



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN EN RECURSOS ACUÁTICOS
(CIRA-UNAN)



MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AGUA

TRABAJO DE TESIS
PARA OPTAR AL GRADO DE
MÁSTER EN CIENCIAS DEL AGUA

**“MODELAMIENTO NUMÉRICO DE LA DINÁMICA DE
FLUJO SUBTERRÁNEO DEL ACUÍFERO DE TISMA, PARA
EVALUAR LA CONECTIVIDAD ENTRE LOS LAGOS
XOLOTLÁN Y COCIBOLCA”**

Elaborado por:

Ing. Manuel Arriola Picado

Tutora: MSc. Heyddy Calderón

Asesor: MSc. Lener Sequeira

Asesor: MSc. Isaías Montoya

Asesor Externo: MSc. David Bethune

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2012

DEDICATORIA

A mi hija Madeley, por animarme en todo momento para la culminación de mis estudios y la realización del presente trabajo.

A mi madre Juana, por el apoyo en los momentos difíciles.

A mis hermanos Eduardo y Silvia por las palabras de ánimos para seguir adelante.

A la memoria de mi padre Francisco, quien estaría muy feliz de verme salir adelante.

A la compañera Lorena, quien en su momento fue de un apoyo decisivo en la idea de este estudio se le agradece mucho.

AGRADECIMIENTO

A Dr. Alejandro Rodríguez que en paz descanse, MSc Salvador Montenegro Guillén, Dr. Katherine Vammen, por permitirme realizar los estudios de Maestría en Ciencias del Agua, así como su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y el trabajo de tesis.

A mi tutora Heyddy Calderón le agradezco mucho por su excelente guía en todo el trabajo de tesis.

A mis asesores Lener Sequeira y Isaías Montoya por apoyarme y facilitarme información que sirvió mucho durante el estudio.

A David Bethune, por su apoyo como guía en la tesis y además darme la oportunidad de ser auspiciado por la Red Centroamericana de Recursos Hídricos

A Yelba Flores y Valeria Delgado, por su apoyo, durante el tiempo de estudio y aclaraciones acerca del modelo matemático.

A todos los compañeros de INETER y en especial a los compañeros de la Dirección de Recursos Hídricos por brindarme su apoyo con información y trabajo de campo que fueron muy útiles para la realización de este estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ANEXO A	vi
ANEXO B	vii
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.2.1. Características del problema.....	3
1.2.2. Delimitación del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.4. Justificación.....	4
1.5. Hipótesis de investigación.....	4
1.6. Área de estudio.....	4
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Geomorfología.....	8
2.2. Climatología.....	11
2.3. Geología.....	11
2.3.1. Grupo Coyol.....	11
2.3.2. Formación Las Sierras.....	12
2.3.3. Cuaternario aluvial.....	13
2.3.4. Cuaternario residual.....	13
2.3.5. Sedimentos volcánicos.....	14
2.4. Estructura geológica del acuífero interlagos de Tisma.....	16
2.4.1. Falla Cofradía.....	18
2.5. Suelo.....	18
2.6. Clasificación taxonómicas.....	18
2.6.1. Uso potencial del Suelo.....	21
2.6.2. Uso actual del Suelo.....	22
2.6.3. Aguas superficiales.....	24
2.6.4. Parámetros morfológicos cuenca de Tisma.....	25
2.7. Hidrogeología.....	28
2.7.1. Medio hidrogeológico.....	28
2.7.2. Profundidad del agua subterránea.....	29
2.7.3. Piezometría.....	30
2.7.4. Cuña de transición entre el Lago Xolotlán y el acuífero.....	30

2.8. Propiedades hidráulicas.....	32
2.8.1. Transmisividad.....	32
2.8.2. Coeficiente de almacenamiento.....	32
2.8.3. Capacidad específica.....	34
2.8.4. Aprovechamiento del acuífero.....	34
2.8.5. Condiciones de recarga.....	35
2.8.6. Condiciones de descarga.....	36
2.9. Hidrogeoquímica.....	36
2.9.1. Tipos hidrogeoquímicos del agua subterránea.....	36
2.9.2. Calidad del agua subterránea.....	37
2.9.2.1 Normas de potabilidad.....	38
2.9.3. Características químicas y físicas.....	38
2.9.3.1 Cationes.....	38
2.9.3.2. Aniones.....	44
2.9.4. Parámetros Físicoquímicos.....	49
2.10. Elaboración del modelo matemático del acuífero.....	57
2.10.1. Ecuación de flujo del modelo matemático del acuífero.....	57
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	60
3.1. Etapa recopilación, selección y análisis de la información existente.....	60
3.2. Etapa de investigaciones de campo.....	60
3.3. Elaboración del modelo conceptual del acuífero.....	60
3.4. Etapa del diseño del modelo.....	61
3.4.1. Calibración.....	61
3.4.2. Verificación.....	61
3.4.3. Análisis de sensibilidad.....	61
3.4.4. Presentación de resultados.....	62
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
4.1. Caracterización del acuífero.....	63
4.1.1. Extensión y geometría del acuífero.....	63
4.2. Unidades hidroestratigráficas.....	64
4.2.1. Descripción de la litología del acuífero.....	64
4.3. Distribución de los parámetros hidráulicas.....	66
4.3.1. Transmisividad.....	66
4.3.2. Conductividad hidráulica.....	68
4.3.3. Determinación de las unidades hidroestratigráficas.....	71
4.4. Basamento del acuífero.....	72
4.5. Superficie freática y piezométrica.....	74
4.6. Estimación de recarga de natural del acuífero de Tisma.....	77
4.6.1. Características de zonas de recarga.....	81
4.6.2. Zona de recarga directa 1 (ZRD1).....	86
4.6.3. Zona de recarga directa 2 (ZRD2).....	86

4.6.4. Zona de recarga directa 3 (ZRD3).....	86
4.6.5. Zona de recarga directa 4 (ZRD4).....	87
4.6.6. Estimación de la recarga artificial o de retorno.....	87
4.7 Condiciones de descarga.....	88
4.7.4. Cálculos del escurrimiento subterráneo.....	88
4.8. Caudales potenciales de extracción.....	90
4.9. Usos del agua subterránea.....	90
5. MODELO NUMÉRICO.....	91
5.1. Diseño del modelo.....	91
5.1.1. Dominio del modelo.....	91
5.1.2. Capas del modelo.....	91
5.1.3. Basamento hidrogeológico.....	93
5.1.4. Isofreáticas.....	93
5.1.5. Conductividad hidráulica.....	93
5.1.6. Fallas y fracturas.....	93
5.1.7. Coeficiente de almacenamiento.....	95
5.1.8. Zonas de recarga.....	95
5.1.9. Recarga acuífero interlagos de Tisma.....	95
5.1.10. Condiciones de frontera.....	96
5.1.11. Pozos y caudales de extracción.....	100
5.2. Calibración del modelo.....	101
5.2.1. Régimen en estado estacionario.....	101
5.2.2. Estrategia de calibración del modelo.....	102
5.2.3. Conductividad hidráulica.....	103
5.2.4. Resultados de la calibración.....	106
5.2.4.1. Superficie piezométrica.....	106
5.2.4.2. Análisis de los errores del período 2003-2011.....	108
5.2.4.3. Entradas del balance hídrico subterráneo.....	109
5.2.4.4. Salidas del balance hídrico subterráneo.....	109
5.3. Verificación del modelo.....	110
5.3.1. Niveles piezométricos.....	110
5.4. Análisis de sensibilidad del modelo.....	113
5.4.1. Análisis de sensibilidad de la recarga hídrica.....	113
5.4.2. Análisis de sensibilidad de la conductividad hidráulica.....	114
5.5. Simulaciones.....	115
5.5.1. Análisis de la recarga hídrica de los años periodo 2003-2011.....	115
5.5.2. Balance Hídrico por años húmedos y secos de los años entre 2003-2011.....	116
5.5.2.1. Entradas en el periodo 2003-2011.....	116
5.5.2.2. Salidas en el periodo 2003-2011.....	117

6. CONCLUSIONES.....	121
7. RECOMENDACIÓN.....	122
8. BIBLIOGRAFÍA.....	123

ANEXO A

Figura 1A.1 Ubicación de Perfiles litoestratigráficos en el acuífero Tisma.....	127
Figura 2A.1 Perfil hidrogeológico A-A´ del acuífero interlagos de Tisma.....	128
Figura 2A.2 Perfil hidrogeológico B-B´ del acuífero interlagos de Tisma.....	129
Figura 2A.3 Perfil hidrogeológico C-C´ del acuífero interlagos de Tisma.....	130
Figura 2A.4 Perfil hidrogeológico D-D´ del acuífero interlagos de Tisma.....	131
Figura 2A.5 Perfil hidrogeológico E-E´ del acuífero interlagos de Tisma.....	132
Figura 2A.6 Perfil hidrogeológico F-F´ del acuífero interlagos de Tisma.....	133
Figura 2A.7 Perfil hidrogeológico G-G´ del acuífero interlagos de Tisma.....	134
Figura 2A.8 Perfil hidrogeológico H-H´ del acuífero interlagos de Tisma.....	135
Figura 3.A1 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2003.....	136
Figura 3.A2 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2004.....	137
Figura 3.A3 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2005.....	138
Figura 3.A4 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2006.....	139
Figura 3.A5 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2007.....	140
Figura 3.A6 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2008.....	141
Figura 3.A7 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2010.....	142
Figura 3.A8 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2011.....	143

ANEXO B

Tabla 1.B1 Parámetros morfométricas de las microcuencas, Laguna de Tisma.....	145
Tabla 1.B2 Uso potencial de suelo del acuífero interlagos de Tisma.....	146
Tabla 1.B3 Transmisividad del acuífero interlagos de Tisma.....	147
Tabla 1.B4 Conductividades hidráulicas de la capa superior 1 (Cuaternario).....	148
Tabla 1.B5 Conductividades hidráulicas de la capa inferior 2 (Terciario).....	149
Tabla 2.B1 Balance hídrico de suelo Finca El Pantanal.....	150
Tabla 2.B2 Balance hídrico de suelo Matadero Procersa.....	151
Tabla 2.B3 Balance hídrico de suelo Finca La Tejera.....	152
Tabla 2.B4 Balance hídrico de suelo Finca La Fe.....	153
Tabla 2.B5 Balance hídrico de suelo Timal Cuadrante 137.....	154
Tabla 2.B6 Balance hídrico de suelo Finca La División.....	155
Tabla 2.B7 Balance hídrico de suelo Finca Los Mangos.....	156
Tabla 2.B8 Balance hídrico de suelo Timal Cuadrante 95.....	157
Tabla 2.B9 Balance hídrico de suelo Hacienda El Cascabel.....	158
Tabla 2.B10 Balance hídrico de suelo Finca El Chilamate.....	159
Tabla 2.B11 Balance hídrico de suelo Finca La Inca.....	160
Tabla 2.B12 Balance hídrico de suelo Finca San Jorge.....	161
Tabla 2.B13 Balance hídrico de suelo San Pedro.....	162
Tabla 2.B14 Balance hídrico de suelo Finca de UNI.....	163
Tabla 2.B15 Balance hídrico de suelo Finca El Consuelo.....	164
Tabla 2B.16 Balance hídrico de suelo Finca San Rafael.....	165
Tabla 2B.17 Balance hídrico de suelo Finca África.....	166
Tabla 2B.18 Balance hídrico de suelo Finca Santa María.....	167
Tabla 2B.19 Balance hídrico de suelo Finca El Quemado.....	168
Tabla 2B.20 Composición Hidroquímica de las aguas subterráneas del acuífero de Tisma (Pozos excavados).....	168
Tabla 2B.21 Composición Hidroquímica de las aguas subterráneas del acuífero de Tisma (Pozos perforados).....	172
Tabla 3B.1 Error medio, absoluto y medio cuadrático del período 2003-2011.....	175
Tabla 3B.2 Análisis de sensibilidad de la recarga hídrica 2003-2011.....	176
Tabla 3B.3 Análisis de sensibilidad de la recarga hídrica para los años del periodo 2003-2011.....	177
Tabla 3B.4 Análisis de sensibilidad de la zona de recarga 1.....	178
Tabla 3B.5 Análisis de sensibilidad de la zona de recarga 2.....	178
Tabla 3B.6 Análisis de sensibilidad de la zona de recarga 3.....	178

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Datos socioeconómicos y ambientales del área de estudio.....	7
Tabla 2.1 Columna litoestratigráfica del acuífero interlagos de Tisma.....	14
Tabla 2.2 Uso actual de suelo del acuífero interlagos de Tisma.....	22
Tabla 2.3 Parámetros geomorfológicos del acuífero interlagos de Tisma.....	25
Tabla 2.4 Coeficientes de almacenamiento del acuífero interlagos de Tisma.....	32
Tabla 2.5 Recarga total del acuífero interlagos de Tisma.....	35
Tabla 2.6 Concentración Máxima Permitida para el Uso del Agua Potable (CAPRE).....	38
Tabla 4.1 Evapotranspiración potencial del acuífero interlagos de Tisma (1979-2009).....	77
Tabla 4.2 Precipitación mensual (mm) del acuífero interlagos de Tisma (1979-2009).....	77
Tabla 4.3 Propiedades físicas de los suelos del acuífero interlagos de Tisma.....	77
Tabla 4.4 Parámetro de entradas para el balance hídrico de suelo y sus recargas potenciales obtenidas.....	80
Tabla 4.5 Uso y cobertura del suelo en el acuífero interlagos de Tisma.....	83
Tabla 4.6 Balance hídrico de suelos del acuífero interlagos de Tisma.....	84
Tabla 4.7 Recarga media anual del acuífero interlagos de Tisma.....	85
Tabla 4.8 Escurrimientos parciales del acuífero interlagos de Tisma.....	89
Tabla 5.1 Porcentajes de recarga hídrica utilizadas en el modelo numérico.....	96
Tabla 5.2 Características físicas del cauce del River.....	100
Tabla 5.3 Características físicas del cauce del drain.....	100
Tabla 5.4 Recarga calculada y la recarga usada en el modelo.....	102
Tabla 5.5 Valores de conductividad hidráulica para la calibración del modelo.....	103
Tabla 5.6 Conductividad vertical y horizontal de la capa somera.....	102
Tabla 5.7 Conductividades vertical y horizontal de la capa profunda.....	105
Tabla 5.8 Errores medio, absolutos y medio cuadrático del período 2003-2011.....	108
Tabla 5.9 Balance hídrico subterráneo 2003-2011 del acuífero interlagos de Tisma.....	110
Tabla 5.10 Recarga hídrica para el año 2009 del acuífero interlagos de Tisma.....	110
Tabla 5.11 Errores medio, absolutos y medio cuadrático para el año 2009.....	112
Tabla 5.12 Errores del período 2003-2011 vs año 2009.....	112
Tabla 5.13 Resultado del análisis de sensibilidad.....	114
Tabla 5.14 Errores medio, absolutos y medio cuadrático de la simulación de los años secos y húmedos del 2003-2011.....	115
Tabla 5.15 Balance hídrico subterráneo para los años del periodo 2003-2011.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación del área de estudio.....	6
Figura 2.1 Provincias geoestructurales de Nicaragua.....	9
Figura 2.2 Geomorfología del acuífero interlagos de Tisma.....	10
Figura 2.3 Geológica del acuífero interlagos de Tisma.....	15
Figura 2.4 Estructuras geológicas del acuífero interlagos de Tisma.....	17
Figura 2.5 Orden de suelo del acuífero interlagos de Tisma.....	19
Figura 2.6 Textura de suelo del acuífero interlagos de Tisma.....	20
Figura 2.7 Uso Potencial de suelo del acuífero interlagos de Tisma.....	21
Figura 2.8 Uso actual de suelo del acuífero interlagos de Tisma (Ineter).....	23
Figura 2.9 Microcuenca tributarias de la Subcuenca Tisma.....	24
Figura 2.10 Perfil Longitudinal del lecho del Río Tipitapa.....	26
Figura 2.11 Curva de descarga del Río Tipitapa.....	27
Figura 2.12 Registro de niveles estación Los Terales.....	27
Figura 2.13 Profundidad del agua según Krasny, 1995.....	29
Figura 2.14 Piezometría del agua subterránea según Krasny, 1995.....	31
Figura 2.15 Transmisividades del acuífero interlagos de Tisma.....	33
Figura 2.16 Extracciones de agua subterránea en el acuífero interlagos de Tisma.....	34
Figura 2.17 Hidrogeoquímica del acuífero interlagos de Tisma.....	37
Figura 2.18 Valores de calcio de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	39
Figura 2.19 Valores de calcio de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	39
Figura 2.20 Valores de potasio de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	40
Figura 2.21 Valores de potasio de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	40
Figura 2.22 Valores de sodio de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	41
Figura 2.23 Valores de sodio de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	42
Figura 2.24 Valores de magnesio de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	43
Figura 2.25 Valores de magnesio de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	43
Figura 2.26 Valores de bicarbonato de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	44
Figura 2.27 Valores de bicarbonatos de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	45
Figura 2.28 Valores de cloruros de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	46
Figura 2.29 Valores de cloruros de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	46
Figura 2.30 Valores de sulfato de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	47
Figura 2.31 Valores de sulfato de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	47
Figura 2.32 Valores de nitrato de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	48
Figura 2.33 Valores de nitrato de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	49
Figura 2.34 Valores de temperatura de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	50
Figura 2.35 Valores de temperatura de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	50
Figura 2.36 Valores de conductividad eléctrica de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	51
Figura 2.37 Valores de conductividad eléctrica de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	52
Figura 2.38 Valores de sólidos disueltos totales de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	52
Figura 2.39 Valores de sólidos disueltos totales de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	53

