14.9	63.1		
Aguilares	191.60	6.18	33.8	1.2	0.8	0	10.2	0	0	7.6	30.2	13.2	4	13.8	0.6	0	0	0.2	24.2	16.2	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0	20	7.6	1	5.6	0		
Boqueron	359.60	11.60	6.8	15.8	23.8	0.2	11.2	0	0.2	6.2	22.4	23.4	18	33.8	0.2	1.8	0.2	6.8	23	26.2	4	5.6	2.2	0	0	1.4	0	0	0	32.8	22.2	20	51.4	0		
<b>Agosto</b>																																				
San Andres	280.00	9.03	36.9	16.5	0	8	25.3	0	0.5	1.3	15.4	8.5	37.7	8.3	1.7	0	7	6	0	13.4	12.2	3.1	6.6	0	0.5	0.9	4.8	0	50.4	8.9	0	5.4	0.7			
Aguilares	231.20	7.46	6.4	8.6	0	4.4	8.2	0	0.2	0.4	6.2	36.4	22.6	1.8	1.6	2.2	11.2	14.4	0	37.6	14.2	7	9.2	0	1	0.2	2	0	20.4	10.8	0	2.8	1.4	0		
Boqueron	355.00	11.45	18.4	0	0.6	1.8	20.8	0	0.2	15	0.6	7.4	50	25.8	1.4	2.4	24.2	10.6	0	29.2	15.2	2	71.2	0.4	7.6	24.6	2.2	2.6	15.2	1	0.2	2.4	2	0		

### Anexo IV-VI.

Datos de Aforo de Pozos Registrados en la cuenca.

N°	Nombre	Latitud	Longitud	Elevación	N. Estático	Q (l/s)	Volumen extraído (millones de m <sup>3</sup> )
1	Nueva S.S QUE-A-P-05	472600	299650	490.00	24.38	25.00	0.788
2	San Salvador APO-A-P-01	472025	299700	465.00	24.38	20.00	0.631
3	San Salvador APO-A-P-02	473275	299550	510.00	24.38	12.62	0.398
4	San Salvador APO-A-P-03	473700	299350	520.00	24.38	15.00	0.473
5	San Salvador APO-A-P-05	474475	299200	450.00	48.30	30.00	0.946
6	Nejapa #8 APO-A-P-08	473780	300660	456.00	55.32	72.00	2.271
7	EMBOSALVA #1 APO-A-P-12	473575	299827	465.00	31.04	37.80	1.192
8	EMBOSALVA # 2 APO-A-P-11	473703	299681	463.00	25.91	9.45	0.298
9	Nejapa #7 APO-A-P-13	473025	299700	465.00	24.38	85.17	2.686
10	Hacienda Mapilapa APO- A-P-14	473000	300100	465.00	25.40	85.17	2.686
11	Estación Central al #2 APO-A-P-18	474475	299200	549.00	134.00	65.61	2.069
12	Estación Central al #1 APO-A-P-19	474829	296913	549.00	139.00	65.61	2.069
13	Hacienda Atalpo APO-A- P-20	474700	301140	440.00	53.00	3.15	0.099
14	Beneficio Nejapa APO- A-P-21	475050	299650	435.00	1.60	27.70	0.874

15	Nejapa #4 (La granja) Cantón El Salitre APO-A-P-22	473700	299350	520.00	56,39	15.00	0.473
16	Mataderos #2 APO-A-P-23	473150	299400	510.00	28,5	6.31	0.199
17	El Jabalí 1 QUE-A-P-01	472717	300547	465.00	60,75	9.15	0.289
18	Jumex APO-A-P-27	474870	297742			15.00	0.473
19	Beneficio Nejapa APO-A-P-28	475050	299650	430.41	1.60	27.70	0.874
20	Hda. El Castaño 2 - Nejapa #2 APO-A-P-30	474475	299200	442.72	16.90	65.61	2.069
21	Nejapa Power APO-A-P-35	473089	297553	551.70	67.00	12.99	0.410
22	Nejapa #9 QUE-A-P-04	472600	299650	476.36	24.38	85.17	2.686
23	Matadero ES APO-A-P-31	473439	299526	458.98	29.00	18.93	0.597
24	LACTOSA 1 APO-A-P-32	474672	297573	513.14	83.84	2.21	0.070
25	Castaño 1 captación					98.00	3.091
<b>Volumen de pozos explotados y existentes sin registros en ANDA (Aproximado según ANDA)</b>							5.960
<b>TOTAL</b>							34.671