Figura 2.40 Valores de pH de los pozos excavados del acuífero de Tisma.....	54
Figura 2.41 Valores de pH de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	54
Figura 2.42 Valores de dureza total del pozos excavados del acuífero de Tisma.....	55
Figura 2.43 Valores de dureza total de los pozos perforados del acuífero de Tisma.....	56
Figura 2.44 Volumen elemental representativo del acuífero.....	58
Figura 4.1 Distribución de las capas permeable en el acuífero interlagos de Tisma.....	65
Figura 4.2 Pruebas de bombeo y el espesor de la capa de arena.....	67
Figura 4.3 Conductividades hidráulicas de la primera capa del modelo.....	69
Figura 4.4 Conductividades hidráulicas de la segunda capa del modelo.....	70
Figura 4.5 Unidades hidroestratigráficas del acuífero interlagos de Tisma.....	71
Figura 4.6 Vista tridimensional del basamento hidrogeológico del acuífero de Tisma.....	72
Figura 4.7 Basamento hidrogeológico del acuífero de Tisma.....	73
Figura 4.8 Piezometría del acuífero interlagos de Tisma.....	75
Figura 4.9 Profundidad del agua subterránea del acuífero de Tisma.....	76
Figura 4.10 Zonas de recarga del acuífero interlagos de Tisma.....	82
Figura 4.11 Tubos de Darcy del acuífero interlagos de Tisma.....	89
Figura 5.1 Distribución de la malla y dominio del modelo en superficie.....	92
Figura 5.2 Capas del acuífero interlagos de Tisma.....	92
Figura 5.3 Conductividad hidráulica iniciales para la capa 1 (Cuaternario).....	94
Figura 5.4 Conductividad hidráulica iniciales para la capa 2(Terciario).....	94
Figura 5.5 Zonas de recarga calculada para el período 2003-2011.....	95
Figura 5.6 Sección Transversal del puente El Diablo, Río Tipitapa.....	97
Figura 5.7 Sección Transversal San Juan de la Plywwod, Río Tipitapa.....	97
Figura 5.8 Sección Transversal 2 km antes de la Laguna de Tisma, Río Tipitapa.....	98
Figura 5.9 Sección Transversal de la finca El Amparo, Río Tipitapa.....	98
Figura 5.10 Sección Transversal del Paso Panaloya, Río Tipitapa.....	99
Figura 5.11 Sección Transversal desembocadura del Río Tipitapa al Lago Cocibolca.....	99
Figura 5.12 Pozos de extracción en el acuífero Interlagos de Tisma.....	101
Figura 5.13 Zonas de recarga utilizadas en la calibración del Modelo.....	103
Figura 5.14 Conductividades hidráulicas calibradas de la capa somera.....	104
Figura 5.15 Conductividades hidráulicas calibradas de la capa profunda.....	105
Figura 5.16 Pozos de observación utilizados en el período (2003-2011).....	107
Figura 5.17 Líneas piezométricas calculadas para el período (2003-2011).....	107
Figura 5.18 Cargas calculadas vs. observadas para el período (2003-2011).....	109
Figura 5.19 Pozos de observación para el período de monitoreo 2009.....	111
Figura 5.20 Verificación de carga hidráulico época 2009.....	112
Figura 5.21 Perfil de la cuña de transición entre el Lago Xolotlán y el acuífero de interlagos.....	113
Figura 5.22 Análisis de sensibilidad de la zona de recarga hídrica 1 del acuífero interlagos de Tisma..	114
Figura 5.23 Zonas y caudales de descargas del acuífero interlago de Tisma.....	118
Figura 5.24 Simulación del flujo subterráneo para el período 2003-2011.....	119

RESUMEN

El área de estudio abarca principalmente del acuífero interlagos de Tisma aproximadamente 15 km al este de Managua, entre el área de descarga del Lago Xolotlán y Cocibolca, en la Depresión Nicaragüense, cuenca hidrológica (69) del Río San Juan, una de las más importantes del país por su extensión y potencial hidrológico. Tiene una superficie de 758 km² aproximadamente, con 37.9 km y 34.4 km de largo y ancho, respectivamente. El objetivo general de este estudio es determinar la dinámica de flujo subterráneo entre los Lagos Xolotlán y Cocibolca utilizando un modelo matemático. Este estudio se justifica por la necesidad de preservar el Lago Cocibolca como nuestra principal reserva de agua de la cual depende la subsistencia de las generaciones futuras de nicaragüenses. La posibilidad de ocurrencia de un flujo de agua superficial y subterráneo entre el Lago Xolotlán y Cocibolca es de mucha preocupación ya que se estaría causando contaminación al Lago Cocibolca.

El área del acuífero de Tisma se sitúa en la provincia geomorfológica de la Depresión Nicaragüense que es un valle de relieve suave, específicamente en la planicie de Tipitapa. Dicha planicie, es parte de una cuenca sedimentaria originada durante el cuaternario. La superficie del terreno de la planicie presenta una inclinación de pendiente moderada, en dirección al Lago Xolotlán, Río Tipitapa y el Lago de Nicaragua

En el acuífero se presentan diversas unidades geológicas como son: grupo Coyoil (Tpcd), grupo Las Sierras (TQps), depósitos cuaternarios aluvial (Qal) y depósito cuaternario residual (Qr). Para efectos del modelo numérico, fue posible asumir el basamento hasta 250-290m de profundidad, basado en estudios realizados en el área de estudio con técnicas electromagnético y litología de pozos.

En total son seis tipos de agua en área de estudio.: Aguas, bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas cálcica magnésicas, bicarbonatadas cálcica-sódicas, bicarbonatadas sódicas-cálcicas, bicarbonatadas sódicas, Cloruradas magnésicas. Los parámetros hidráulicos analizados fueron transmisividad con una variación de 10-1000 m²/día, la capacidad específica varía entre 3-5 m³/h/m y 56.6 m³/h/m y el coeficiente de almacenamiento de 1*10⁻⁶ a 0.2, indicando que el acuífero es libre. Por medio del balance hídrico de suelo se determinó el potencial de explotación del recurso hídrico subterráneo del cual resulta la recarga total del acuífero de 54.41 MMC/año. El recurso hídrico superficial está constituido por el Lagos Xolotlán y Cocibolca y el río Tipitapa

Con el programa de modelo Visual Modflow; se simuló, las condiciones del acuífero en estado estacionario. El promedio de los años del 2003-2011 se tomó como condición natural y 2009, sirvieron para la verificación del modelo. El error medio de calibración es de 0.45m. El análisis de sensibilidad dio como resultado que tanto la conductividad hidráulica como la recarga son sensibles a los cambios

Se determinó que a la disminución de la recarga y el incrementos del nivel del Lago Xolotlán provoca un aumento de la cuña de transición entre los dos cuerpos de agua el Lago Xolotlán y el acuífero, lo que aumentaría el riesgo de contaminación de agua del lago,. La implementación del modelo matemático como herramienta de estudio ha permitido conocer el comportamiento del flujo de agua subterránea y determinar que en las condiciones actuales no hay contaminación del acuífero, pero si hay un flujo constante del río Tipitapa al lago Cocibolca que aumentaría este riesgo.

1. INTRODUCCIÓN

Nicaragua es un país especialmente privilegiado en cuanto a recursos hídricos, cuenta con 38,668 m³/cápita/año (FAO-Aquastat, 2003), lo que posiciona al país por encima del promedio para los países de Centroamérica. A pesar de ello, la contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos ha tenido un gran impacto en la disponibilidad, la calidad de vida de los habitantes de las zonas urbanas y rurales (CIRA/UNAN, 2009). Esto ha causado deterioro de sus entornos naturales, disminuyendo áreas fértiles, y aumentando daños a la salud humana; siendo la principal fuente de contaminación la actividad antropogénica.

El Río Tipitapa constituye una cuenca hidrográfica denominada Subcuenca Tisma, que es la principal fuente de drenaje entre los dos lagos. Está forma un ensanchamiento y acumulación hídrica significativa en el sitio denominado Charco de Tisma cercano al pueblo del mismo nombre. Permanece varios meses desbordado inundando áreas llanas del sector (INETER, 2011).

La cuenca hídrica del Río Tipitapa se encuentra en la cuenca No. 69, presenta una extensión de 618 km², cuyo drenaje principal desemboca en el Lago Cocibolca, ubicado dentro de una zona predominantemente agrícola y ganadera de gran importancia económica para el país. La agricultura hace uso tanto de las aguas superficiales como subterráneas para la irrigación de cultivos, entre los que destacan plátano, arroz y pastizales. En el período seco se observa disminución del caudal por la disminución del nivel del Lago Xolotlán. Esto provoca la necesidad de utilizar más el riego de las fuentes subterráneas y superficiales (INETER, 2011).

El Cocibolca constituye la solución estratégica del suministro de agua para consumo humano para buena parte de las poblaciones del Pacífico y centro del país. También puede ser usada en irrigación. Es uno los reservorios de agua superficial más grande de Centroamérica. Tiene una disponibilidad para irrigación de 15,800 MMC. Sin embargo, es un agravante que puede estar siendo contaminado por el Lago Xolotlán (ENACAL, 2007).

El Lago de Nicaragua (Cocibolca) se alimenta de numerosos ríos incluyendo al Río Tipitapa, el cual a su vez se alimenta del Lago de Managua (Xolotlán) (ENACAL, 2007). La conexión superficial del Lago Xolotlán con el Lago Cocibolca a través del Río Tipitapa se produce en forma intermitente. Durante el siglo XX este río descargó las aguas del Lago Xolotlán en seis ocasiones, todas ligadas a lluvias torrenciales. En el año 1933 la elevación máxima histórica del nivel de las aguas del Lago de Managua fue de 43.44 (INETER, 2011).

Hay una clara tendencia en el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos secos y húmedos provocados por el Niño y la Niña, combinado con el creciente aumento y recurrencia de los eventos meteorológicos de diversas índoles, tormentas tropicales, depresiones, huracanes, zona de convergencia, etc. Estos elementos nos hace pensar que los cambios en el clima están impactando significativamente en el país y continuarán aumentando en fuerza y recurrencia, paralelo a la degradación de los ecosistemas. Por tal razón es importante tomar en consideración que el incremento del nivel del lago, puede ser más recurrente e intenso en los próximos años.

www.climayambiente.blogspot.com

Este comportamiento climático podría afectar el balance hídrico de las aguas superficiales y posiblemente los flujos subterráneos local y regional del acuífero con una dirección de flujo hacia el Lago de Nicaragua.

1.1 Antecedentes

El proceso acelerado de deforestación de la cuenca del Lago Xolotlán, ha permitido aumento de la escorrentía superficial y del transporte de gran cantidad de sedimentos debido al lavado de suelos, los cuales se acumulan en dicho cuerpo de agua. Otro factor de riesgo para el lago son las aguas residuales vertidas por la ciudad capital por más de 50 años en el lago sin recibir ningún tratamiento, agravado por la significativa cantidad de desechos sólidos debido a los deficientes hábitos culturales en el manejo del mismo por la población.www.climayambiente.blogspot.com

La cuenca del Lago de Managua funciona como un sistema cerrado significa peligro con posibles consecuencias ambientales graves para el futuro, el aporte de aguas subterráneas y superficiales significa también aporte de sales disueltas los cuales se quedan en el lago mientras el agua se pierde por evaporación. Según datos recientes dentro de cien años los sólidos disueltos en el agua del lago aumentarían a uno 3 g/l (Krasny,1995).

El Lago Xolotlán recibe un aporte total de 950 MMC anuales, tanto del escurrimiento superficial como del escurrimiento subterráneo, y pierde por evaporación aproximadamente 840 MMC (MARENA, 2001).

En 1927, se da inicio a la contaminación progresiva con desechos provenientes de la descarga de aguas domesticas de los pobladores capitalinos (que en 1982 eran 728,000 habitantes con un 70% estaba conectado al servicio de alcantarillado), es decir, que 70,000 libras de materia orgánica recibía el Xolotlán para esa fecha (IRENA, 1981).

Hasta inicio del pasado siglo (1910) existía una comunicación natural entre los Lagos Cocibolca y Xolotlán, a través del caudaloso Río de Tipitapa, a través del cual navegaron barcos que transportaban mercancías y personas desde el Mar Caribe, pasando por el Lago Cocibolca, luego por el Xolotlán, hasta San Francisco del Carnicero (hoy San Francisco Libre) hasta llegar a Managua. www.climayambiente.blogspot.com

El Lago de Nicaragua recibe unos 100 MMC provenientes de Lago de Managua cuando éste sobrepasa la cota 40.73 msnm, como lo ocurrido en el Huracán Mitch (MARENA, 2001).

De acuerdo con cifras emitidas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), para el periodo lluvioso 2004 el caudal de trasvase es del orden es unos 80 m³/seg.

www.oas.org/sanjuan/spanish/documentos/adt/informacion/agua.html

La zona norte del acuífero interlagos de Tisma se ha caracterizado por practicar agricultura intensiva de monocultivos como la algodón, caña de azúcar (cuando esta área era abarcado por el Ingenio Victoria de Julio durante los años 80) y actualmente la mayoría del área está siendo utilizada para el cultivo de arroz, donde se utilizan plaguicidas de forma intensiva para controlar las plagas convirtiéndose en fuentes de contaminación para el acuífero. (INETER, 2011).

La parte sur de la cuenca Tisma abarca una serie de humedales (SITIO RAMSAR N° 1141), ubicados entre Managua y Granada; con un área de 16,850 ha. Son ecosistema asociado con la orilla noroeste del Lago de Nicaragua. Estos proveen agua para regar el pasto del ganado, cultivo de arroz, e irrigación, recargar los acuíferos, regula inundaciones, retiene los sedimentos y contaminantes y abriga una cantidad de aves migratorias. Los habitantes del lugar se benefician con la carne y peces, además obtienen hilos para fabricar pañuelos, abanicos y otras artesanías. (GTH-NI, 2002).

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Características del problema

El incremento de niveles del Lago Xolotlán en los últimos años podría provocar un flujo de agua superficial y subterránea de pobre calidad hacia el Lago Cocibolca a través del río Tipitapa.

1.2.2 Delimitación de problema

El aumento del nivel del agua del Lago Xolotlán implica una conexión subterránea con el Cocibolca y por ende transporte de contaminantes a través del canal del río y su área de influencia.

1.3 Objetivos

Objetivos General:

- Determinar la dinámica de flujo subterráneo entre los Lagos Xolotlán y Cocibolca utilizando un modelo matemático.

Objetivos Específicos:

- Interpretar el sistema hidrológico e hidrogeológico de cuenca mediante un modelo conceptual.
- Investigar el régimen de flujo subterráneo a través de un modelo matemático.
- Investigar los efectos de la variabilidad climática en el régimen de flujo.

1.4 Justificación

El Lago Cocibolca es nuestra principal reserva de agua de la cual depende la subsistencia de las generaciones futuras de nicaragüenses. Su protección debe ser una prioridad (Ley 620: Ley General de Aguas Nacionales). La posibilidad de ocurrencia de un flujo de agua superficial y subterráneo entre el Lago Xolotlán y Cocibolca es de mucha preocupación ya que se estaría causando contaminación al Lago Cocibolca. Lo anterior, justifica la necesidad de un conocimiento de la velocidad y dirección del flujo superficial y profundo en las condiciones actuales mediante un estudio hidrogeológico a detalle, así como la implementación de un modelo matemático de flujo subterráneo que ayude a caracterizar el comportamiento del acuífero.

1.5 Hipótesis de investigación

Si se incrementa el gradiente entre los Lagos Cocibolca y Xolotlán entonces hay un aumento en el flujo subterráneo local y regional incrementando la posibilidad de una conectividad hidráulica entre el acuífero y los lagos.

1.6 Area de estudio

El área del acuífero interlago de Tisma está situada aproximadamente 15 km al este de Managua, capital de Nicaragua, en la vertiente pacífica de Nicaragua, entre el área de descarga de los Lagos Xolotlán y Cocibolca, en la depresión Nicaragüense, cuenca hidrológica (69) del Río San Juan, una de las más importantes del país por su extensión y potencial hidrológico.

Limita al norte con el municipio de Las Banderas, hacia el sur con los municipios Masaya y Granada, al este con el gran Lago de Nicaragua y al oeste con el poblado de Tipitapa y el Lago Xolotlán, Tiene una superficie de 758 km²

aproximadamente, con 37.9 km y 34.4 km de largo y ancho, respectivamente (Figura 1.1).

La cuenca del Río Tipitapa según las cifras oficiales del censo de población (INIDE, 2005), tiene una población de 136,529 habitantes. La principal actividad económica en la región es la agricultura los principales cultivos eran el arroz, maní, sorgo, ajonjolí, maíz, frijoles y hortalizas (Tabla 1.1) (INIFOM, 2009).

La cuenca de los grandes lagos o cuenca del Río San Juan, conformada por los lagos Managua y Nicaragua y el Río San Juan, con una extensión de 41.454 Km² (INETER, 1984). El Lago Xolotlán tiene una superficie de aproximadamente 1,016km², con una profundidad promedio de 7.8 m, y una máxima de 26 m. El promedio estimado del volumen del lago es de 7,970 MMC. La elevación promedio es de aproximadamente 39 msnm. La máxima es de 43.44 m y la mínima de 35.6 m (ENACAL, 2007).

El Lago de Nicaragua tiene una superficie aproximada de 8,157 km², una profundidad promedio de 13.2 m y una máxima de 60 m. Su volumen se estima en 108,000 MMC. La elevación normal del Lago de Nicaragua oscila entre 31 y 32 msnm, la cual varía con las estaciones. La elevación máxima es de 33.13 m y la mínima de 30.73 m (ENACAL, 2007). Recibe el aporte de unos 45 ríos, que totalizan un área de drenaje de 17300 km², para un volumen de escorrentía de 14,000 MMC. El aporte promedio proveniente de los acuíferos localizados en el entorno al lago, se ha estimado en 450 MMC. El aporte de escorrentía que escapa hacia el Océano Atlántico a través del río San Juan es de uno 460 m³/s (MARENA, 2001).

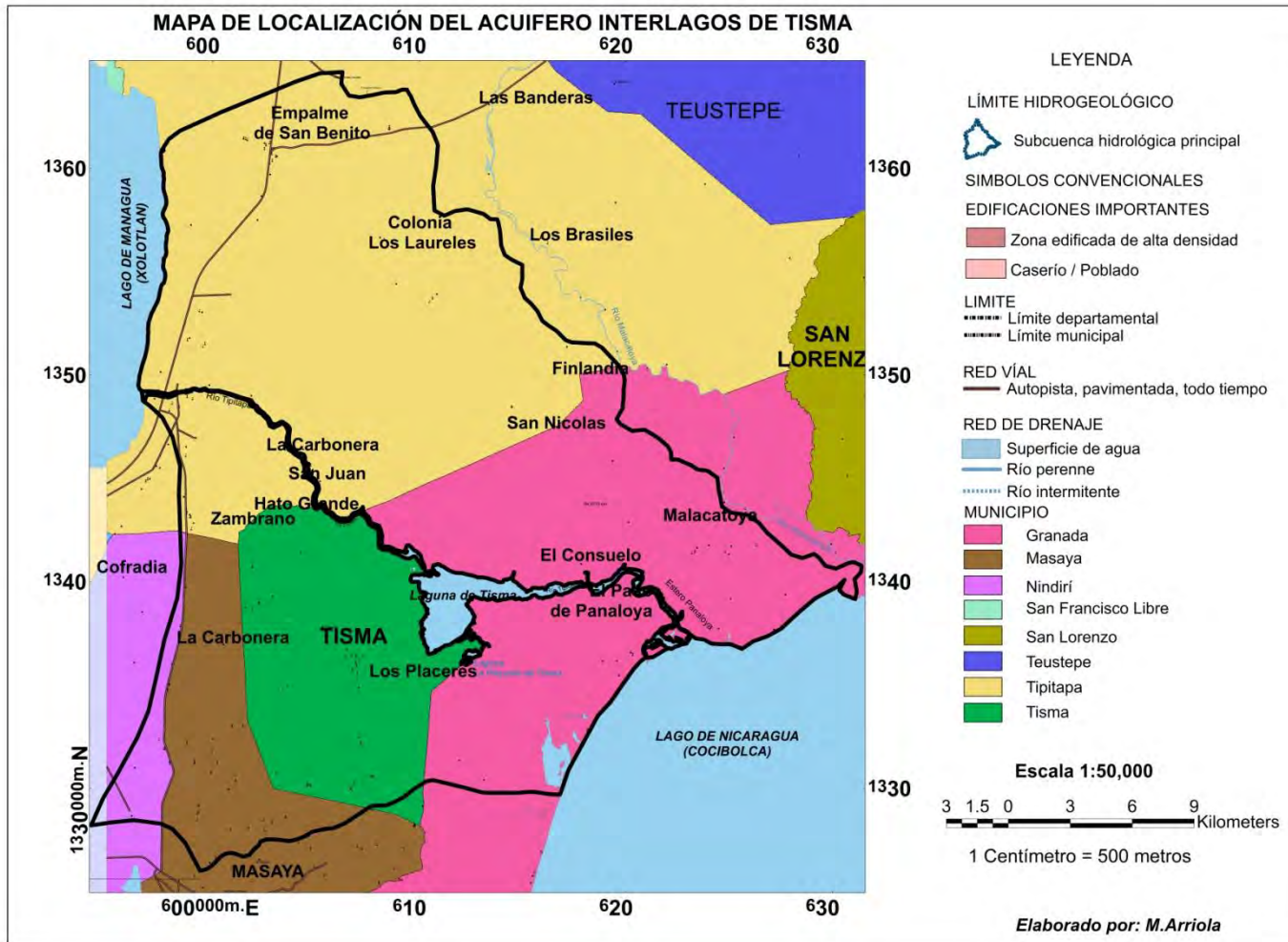


Figura 1.1 Ubicación del área de estudio

Tabla 1.1 Datos socioeconómicos y ambientales del área de estudio

Municipio	Area del municipio en la cuenca (km2)	Porcentaje del area del municipio en la cuenca (%)	Densidad poblacion (hab/km ²)	Poblacion del municipio en la cuenca (hab)	Uso potencial del suelo	Desarrollo Agrícola	Principales Problemas en el area	Calidad ambiental
Tipitapa	215.8	25	112	24,080	Ganadería de carácter extensivo y de cultivos de pastos	Ganadería de carácter extensivo y de cultivos de pastos,ajonjolí, sorgo,maíz, yuca.	Existen caminos de todo tiempo que se encuentran en mal estado, malas condiciones de las calles adoquinadas del sector urbano, falta de financiamiento y la utilización de maquinaria obsoleta disminuye la jornada laboral, falta de cobertura del servicio de agua potable, alto déficit de letrinas a nivel municipal	Despalme indiscriminado, flora y fauna se encuentran en peligro de extinción.
Granada	224.8	40	180	40,464	Ganado de engorde y lechero	Ganadería, granos básicos, musaceas	Falta de transporte público urbano y rural.	Despalme a orilla de ríos, contaminación de suelos y ríos por insecticidas y fertilizantes, descarga de aguas provenientes del Lago Xolotlan hacia el Lago Cocibolca
Tisma	123.5	98	105	12,967	Ganado de engorde y lechero	Granos básicos y hortalizas	Poco desarrollo por la falta de financiamiento y tecnología, escasez de insumos, no se les otorga créditos a los artesanos	La transformación de los bosques secundarios en campos agrícolas y pastizales y el uso de agroquímicos en tomateras, cañaverales y arrozales vecinos
Masaya	53.5	36	991	53,018	Cultivos frutales y arboles latifolia	Yuca, granos básicos, mani, soya	Existen caminos de todo tiempo que se encuentran en mal estado, alto déficit de letrinas a nivel municipal	Fuerte contaminación de la Laguna de MASAYA

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico regional (Fenzel, 1989), Nicaragua puede ser dividida en cinco provincias geomorfológicas principales:

- a- Planicie Costera del Pacifico
- b- Cordillera Volcánica del Pacifico
- c- Depresión Nicaragüense
- d- Tierras Altas del Interior
- e- Planicie o Llanura Costera del Atlantico

El área del acuífero de Tisma se sitúa en la provincia geomorfológica de la depresión Nicaragüense que es un valle de relieve suave de 30 a 45 km de ancho que se extiende desde la frontera con Costa Rica hasta el golfo de Fonseca. Al este se encuentra limitada por la región central (Tierras Altas del Interior) y el sur y suroeste llega al pie oriental de la cadena volcánica. Dentro del valle, se encuentran elevaciones de pocos metros hasta alcanzar altitudes de más de 100m. Las zonas más bajas de la depresión están ocupadas por el Lago de Managua(38m) y el Lago Cocibolca(31m). Dicha unidad está constituida por las siguientes subprovincias geomorfológicas: Llanos Nagrandanos, Llanos del Noroeste, Llanos de Rivas, Llanos de Tipitapa, Llanos de Mayales y Llanos de San Carlos.

La planicie o llanos de Tipitapa, es parte de una cuenca sedimentaria originada durante el cuaternario. La superficie del terreno de la planicie presenta una inclinación de pendiente moderada, en dirección al Lago Xolotlán, Río Tipitapa y el Lago de Nicaragua. En la planicie las elevaciones topográficas varían entre 30 msnm (inmediaciones de la Laguna de Tisma y sectores costaneros del Lago de Nicaragua) y 106.5 msnm (vecindades de la población Las Banderas (PROCONSULT, 1984).

Las playas antiguas del Lago Xolotlán, constituye una zona de pendiente casi nula, que se extiende a lo largo de la costa del lago referido. Esta zona, debido a la baja pendiente del terreno, el tipo de suelo y la profundidad mayormente somera del agua subterránea, constituye una zona pantanosa hasta muy avanzada la estación seca. La llanura aluvial, ocupa los sectores nororientales y surorientales de la planicie, sectores donde las elevaciones topográficas son de medias a bajas, hasta llegar a la costa del Lago de Nicaragua, alcanzando el curso medio e inferior del Río Tipitapa. En los sectores costaneros del Lago de Nicaragua, es notoria la presencia de playas inundadas, pantanos, terrenos anegados, pendientes pequeñas, pequeñas lagunas y charcos. (PROCONSULT, 1984).