### **Anexo V - I**

Memoria de cálculo del Índice de Calidad de las Aguas de la Tesis de Ingeniería Química “Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de Lavaderos Públicos del Municipio de Nejapa.”

A continuación se procede a calcular el Índice de Calidad del Agua “ICA” para los resultados obtenidos en la tesis “**Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de Lavaderos Públicos del Municipio de Nejapa.**”

### **Cálculos.**

#### **Coliformes Fecales.**

Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3.

$$\text{Coliformes Fecales} = 16,000,000 \frac{\text{NMP}}{100} \text{ ml}$$

*∴ de la figura 3 – 10 obtenemos que el Sub<sub>1</sub> = 3*

#### **Potencial de Hidrógeno (pH).**

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 3.

*pH = 7.25 unidades ∴ de la figura 3 – 11 obtenemos que el Sub<sub>2</sub> = 92*

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).**

Si la DBO<sub>5</sub> es mayor de 30 mg/L el (Sub<sub>3</sub>) es igual a 2.

$$\text{DBO}_5 = 4.8 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 12 obtenemos que el Sub}_3 = 56$$

#### **Nitratos.**

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2.

$$\text{Nitratos} = 84.3 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 – 13 obtenemos que el Sub}_4 = 4$$

### **Fosfatos.**

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5.

$$\text{Fosfatos} = 21.6 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 - 14 obtenemos que el Sub}_5 = 5$$

### **Temperatura.**

Para el parámetro de Temperatura (Sub<sub>6</sub>) primero hay que calcular la diferencia entre la T°Ambiente y la T°Muestra.

$$\Delta T = 4.5 \text{ °C} \therefore \text{de la figura 3 - 15 obtenemos que el Sub}_6 = 71$$

### **Turbidez.**

Si la Turbidez es mayor de 100 UNT el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5.

$$\text{Turbidez} = 0 \text{ mg/L} \therefore \text{de la figura 3 - 16 obtenemos que el Sub}_7 = 100$$

### **Sólidos Disueltos Totales.**

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3

$$\text{Sólidos Disueltos Totales} = 214 \text{ mg/L}$$

$$\therefore \text{de la figura 3 - 17 obtenemos que el Sub}_8 = 72$$

### **Oxígeno Disuelto.**

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua.

$$\text{Temperatura}_{\text{muestra}} = 25 \text{ °C}$$

**De la Tabla 3.7 obtenemos el valor del 100% de oxígeno disuelto a 28 °C.**

$$100 \% \text{ de Oxígeno disuelto}_{25\text{°C}} = 8.24 \text{ mg/L}$$

$$\text{Oxígeno Disuelto}_{\text{laboratorio}} = 7.5 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ de Saturación} = \frac{7.5 \text{ mg/L}}{8.24 \text{ mg/L}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ de Saturación} = 91 \%$$

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual a 47.

*% de Saturación = 91 % ∴ de la figura 3 – 18 obtenemos el Sub<sub>9</sub> = 94*

### Índice de Calidad del Agua.

Para determinar el valor del “ICA” es necesario obtener los Sub<sub>i</sub> de distintas gráficas, dicho valor se eleva por sus respectivos w<sub>i</sub> y se multiplican los 9 resultados, obteniendo de esta manera el “ICA”.