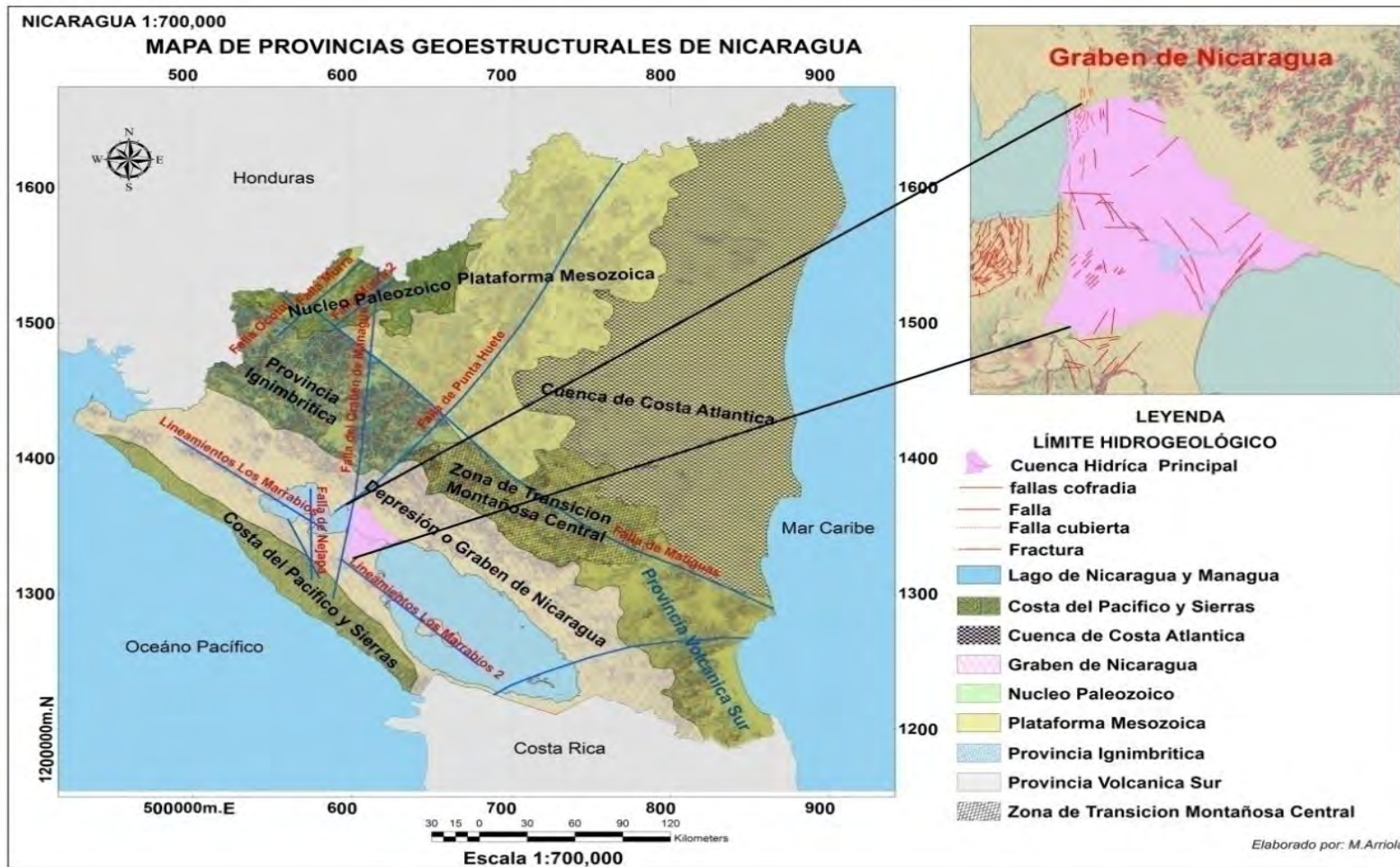


Figura 2.1 Provincias Geoestructurales de Nicaragua

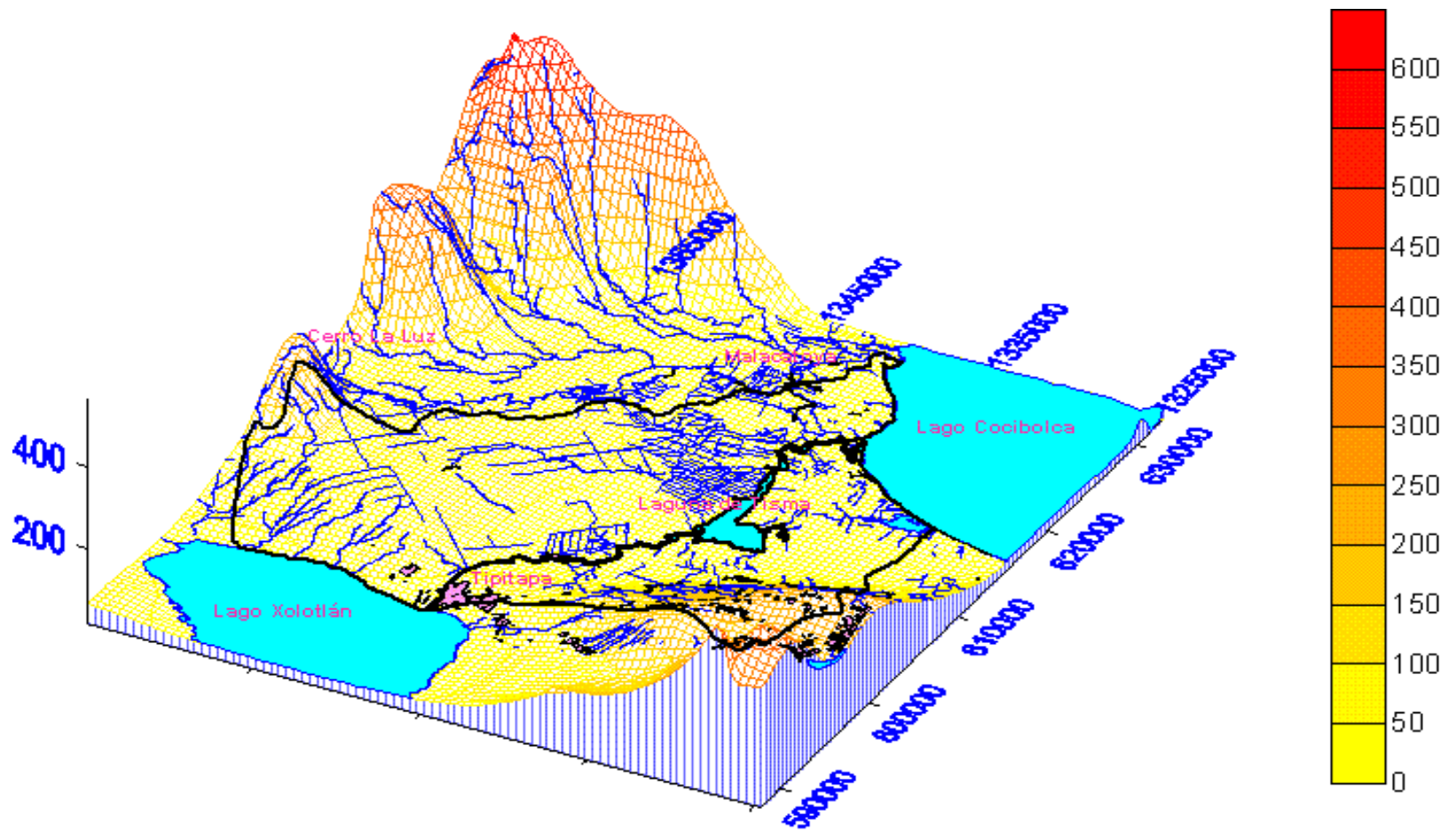


Figura 2.2 Geomorfología del acuífero interlagos de Tisma

2.2 Climatología

De acuerdo a la clasificación de Koppen (1928) modificado, el clima del área de estudio se conoce como de Sabana Tropical (Aw). Los valores de evaporación anual (en la cuenca del Lago Managua) oscilan entre 2300 y 2700 mm (INETER, 2010).

El clima de la planicie estudiada se caracteriza por tener precipitaciones y humedad relativamente bajas, temperatura y evaporación alta. La distribución de las lluvias en el año origina dos estaciones o períodos. Un período lluvioso que va de Mayo a Octubre (donde cae el 90% de la precipitación promedio anual en la planicie) y otro período rigurosamente seco que se extiende de Noviembre a Abril; dentro del cual se producen tormentas ocasionales de baja intensidad y breve duración con cantidad de lluvia caída de tan solo el 10% de la precipitación total anual. Hay gran variación en la lluvia durante el mismo año, como también de un año a otro y la poca precipitación provoca problemas para la producción agrícola. La variabilidad de las precipitaciones es característica del acuífero. La precipitación promedio para los años 1958-1982 es de 1042 mm y la precipitación anual mínima fue de 640 mm (1972) y la máxima de 1438 mm (1969). Las temperaturas medias oscilan entre 27.8°C y 30.9°C. En la estación lluviosa la humedad relativa alcanza los valores más altos, mientras que la evaporación y la temperatura presentan los valores más bajos. En la estación seca la humedad relativa es más o menos el 29 % más baja que en la estación lluviosa mientras que la evaporación y la temperatura en esta estación toman sus valores más altos (PROCONSULT, 1984).

2.3 Geología

Las unidades geológicas reconocidas en el área estudiada y sus alrededores, enumerados de la más antigua a la más reciente son: Grupo Coyol (Tpcd), Grupo Las Sierras (TQps), Depósitos Cuaternarios aluvial (Qal) y Depósitos Cuaternarios residual (Qr).

2.3.1. Grupo Coyol (Tpcd)

De edad mioceno superior –plioceno, forma la unidad basal en los sectores norte y noreste de la planicie, está constituido por una secuencia de rocas volcánicas compuestas de aglomerados andesíticos, basaltos, piroxeno, ignimbritas y lavas basálticas (Tabla 2.1). Esta formación se encuentra asentada en los sectores de San Roque, Empalme de San Benito, comarca Los Laureles (INETER, 2010)

2.3.2. Formación Las Sierras (TQps)

En la zona de Masaya, Tipitapa y Tisma se pueden encontrar materiales volcánicos del plio-pleistógeno, denominados el grupo Las Sierras, según resultados de una perforación, el Grupo tiene potencia de 200m, que se estima sea el espesor mínimo del grupo (Naciones Unidas, 1975)

La formación geológica Las Sierras (Figura 2.3), se encuentra aflorando de manera dispersa por varios sitios a lo interno y fuera del área de estudio: forma parte de las costas del Lago Xolotlán, aflora en sectores aislados de lo que antes fue el ingenio Timal, en el lecho del río Tipitapa, al sureste de la laguna de Tisma y se muestra muy meteorizada en las riberas del río casi en su desembocadura en el Cocibolca, así como en la base del puente cerca de los termales de Tipitapa, todos estos afloramientos son de poca extensión, los que pueden alcanzar 1 km² (Tabla 2.1).

El Grupo Las Sierras es de edad más reciente y se encuentra superpuesto a la formación El Salto. Está constituido por piroclastos gruesos en parte meteorizados y con cierta compactación de lapilli, pómez, tobas líticas blandas y tobas aglomeráticas con intercalaciones arenosas de granulometría media a fina y en ocasiones se observa material escoriáceo (Fenzel, 1989).

La **toba volcánica** o **tufo volcánico** es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica, muy común la presencia en éstas, de ceniza lapilli, fragmentos de arena volcánica y escoria volcánica negra así como granos de pisolitos redondeados.

Se presenta al mismo tiempo en bloques separados por diaclasamiento como el afloramiento de toba que se encuentra en la base del puente en el Río Tipitapa en el área de los baños termales. Toba limo arcillosa del grupo Las Sierras en la ribera sur del Río Tipitapa muy próximo a la desembocadura al Lago Cocibolca. Este afloramiento tiene una longitud aproximadamente de 50 m se encuentra diaclasado y en bloques desprendidos hasta de medio metro de diámetro, su estado es de fuerte meteorización fácil de desprender o diseminar partículas por efectos de lixiviación (INETER, 2010).

2.3.3 Cuaternario aluvial (Qal)

Estos sedimentos ocupan el área circundante de la laguna de Tisma (Figura 2.3) hasta las costas del gran Lago de Nicaragua. Se extienden hacia el noreste y sur del paso de Panaloya, y disminuyen su extensión a medida que se aproxima a la ciudad de Granada, conservándose en áreas de las comarcas Malacatoya y San Ramón, cuya escasa elevación en relación con el espejo del lago, las hace vulnerable a inundaciones en períodos de lluvia (Tabla 2.1).

La composición litológica que conforma esta sedimentación, en sectores con cultivos, es generalmente arenosa color pardo claro a pardo oscuro, de granulometría gruesa en combinación con limos y poca arcilla; así como de la presencia en la matriz, de gravas subangulares a subredondeadas hasta de ¼ de pulgadas de diámetro. En las secciones costeras cerca de la rivera del lago, la granulometría de la arena es fina color gris y algo de limo, predominando siempre el material de grano medio a fino. Por el sector de Palo Verde, La Montañita, Los Capulines, San Antonio, entre Palo Bonito Santa Rosa y San Pedro, la superficie del suelo es mas limo arcilloso que arenoso (INETER, 2010).

2.3.4 Cuaternario residual (Qr)

Ocupa la mayor extensión del estrecho (Figura 2.3), se extiende desde el extremo este de la ciudad de Tipitapa hasta las inmediaciones del poblado Las Banderas, por el norte se aproxima a la comunidad de San Benito y hacia el sur llega un poco más al sur del paso Panaloya en dirección a la ciudad de Granada, y ocupa la totalidad de las áreas de plantaciones de caña del antiguo ingenio Timal (Tabla 2.1).

La presencia de estos sedimentos se debe a los residuos que han dejado las constantes crecidas y/o inundaciones de parte de los dos cuerpos Cocibolca y el Xolotlán en el área de la depresión nicaragüense.

Su principal composición es limo arcilloso color pardo a café claro y suprayacen las tobas consolidadas de la formación Las Sierras. Es muy característica su expansión o contracción en relación al estado meteorológico del sector, pues en período constante de lluvias presenta un comportamiento uniforme, se satura y filtra agua de manera lenta hacia el subsuelo, en cambio, sus partículas se contraen en ausencia de fluido, formando grietas (INETER, 2010).

2.3.5. Sedimentos volcánicos (Qv)

Ocupa la sección escarpada del estrecho entre la comunidad Zambrano (Figura 2.3), el sur de Tisma hasta el área rural este de Nindirí. Esta formación comprende una secuencia interestratificada y casi laminar de material piroclástico, las cuales tienen su origen, de las constantes erupciones del complejo volcánico Masaya durante el período plioleostocénico entre la fase tardía de la época del terciario y el inicio o temprano del cuaternario (Tabla 2.1).

Está compuesta por una pseudo-estratificación de sedimentos volcánicos, o delgadas capas de piroclastos altamente deleznable, la estratificación se puede observar en las cárcavas que drenan hacia el cauce del Río Tipitapa, en taludes de hasta 3 metros de alto, identificando capas delgadas de arena fina volcánica color negro intercaladas con pómez muy alteradas en transición a suelo limoso color pardo claro, toba arenosa gruesa, toba limo pomácea blanquecina, arcilla negra plástica y toba arenosa gruesa granular (INETER, 2010)

ERA	PERIODO	ÉPOCA	ESPESOR(b)	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICA	CUATERNARIO	Reciente	30	Qr	Arena, limo, grava, arcilla
			100	Qv	Arena negra escoriácea
		Pleistoceno	200	Qps	Arena, escoria pómez, limo suelo fósil
	TERCIARIO	Mioceno	1200	Tpcb	Andesitas basáltica y tobas andesíticas

Tabla 2.1 Columna litoestratigráfica en el acuífero interlagos de Tisma

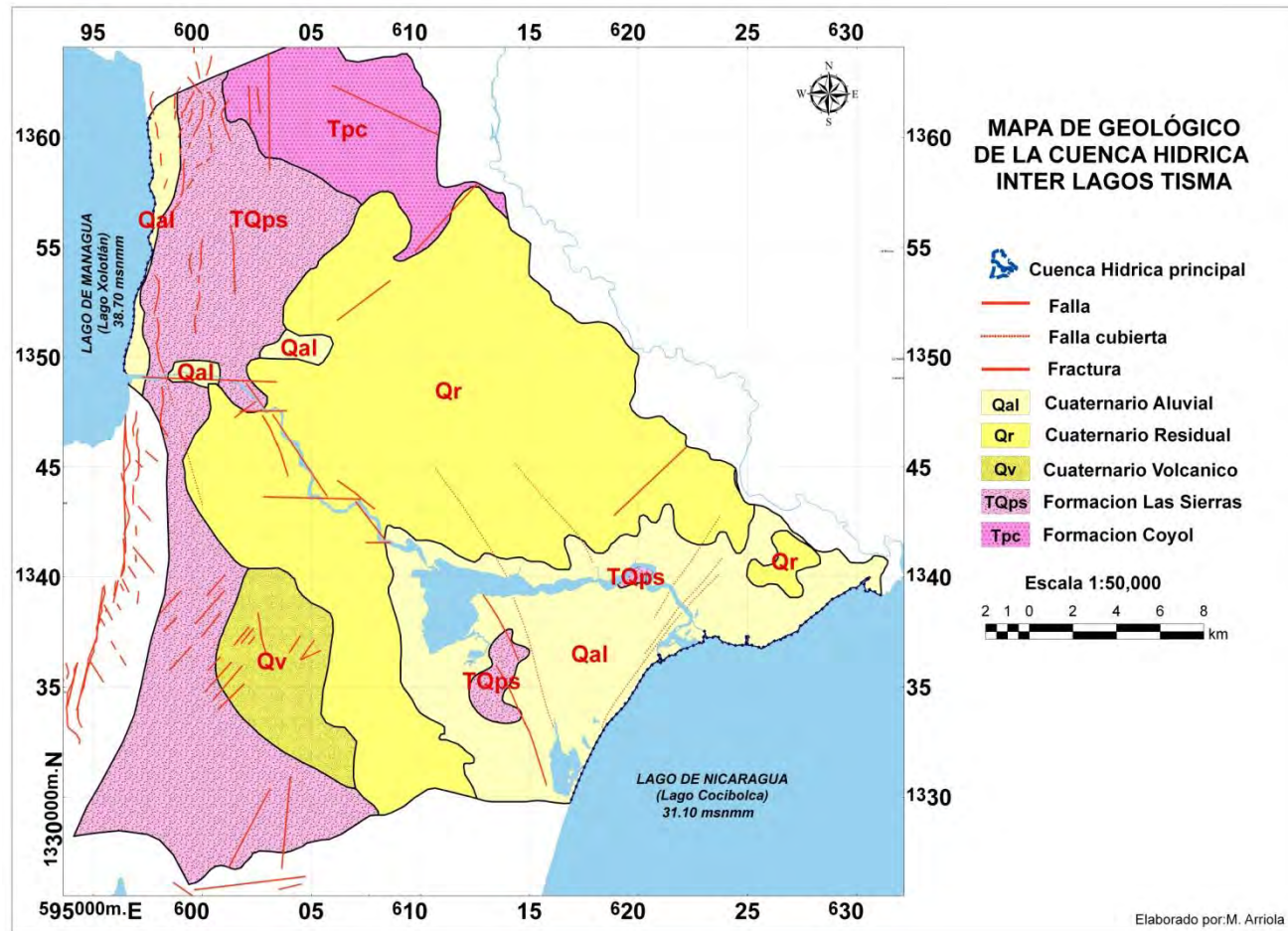


Figura 2.3 Geología del acuífero interlagos de Tisma

2.4. Estructuras geológica del acuífero interlagos de Tisma

Las características geomorfológicas del acuífero interlagos de Tisma, comprende una topografía de moderada a muy plana, esta extensión de terreno se encuentra cubierta por diferentes capas de sedimentos provenientes de la desintegración de rocas madres ubicadas en las serranías próximas al valle por el sector norte y noroeste. El comportamiento plano de esta región, obedece a las diferentes etapas de formación geológica sedimentaria del cuaternario y por lo tanto fracturas y/o fallas en el subsuelo no son perceptibles a simple vista (INETER, 2010).

En el 90% del área, no se ubican estructuras o lineamientos que demuestren un cambio en la naturaleza de las rocas sedimentarias, en el afloramiento de toba de la formación geológica Las Sierras (Foto 1), en especial el que se ubica bajo el puente viejo metálico sobre el Río Tipitapa, podemos observar una fracturas expuesta en la superficie mostrada, que puede alcanzar el grado de falla con rumbo 140° y buzamiento de 65° hacia el noreste (Figura 2.4) (INETER, 2010).



Foto 1: Afloramientos de Tobas

Esta fallamiento forma parte del sistema del sistema Cofradía la que puede alcanzar varios kilómetros de extensión, se presume que por medio de ella se encuentren en movimiento los gases de altas temperaturas que provienen del complejo volcán Masaya dirigiéndose hacia el empalme San Benito y por efectos de termalismo afecta el manto acuífero produciendo agua a altas temperaturas.

Lo anterior se puede comprobar en el sitio turístico denominado baños termales de Tipitapa. En el área afloran agua con altas temperaturas no aptas para el uso doméstico. La misma situación presentan algunos pozos perforados en el cuadrante afectado por esta falla (INETER, 2010).

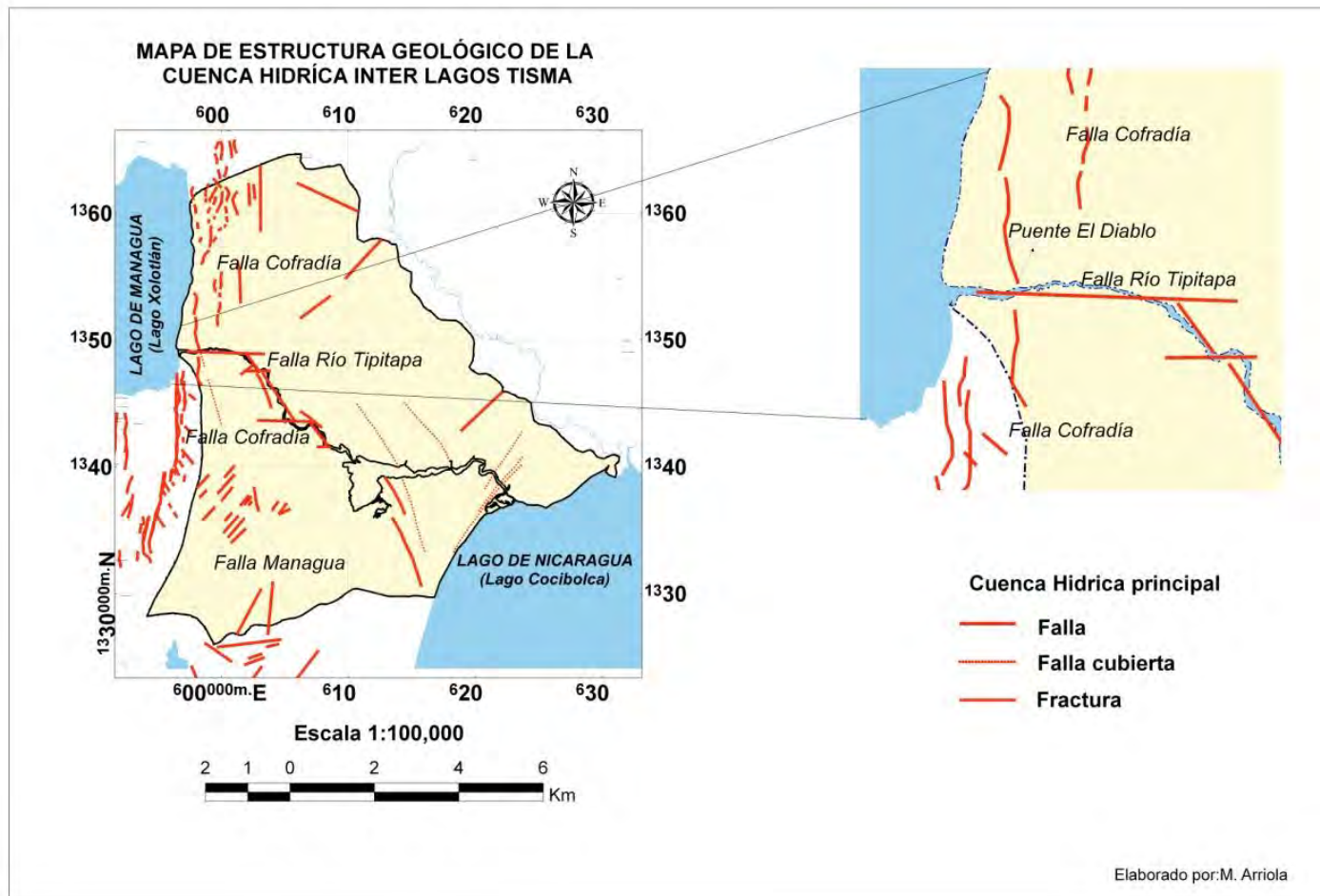


Figura 2.4 Estructuras geológicas de la cuenca hídrica Interlagos de Tisma

2.4.1 Falla Cofradía

Se trata de un sistema de fallas normales N-S escalonadas, el conjunto de las cuales delimita por el este del graben del aeropuerto. Desde las vecindades del complejo del volcán Masaya, sigue a través del pueblo de Cofradía hasta la costa oriental del Lago de Managua, cuya costa, anómalamente recta, está controlada por la presencia de esta falla. En tierra paralelamente a la costa del lago se encuentran numerosas falla que geomorfológicamente bien definida mayoritariamente por pequeños escarpes. Esta falla se extiende más al norte, donde se observa que la falla se disgrega en varios segmentos que son visibles al suroeste y oeste del pueblo San Benito. El sistema de falla tiene una longitud de 37km. La falla se adentra en las aguas del Lago Xolotlán en la zona de El Cocal, paralelamente a la costa este del lago (Rubi,2011).

2.5 Suelos

2.5.1 Clasificación taxonómicas

Los órdenes de suelo que predominan en la cuenca hídrica de Tisma están representados en la Figura 2.5. La estructura y textura de los suelos es un factor muy importante para determinar el volumen de agua que recarga al acuífero, así como el tipo de actividad que sobre éstos se puedan realizar.

En la parte noreste del Río Tipitapa se da la formación de suelos negros y rojizos. Los suelos negros se observan en la planicie volcánica y sedimentaria, a los que se le conoce con el nombre taxonómico de **Vertisoles**. Tienen más del 30% de arcilla de tipo expandibles a una profundidad de 50 cm. Estos suelos se han formado partir de deposiciones de sedimentos provenientes de suelos vecinos o aluviales y que luego sufrieron un proceso de degradación producido por condiciones de hidromorfismo estacional. Los suelos rojizos se han desarrollado a partir de tobas basáltica del grupo Las Sierras, el factor determinante es la acelerada transformación del material original y la acción del hombre en el incremento de las actividades agrícolas a estos se les conoce con el nombre taxonómico de Molisoles y puede alcanzar profundidades de hasta 1.8 m de profundidad (Figura 2.5).

En la parte sur del río Tipitapa se observa suelos del orden de los **Molisoles** en la mayoría del área y los **Entisoles**. Los suelos del orden de los **Molisoles** son suelos minerales, mientras que los **Entisoles** son muy poco evolucionados. A este orden pertenecen los suelos de tierras lacustres, tierras coluviales, tierras con inundaciones prolongadas y tierras Inundadas casi todo el año (INETER, 1990).

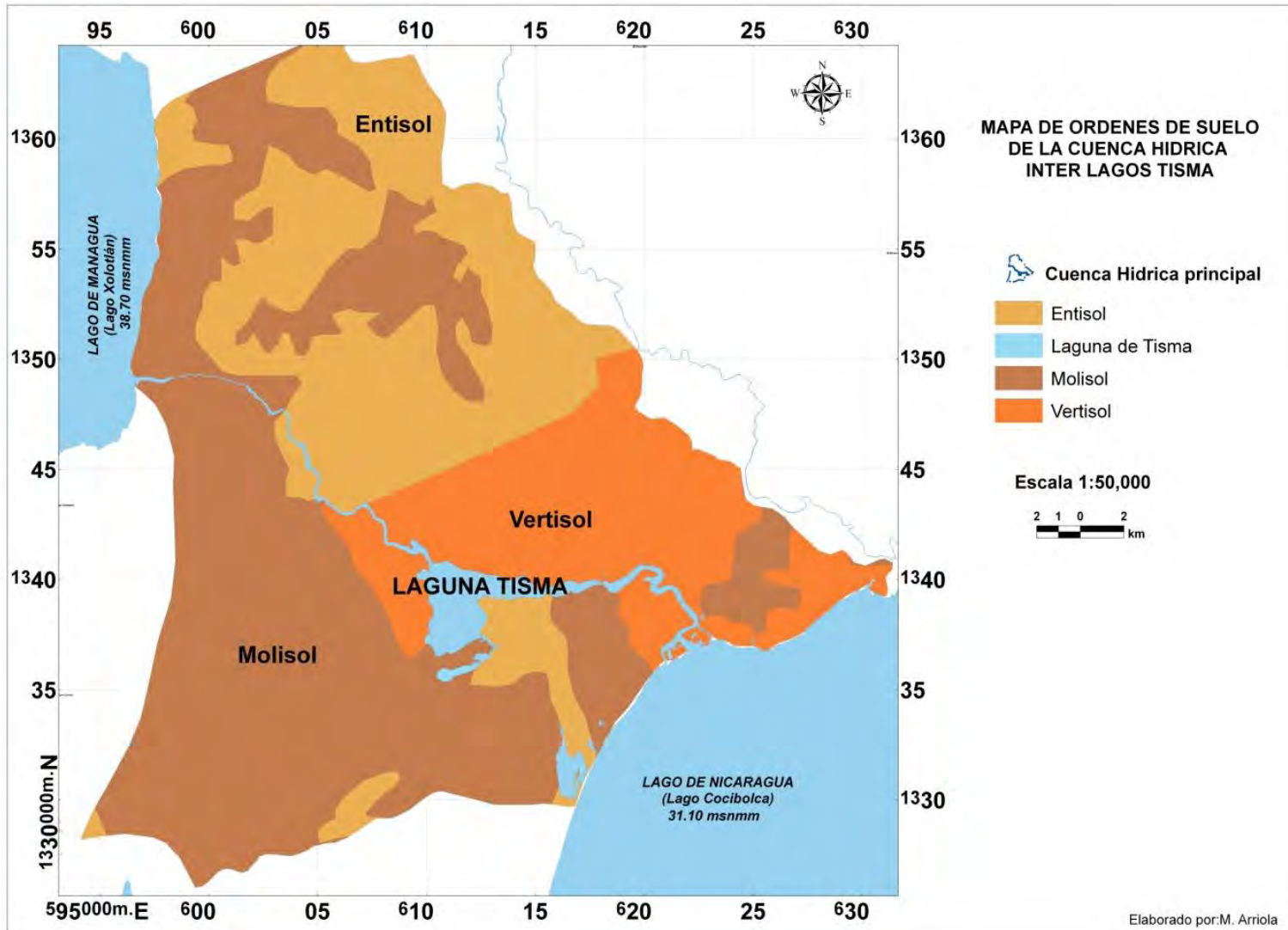


Figura 2.5 Orden de suelo del acuífero interlagos de Tisma

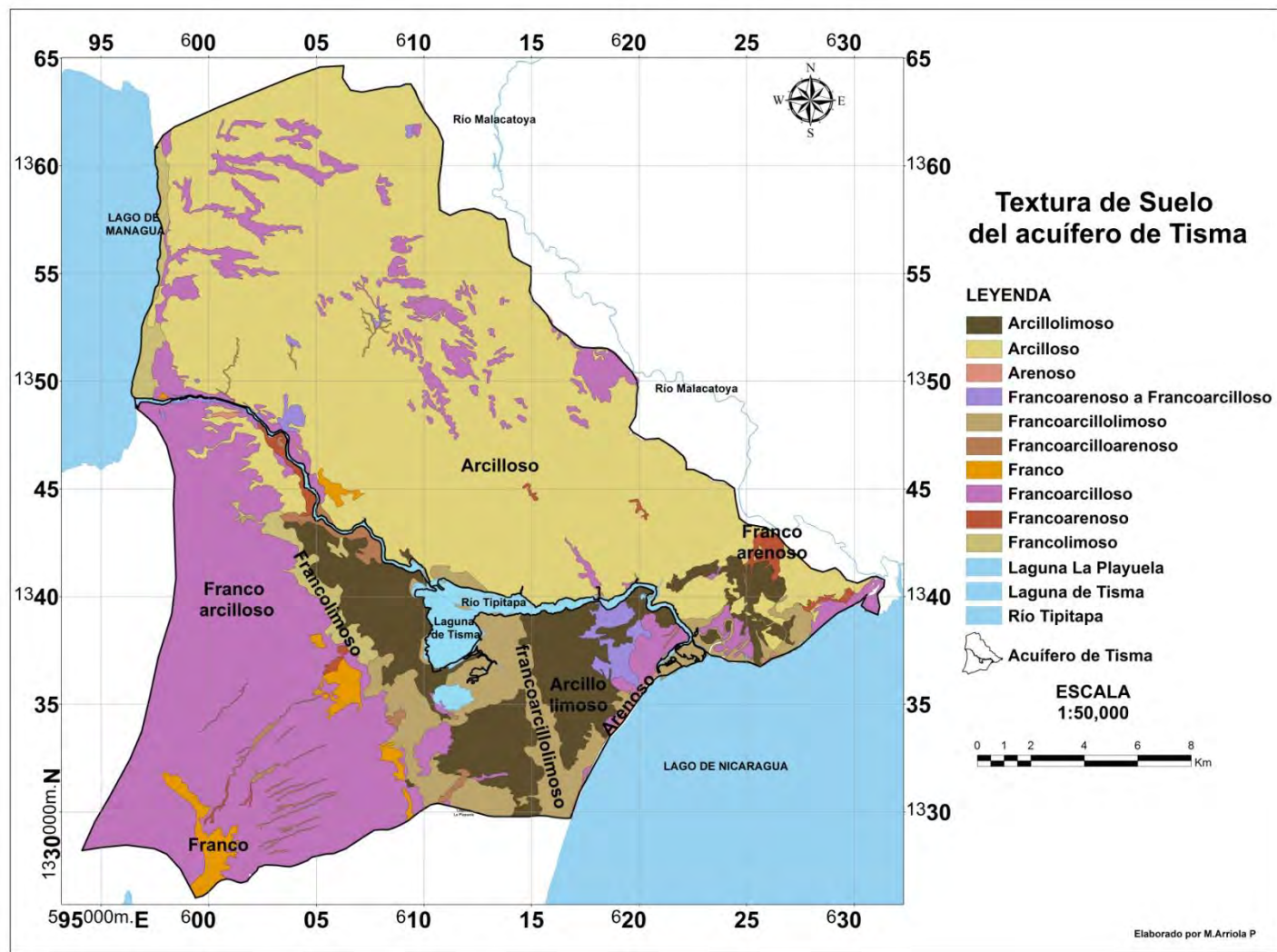


Figura 2.6. Textura de suelo del acuífero interlagos de Tisma

En la parte norte del acuífero predominan los suelos arcilloso y franco arcillosos. En el suroeste se presenta los suelos franco arcilloso. Al aproximarse a la Laguna de Tisma y a la Playuela del mismo nombre, se presentan suelos franco arcillo arenosos, arcillo limoso, franco arcillo limosos, franco arenoso y arenosos (Figura 2.6).