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

$$ICA_m = (3^{0.15})(92^{0.12})(56^{0.10})(4^{0.10})(5^{0.10})(71^{0.10})(100^{0.08})(64^{0.08})(94^{0.17})$$

$$ICA_{TESIS DE ING QUIMICA} = 27.62$$

## **Anexo V - II**

Memoria de cálculo del Índice de Calidad de las Aguas del informe presentado por geólogos del mundo en el documento titulado CARACTERIZACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS, DIRECTRICES PARA LA ORDENACIÓN TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE NEJAPA.



A continuación se procede a calcular el Índice de Calidad del Agua “ICA” para los resultados obtenidos en informe presentado por geólogos del mundo en el documento titulado CARACTERIZACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS, DIRECTRICES PARA LA ORDENACIÓN TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE NEJAPA.

### **Cálculos.**

#### **Coliformes Fecales.**

Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3.

$$\text{Coliformes Fecales} = 46,000 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$$

$$\therefore \text{de la figura 3 – 10 obtenemos que el Sub}_1 = 8$$

#### **Potencial de Hidrógeno (pH).**

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 3.

$$\text{pH} = 4.64 \text{ unidades} \therefore \text{de la figura 3 – 11 obtenemos que el Sub}_2 = 16$$

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).**

Si la DBO<sub>5</sub> es mayor de 30 mg/L el (Sub<sub>3</sub>) es igual a 2.

$$\text{DBO}_5 = 3.00 \text{ mg}/\text{L} \therefore \text{de la figura 3 – 12 obtenemos que el Sub}_3 = 67$$

#### **Nitratos.**

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2.

$$\text{Nitratos} = 13.2 \text{ mg}/\text{L} \therefore \text{de la figura 3 – 13 obtenemos que el Sub}_4 = 47$$

### **Fosfatos.**

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5.

*Fosfatos = 0.47 mg/L ∴ de la figura 3 – 14 obtenemos que el Sub<sub>5</sub> = 71*

### **Temperatura.**

Para el parámetro de Temperatura (Sub<sub>6</sub>) primero hay que calcular la diferencia entre la T°Ambiente y la T°Muestra.

*ΔT = 0 °C ∴ de la figura 3 – 15 obtenemos que el Sub<sub>6</sub> = 92*

### **Turbidez.**

Si la Turbidez es mayor de 100 UNT el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5.

*Turbidez = 1.33 mg/L ∴ de la figura 3 – 16 obtenemos que el Sub<sub>7</sub> = 98*

### **Sólidos Disueltos Totales.**

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3

*Sólidos Disueltos Totales = 0.22 mg/L*

*∴ de la figura 3 – 17 obtenemos que el Sub<sub>8</sub> = 80*

### **Oxígeno Disuelto.**

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua.

*Temperatura<sub>muestra</sub> = 25 °C*

*De la Tabla 3.7 obtenemos el valor del 100% de oxígeno disuelto a 28 °C.*

*100 % de Oxígeno disuelto<sub>25°C</sub> = 8.24 mg/L*

*Oxígeno Disuelto<sub>laboratorio</sub> = 6.00 mg/L*

$$\% \text{ de Saturación} = \frac{6.00 \text{ mg/L}}{8.24 \text{ mg/L}} \cdot 100\%$$

*% de Saturación = 73 %*

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual a 47.

**% de Saturación = 73 % ∴ de la figura 3 – 18 obtenemos el Sub<sub>9</sub> = 74**

### **Índice de Calidad del Agua.**

Para determinar el valor del “ICA” es necesario obtener los Sub<sub>i</sub> de distintas gráficas, dicho valor se eleva por sus respectivos w<sub>i</sub> y se multiplican los 9 resultados, obteniendo de esta manera el “ICA”.

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

$$ICA_m = (8^{0.15})(16^{0.12})(67^{0.10})(47^{0.10})(71^{0.10})(92^{0.10})(98^{0.08})(80^{0.08})(74^{0.17})$$

$$ICA_{GEOLOGOS\ DEL\ MUNDO,\ POZO} = 43.7$$