2.5.2 Uso potencial del suelo

En la Tabla 3 se presenta los usos potenciales del suelo presentes en la acuífero interlagos de Tisma entre los más importantes están ganadería extensiva y/o cultivos especiales de bajo riego (57%), agricultura intensiva de uso amplio y de clima caliente (23%), agricultura intensiva de uso limitado donde se presenta un clima caliente con canícula prolongada (10%) Figura 1B. 2 Anexo (MAG-FOR, 2010).

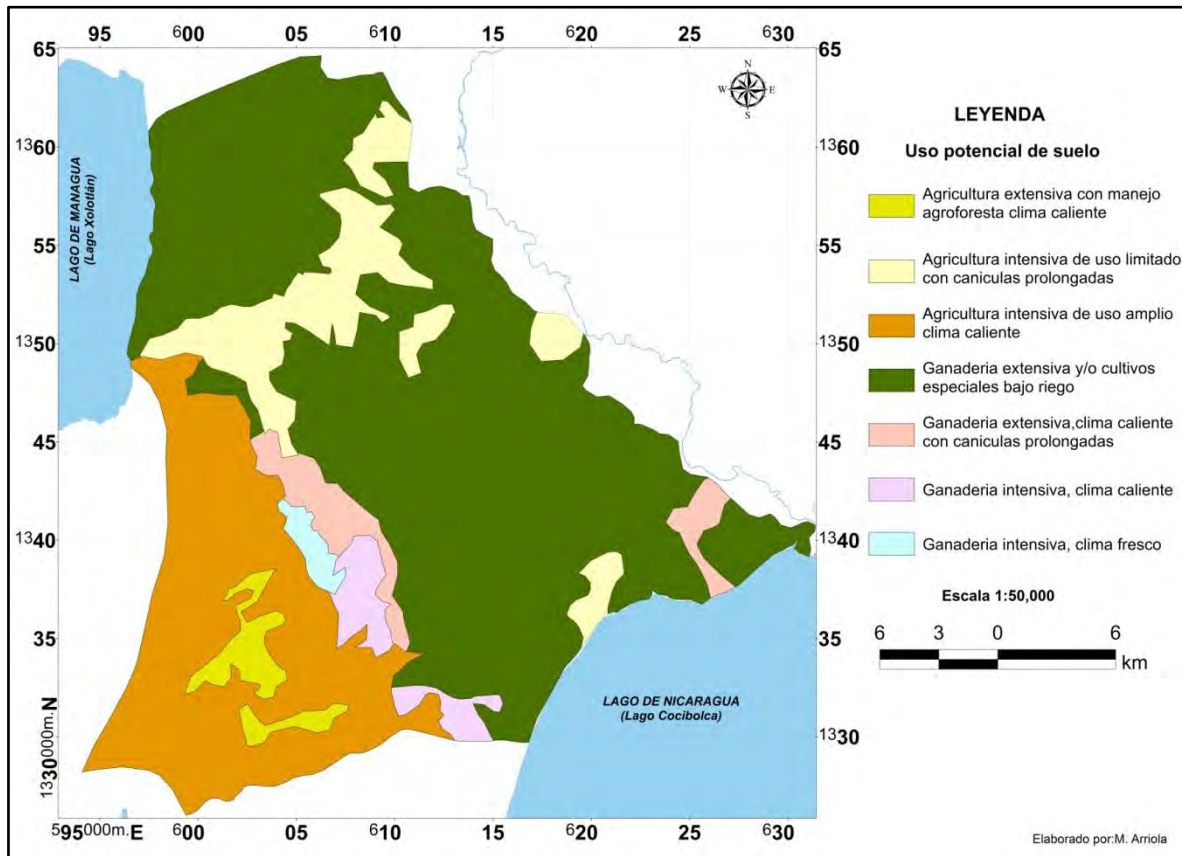


Figura 2.7 Uso potencial de suelo del acuífero Interlagos de Tisma

2.5.3 Uso actual del suelo

En la Tabla 4 se presenta los usos actuales del suelo entre los más importantes están Tierras cultivadas (46%) pasto tropical (36%), Figura 2.2 (MAG-FOR,2010).

Tabla 2.2 Uso actual de suelo de la acuífero interlagos de Tisma

Uso actual de suelo de la acuífero Tisma	ÁREA (km ²)	Porcentaje del área %
Cultivos anuales	365.52	46
Pasto tropical (125m x 125m o mas)	286.02	36
Arboles dispersos (más de 125m x 125m)	32.35	4
Pantanos	27.67	4
Agua	25.02	3
Edificaciones(área humanizadas)	19.51	2
Bosque de Arboles caducifolios	15.20	2
Suelos sin vegetación	10.27	2
Monte bajo con menos de 3 metros de altura	5.32	1

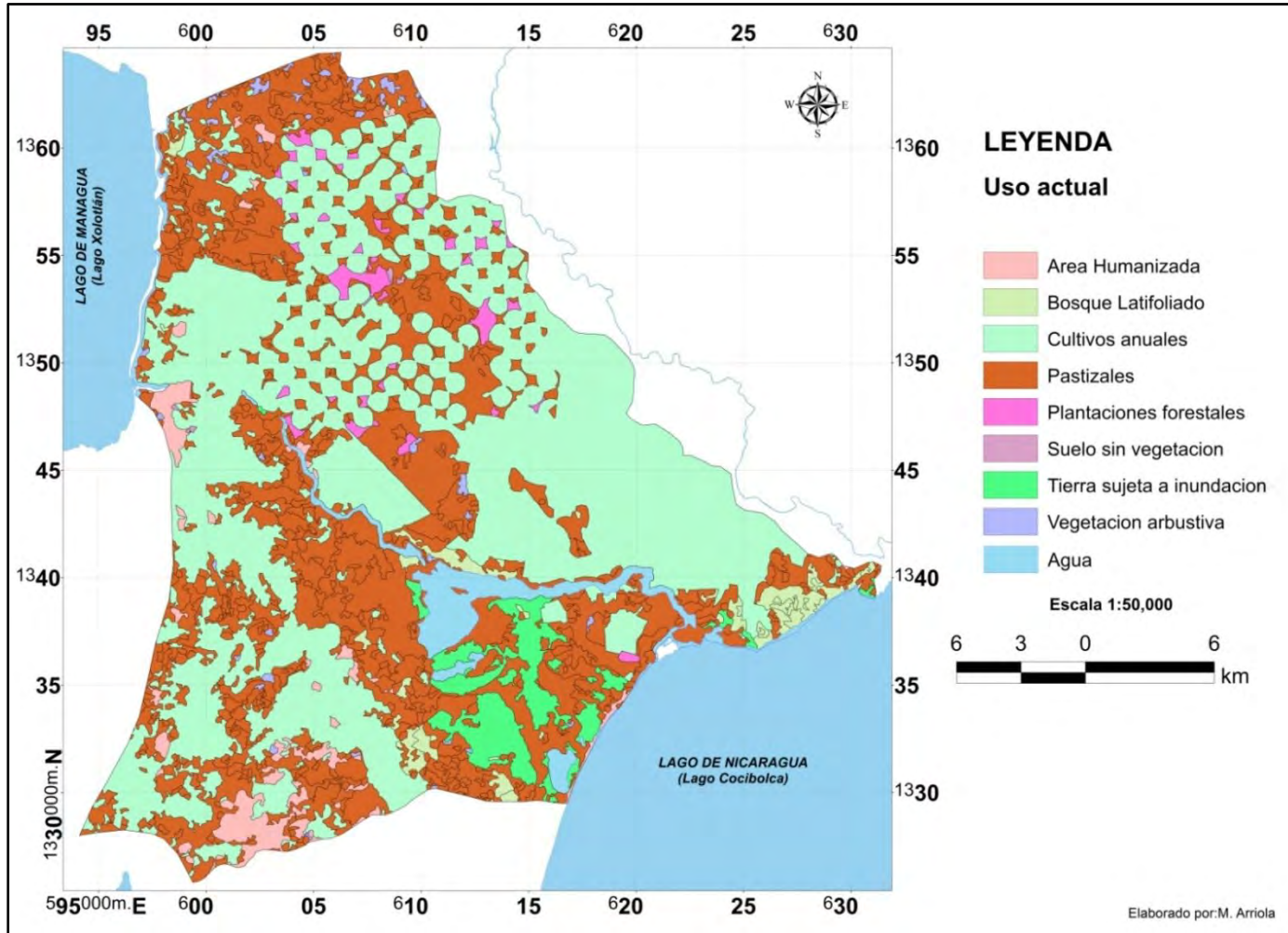


Figura 2.8 Uso actual de suelo de la acuifero interlagos de Tisma

2.6 Aguas superficiales

La corriente principal localizada es el Río Tipitapa ubicado en la parte central de la cuenca interlagos, es realmente un estuario del Lago Cocibolca y se extiende hacia el Lago Xolotlán, sin alcanzar directamente las agua del mismo. Pese a diferencia en los niveles de los dos lagos, la conexión superficial entre los lagos se produce sólo después que precipitaciones extremadamente copiosas cuando las aguas del Lago Xolotlán se derraman y corre por el Río Tipitapa. Este a su vez es abastecido por aguas subterráneas caracterizándose como un eje de descarga de las agua subterráneas del acuífero (krasny,1995).

El Río Tipitapa es un sistema casi estático en el que se establece una corriente solamente durante la época lluviosa, en las microcuenca son formados por canales intermitentes los cuales drenan hacia el río en tiempo de invierno, figura 2.9.

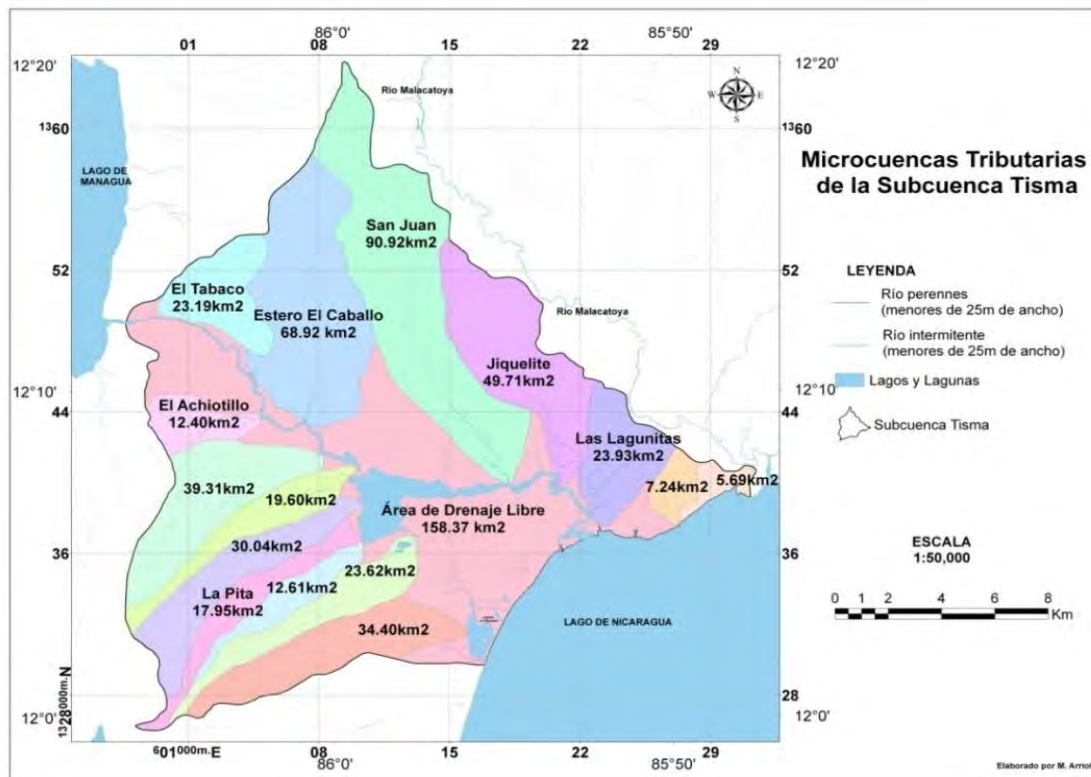


Figura 2.9 Microcuencas tributarias de la Subcuenca Tisma

El Río Tipitapa en los primeros 6 km se encuentra ubicado sobre un afloramiento de tobas con bajas conductividades hidráulicas lo que disminuye la interacción entre el acuífero y el río, dentro de este tramo del río se ubica la estación de aforo Los Termales donde se han realizado un total de 187 aforos tanto en período

lluvioso como seco , el Río Tipitapa mantiene un caudal considerable durante la época lluviosa de 18-241 m³/s, con promedio de 53 m³/s, mientras que en período seco se han medido caudal mínimo de 0.036 m³/s lo que representa el flujo base en este tramo del río (INETER, 2011).

2.6.1 Parámetros morfológicos de la Subcuenca de Tisma

La subcuenca tiene un área de 617.98 km² y su perímetro es de 132.67 km, con un factor de forma (Ff) de 0.58, valor que indica la forma geométrica, en este caso la subcuenca es triangular y bastante regular.

La Subcuenca Tisma presenta los siguientes parámetros morfológicos (Tabla 2.3) calculados a partir de las hojas topográficas escala 1:50,000(INETER, 2011).

Tabla 2.3 Parámetros geomorfológicos Subcuenca Tisma

Parámetros	Unidades	Valor
Área (A)	km ²	617.98
Perímetro (p)	km	132.67
Coeficiente de compacidad (kc)	unid	1.73
Pendiente río	m/m	0.0004
Factor de forma (Ff)		0.06
Elevación Mínima	msnm	31.1
Elevación Máxima	msnm	48
Longitud de río	km	34.69
Longitud de ríos	km	623.52
Coeficiente de torrencialidad (Ct)	Ríos/km ²	1.18
Extensión media del escurrimiento superficial(Es)	km/km ²	0.25
Densidad de Drenaje (Dd)	km/km ²	1.00
Frecuencia de ríos (Fr)	Ríos/km ²	0.51
Tiempo de concentración (Tc)	Horas	10.07

Para realizar una mejor caracterización e identificación de la subcuenca se delimitaron las microcuencas tributarias y se determinaron las características morfométricas, mostradas en la Tabla 2.4., igualmente se muestra en la Figura 2.9 el mapa de micro cuencas

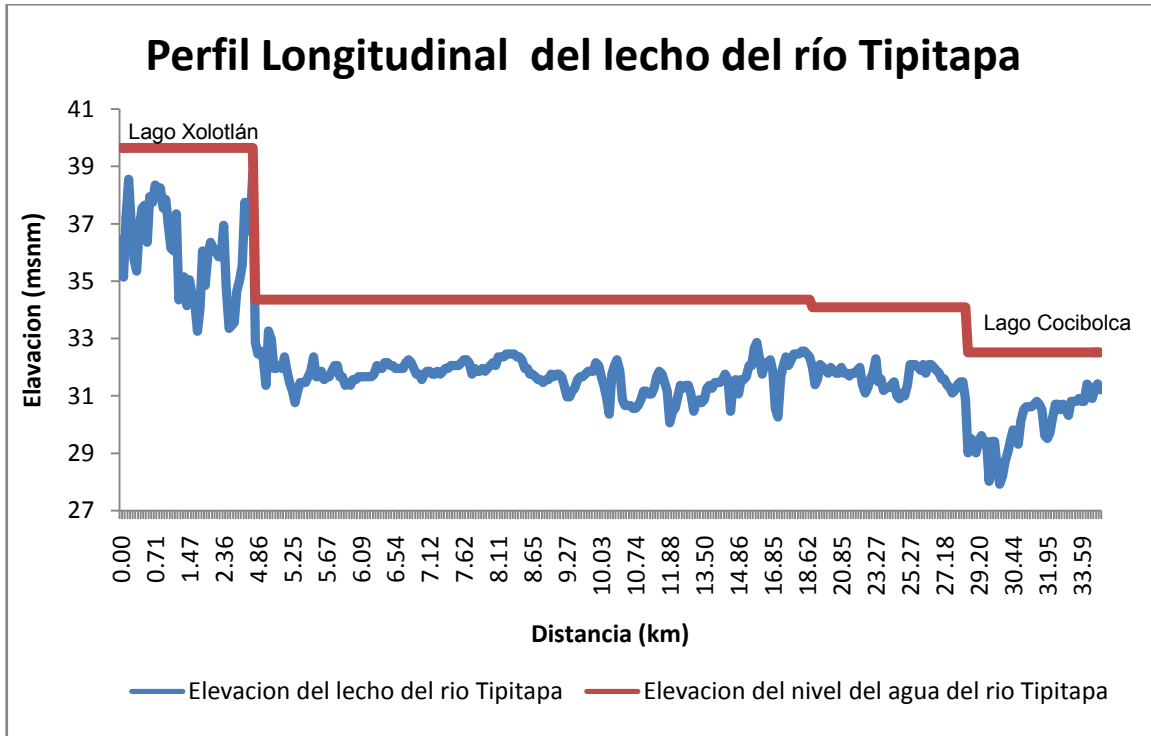


Figura 2.10 Perfil longitudinal del lecho del Río Tipitapa

Durante el año 2011 se realizó un perfil longitudinal del Río Tipitapa (Figura 2.10) para determinar las elevaciones del lecho y el nivel del agua del río y su longitud total.

Del registro histórico de elevación de la estación Los Terales se encuentran un total de 187 aforos, con este registro y los niveles del Lago Xolotlán en la estación Tamagás se elaboró la curva de gasto (Figura 2.11), que permite estimar los caudales de entrada al cauce del río Tipitapa. (INETER, 2012).

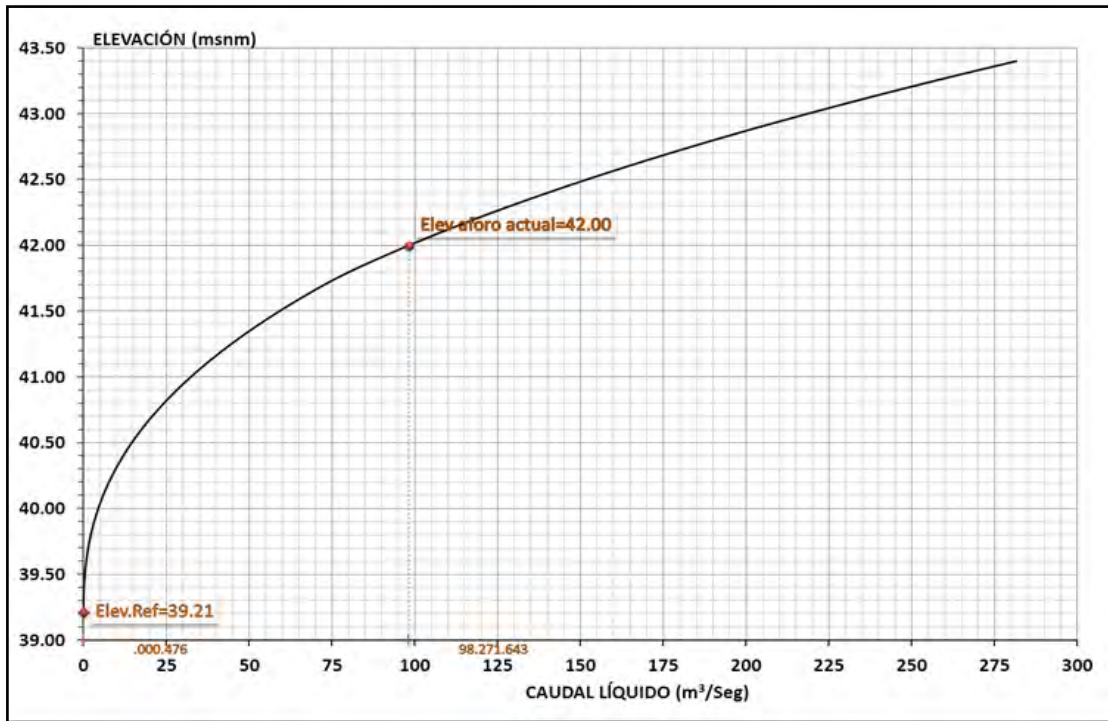


Figura 2.11 Curva de descarga del Río Tipitapa

De este registro se observa que el máximo nivel ocurrido en el Río Tipitapa fue el 1999 siendo de 41.51m lo cual representa un caudal de 122.27 m³/s y un nivel mínimo de 35.8 m ocurrido el 1993 (Figura 2.12).

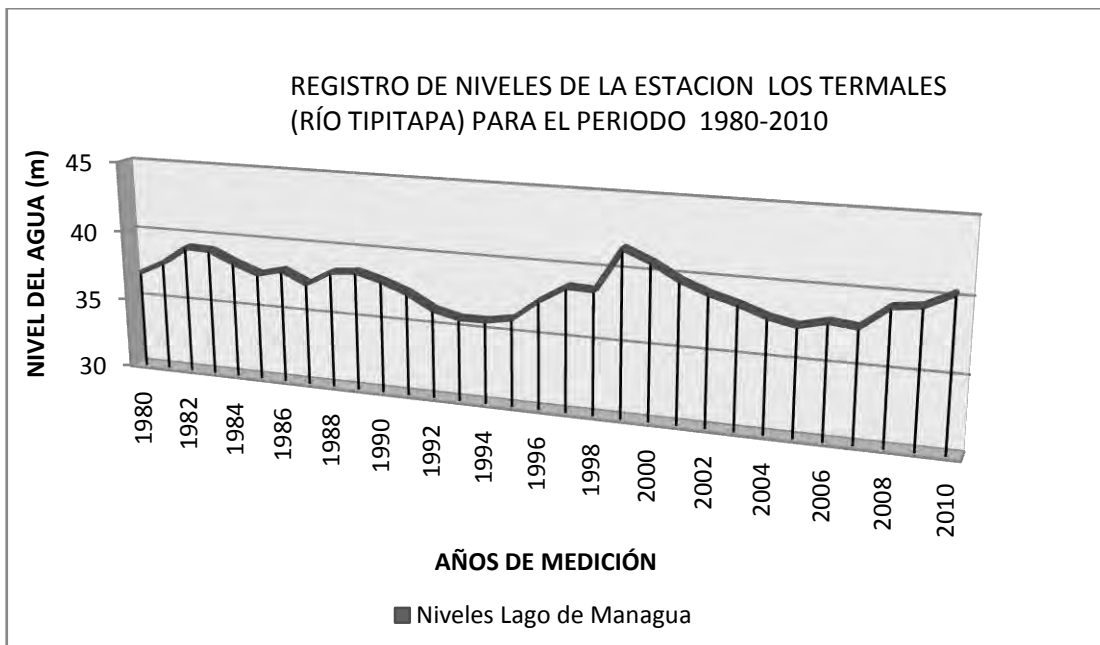


Figura 2.12 Registro de niveles en la estación Los Termiales

2.7 Hidrogeología

2.7.1 Medio hidrogeológico

Desde el punto de vista del flujo subterráneo Krasny, 1995 divide la subprovincia del graben nicaragüense en sistema acuífero como los sigue:

- Sistema acuífero de las laderas suroccidentales de la Cordillera del Pacífico (Cuesta de Diriamba)-A
- Sistema acuífero suroeste-B
- Sistema acuífero noreste-C
- Sistema acuífero de la península de Cosiguina-D
- Sistema acuífero de las islas en el Lago de Nicaragua-E

El acuífero de Tisma está inmerso dentro de un subsistema acuífero Granada-Tipitapa perteneciente al sistema acuífero suroeste y parte del sistema acuífero noreste. El subsistema acuífero Granada-Tipitapa es delimitado por divisorias poco pronunciadas en general; el agua subterránea fluye generalmente en la dirección noreste hacia el Lago de Nicaragua y el río Tipitapa que forma las zonas de descarga principales. La cuenca de la Laguna de Tisma es parte del subsistema con las zonas de descarga regionales en el Lago de Nicaragua y el río Tipitapa e incluso la Laguna de Tisma. El Río Tipitapa representa la zona de descarga de aguas subterráneas para dos sistemas acuíferos adyacentes el sistema suroeste y el noreste. Bajo condiciones naturales con el gradiente hidráulico suave generalmente hacia el sur los dos lagos y el Río Tipitapa representan las zonas de descarga natural del sistema noreste.

El agua subterránea se encuentra almacenada y en escurrimiento dentro de un relleno fluvio-volcánico que forma las rocas de la formación del grupo Las Sierras y depósitos aluviales recientes. Las mejores zonas acuíferas se encuentran dentro de las rocas del grupo Las Sierras y en los depósitos aluviales recientes, en capas integradas de escoria volcánicas, lapillis, cenizas gruesas, tobas y aglomerados porosos (canteras), arenas y gravas. El espesor total del grupo Las Sierras está entre 220-250 m. Las capas acuíferas se presentan alternando con capas semipermeables e impermeables de limo, cenizas finas, polvo volcánico y arcilla. Las características hidráulicas del acuífero, tales como permeabilidad, transmisividad y capacidad específica, van desde buenas a muy buenas (IRENA, 1981).

2.7.2 Profundidad del agua subterránea

La profundidad del agua subterránea, referida a la superficie del terreno, varía entre 3 m y 50 m. Las profundidades menores se encuentran en dos zonas: Una de ellas es la franja costera del Lago de Managua y la otra, los sectores costeros del río Tipitapa. Las profundidades mayores se registran en el norte del área, precisamente entre los Laureles y las Banderas. En la parte norte del área, la profundidad del agua subterránea varía entre 3 y 20 m. En la parte suroeste de la acuífero interlagos de Tisma según Krasny, (1995)

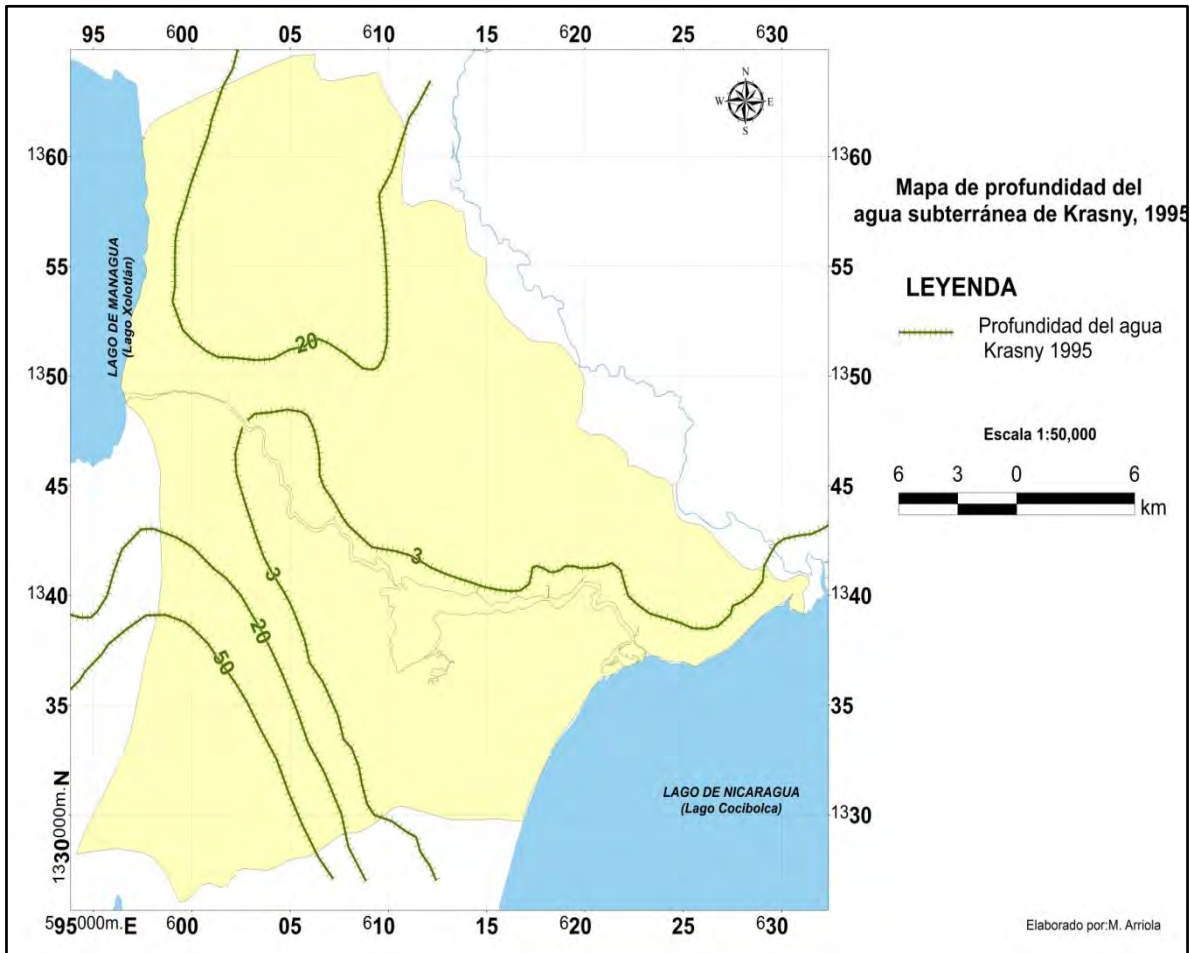


Figura 2.13 Profundidad del agua según Krasny, 1995.

2.7.3 Piezometría

Las superficies piezométricas del acuífero interlagos está condicionada por el medio hidrogeológico, además por, su dinámica, zonas de recarga y descarga. (Figura 2.14).

La zona de recarga se distingue principalmente al norte y sur del acuífero. La zona de descarga se distingue al este del Río Tipitapa en La Carbonera, en la Laguna de Tisma y posteriormente en el Lago Cocibolca.

La dirección del escurrimiento del agua subterránea es de noroeste a oeste, suroeste y sur (Kransny, 1995).

Una divisoria local de agua subterránea de dirección noreste-suroeste que va desde el Río Malacatoya en Las Banderas hacia el poblado de Tipitapa hace que el agua subterránea se mueva en tres direcciones:

- a) Al oeste, aguas subterráneas que drenan al Lago de Managua.
- b) Al suroeste, flujo de aguas subterráneas hacia el curso superior del Río Tipitapa.
- c) Al sur, aguas subterráneas que drenan hacia el curso medio del Río Tipitapa y a la Laguna de Tisma.

2.7.4. Cuña de transición entre el Lago Xolotlán y el acuífero interlagos de Tisma

La cuña de transición o cuña de agua salobre es una masa de agua salobre de gran longitud con sección en forma de cuña apoyada en la base del acuífero y con el vértice o pie hacia tierra adentro (Custodio, 1996).

Los valores de conductividad eléctrica en los pozos ubicados en la periferia del Lago Xolotlán, son similares a la del lago, en cambio los más alejados que están a una mayor altura, su conductividad es diferente, lo que nos indica que no hay intrusión del Lago de Managua al acuífero. La característica estructural de la falla Cofradía, con dirección N – S, paralela al lago Xolotlán, es que se encuentra rellena de material piroclástico no consolidado y se presume que actúa como un filtro natural contra la influencia de una intrusión al acuífero de parte del Lago Xolotlán (Altamirano, 2002).

Mientras el gradiente del flujo subterráneo hacia el lago de Managua se mantenga se evita intrusión de aguas contaminadas al acuífero (ENACAL, 2003).

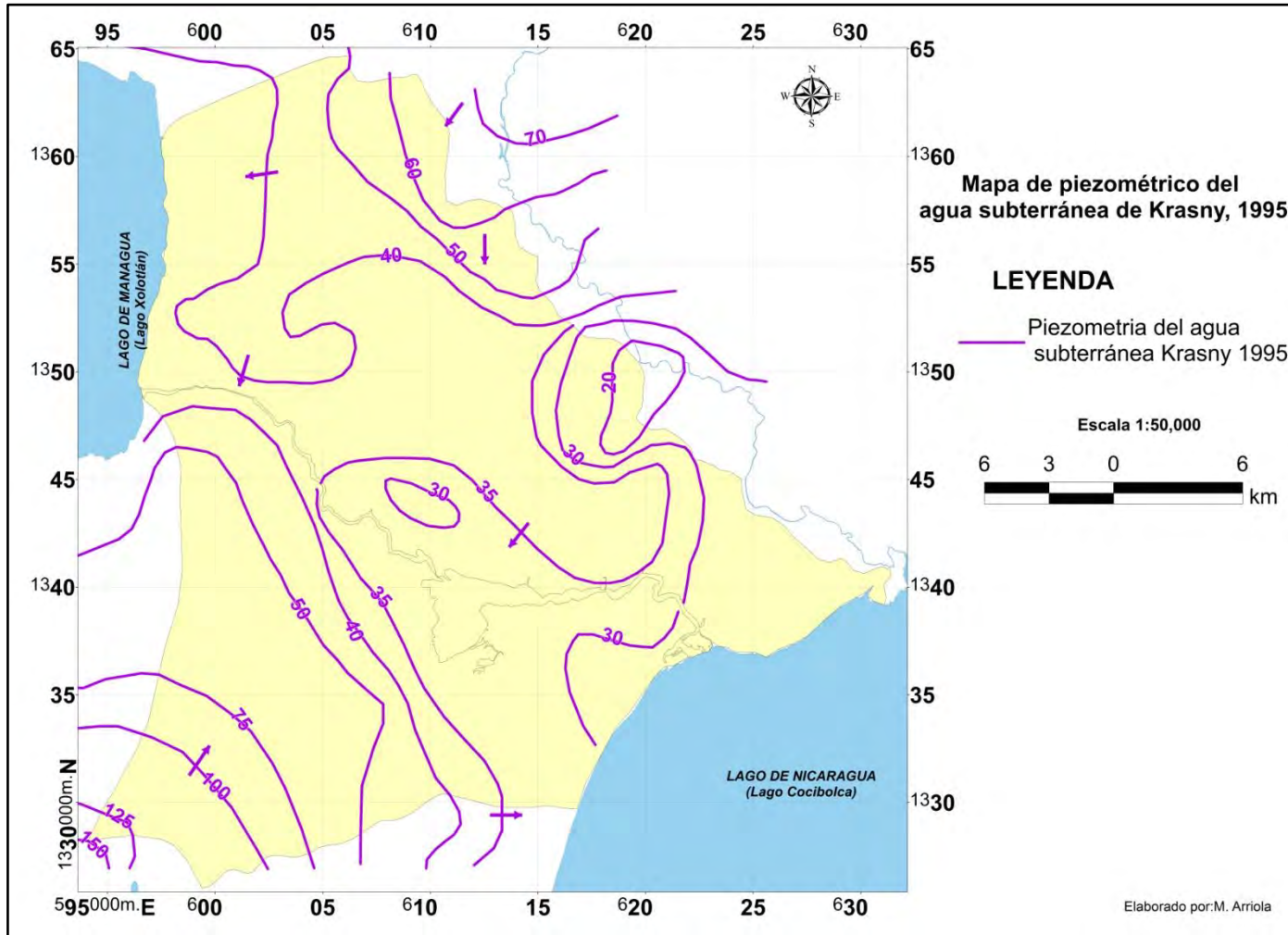


Figura 2.14 Piezometría del agua subterránea según Krasny, 1995

2.8 Propiedades hidráulicas

2.8.1 Transmisividad

La zona norte del Río Tipitapa hasta el Río Malacatoya presenta mayores transmisividades prevalectes que las áreas adyacentes presentes al sur del río. Aquí algunas veces existe una concentración de valores mayores en las partes septentrionales de las áreas. Más al sur, cerca de la boca del Río Tipitapa y en la zona costera del Lago de Nicaragua más al sur la transmisividad a menudo alcanza los valores de la clase I, lo que puede ponerse en conexión con el hecho que la zona es la de descarga del acuífero. Parte de las áreas mencionadas e incluso la zona entre ellas se caracterizan por la variación de transmisividad insignificante (Krasny, 1995).

La magnitud de la transmisividad puede ser influenciada por la penetración parcial de los pozos dentro de la parte saturada del acuífero. Teóricamente, bajo las mismas condiciones, en el mismo acuífero los pozos pocos penetrantes tienen una transmisividad menor que los más profundos la diferencia entre transmisividad. La transmisividad varía entre 10 a >1000 m²/día. Los valores menores en la zona oeste del acuífero cercano a la costa del Lago Xolotlán y le limite con la falla de Cofradía en la zona central del acuífero aumenta a medida que nos movemos hacia el este cercano al Lago Cocibolca (Figura 2.15) (Krasny, 1995).

2.8.2 Coeficiente de almacenamiento

Para la planicie de la acuífero interlagos de Tisma, se dispone de seis valores diferentes de coeficientes de almacenamiento (Tabla 2.4) y corresponde a los obtenidos mediante pruebas de bombeo practicadas en pozos perforados ubicados en los sectores suroccidental y central del área, siendo 0.13 el valor promedio (PROCONSULT, 1984).

Tabla 2.4 Coeficientes de almacenamiento del acuífero interlagos de Tisma

Coeficiente de almacenamiento	0.20	0.20	1×10^{-6}	0.10	0.06	0.10	0.13
-------------------------------	------	------	--------------------	------	------	------	------

Según Fenzel, 1989 Los coeficientes de almacenamiento del área de estudio varían entre 0.04 y 0.26 que corresponden a un acuífero libre. Estos valores indican que el agua subterránea se encuentra en condiciones libres o freáticas

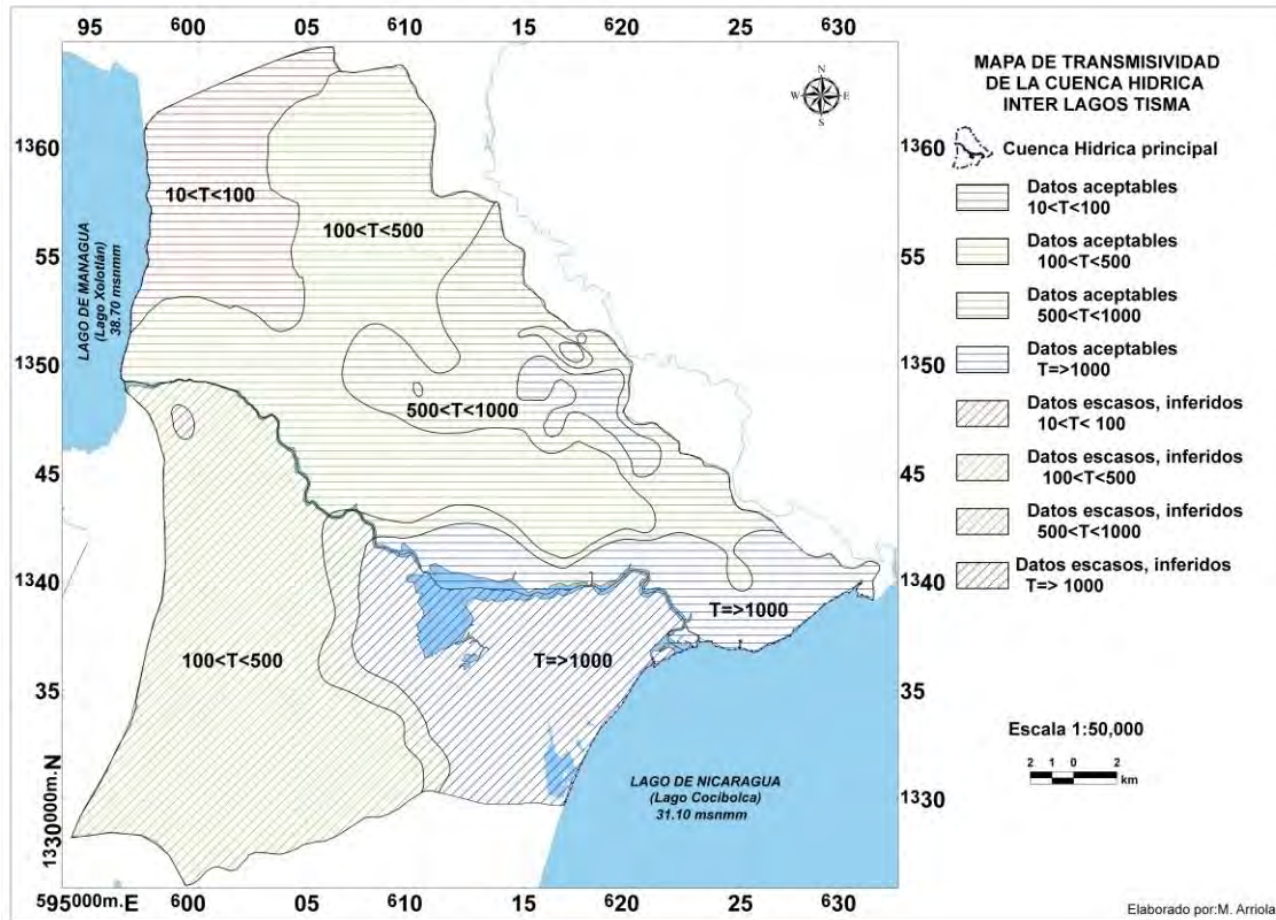


Figura 2.15 Transmisividades del acuífero interlagos de Tisma

2.8.3 Capacidad específica

La capacidad específica o caudal específico, expresa la relación entre el caudal extraído (Q) de un pozo y el descenso del agua o abatimiento observado en el mismo. Este último se debe, en parte, a la pérdida de entrada del agua al pasar a través del empaque y de la rejilla.

La capacidad específica en el área varía entre 3-5 m³/h/m y 56.6 m³/h/m. Los valores menores se presentan en las zonas de Tipitapa y Las Banderas y los valores altos, en los sectores central y bajo del área, especialmente en las inmediaciones del lindero oriental (inmediaciones de Malacatoya) y en la faja costera del curso medio del Río Tipitapa. Tiene en general, la capacidad específica, una distribución muy similar a la presentada por la transmisividad (IRENA, 1981).

2.8.4 Aprovechamiento del acuífero

Para el área norte del Río Tipitapa durante la estación seca de 1979 (noviembre-abril), del depósito de agua subterráneas se extrajeron unos 24.1 MMC. De extracción 23.8 MMC se utilizaron en el riego y los 0.3 MMC restante se emplearon en el suministro de agua potable y doméstico (IRENA, 1981).

Actualmente (Figura 2.16) en la acuífero de Tisma se extraen 90.71 MMC, los que se distribuyen para uso potable, ganadero y riego, ver tabla (INETER, 2011)

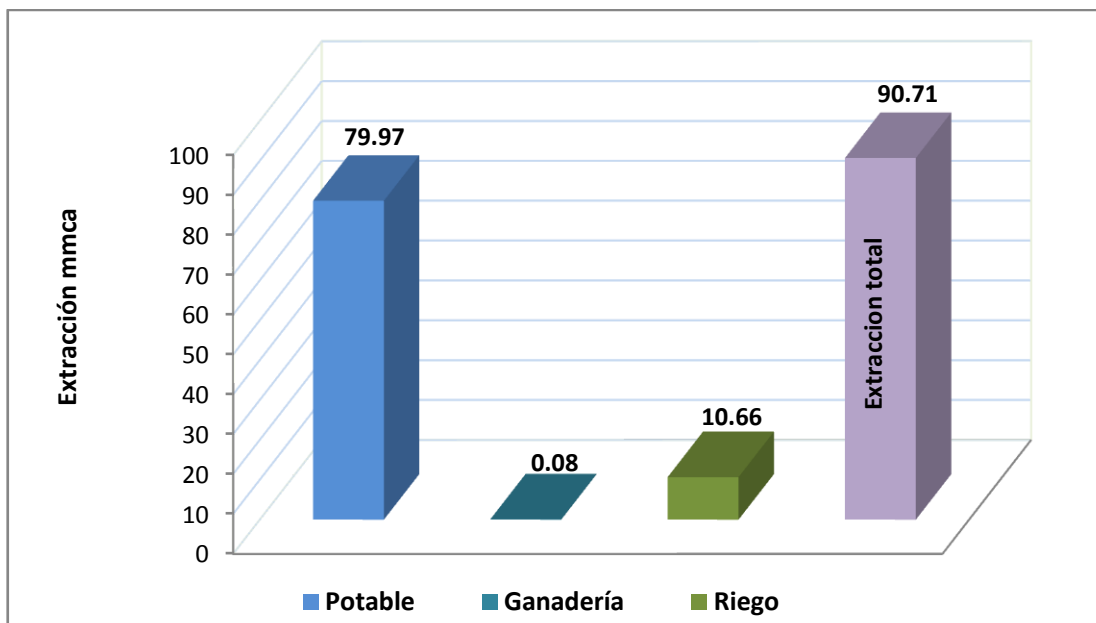


Figura 2.16 Extracciones de agua subterránea en el acuífero interlagos de Tisma

2.8.5 Condiciones de recarga

Las recarga del acuífero, provienen de dos fuentes principales:

1. Recarga directa por precipitaciones
2. Aguas en exceso de riego que percolan y alcanzan la zona de saturación (Flujo de retorno).

El depósito de agua subterráneas recibe una recarga que procede de la percolación de lluvias que caen directamente sobre el área de unos **44.29 MMC** anuales (INETER, 2011) La recarga de retorno es el agua que regresa a la fuente de aguas subterráneas después de haber sido extraída para uso y consumo humano. Principalmente se consideran la recarga de retorno por exceso de riego, por fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable, las descargas sanitarias y aguas pluviales.

En este estudio se ha considerado la recarga de retorno porque en el área existe mucha producción agrícola que demanda del uso del riego para los cultivos.

La extracción de aguas de pozos utilizados para irrigar los cultivos es de **10.66 MMC**, entonces los valores de recarga por retorno por riego, según normas internacionales se considera el 20%, que correspondería a **2.13 MMC** (Tabla 2.5).

Mientras la extracción de agua para uso y consumo humano es de **79.97 MMC**. Se ha considerado tomar en cuenta un 10 % del valor de uso de agua potable como evidencia de recarga de retorno por pérdidas en la tubería (Tabla 2.5).

La recarga de retorno se estima en **10.12 MMC** para el área de estudio, para una recarga total de **54.41 MMC** (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Recarga total del acuífero interlagos de Tisma

Extracción de agua por riego	Recarga de retorno por riego (20%)	Extracción de agua para uso y consumo humano	Recarga de retorno por pérdidas en la tubería	Recarga total de retorno	Recarga del acuífero	Recarga Total
10.66MMC	2.13MMC	79.97MMC	7.99MMC	10.12MMC	44.29MMC	54.41MMC

2.8.6 Condiciones de descarga

- **Descarga natural**

Las salidas o descarga de agua del depósito de aguas subterráneas están formadas por aguas subterráneas que salen del área por efecto de gradiente hidráulico natural de la superficie freática; extracciones hechas en pozos excavados, perforados y extracciones que se producen por evapotranspiración o capilaridad, en aquellos lugares donde el agua subterráneas se encuentran a profundidades menores de 3 metros. El acuífero del área estudiada, es drenado en parte por el río Tipitapa (IRENA, 1981).

La descarga natural del acuífero se ha identificado, en el mapa piezométrico de Krasny, 1995, se definen tres zonas de descarga: una por el río Tipitapa en La carbonera, Hacienda San Juan y otra por la Laguna de Tisma y el Lago de Nicaragua (Figura 2.14).

- **Descarga por pozos de bombeo**

Se estima que la descarga por pozos de bombeo es de 90.71 MMC para uso en riego, ganadería y potable (INETER, 2011).

2.9 Hidrogeoquímica

Con el objetivo de caracterizar geoquímicamente el acuífero interlago de Tisma, se recopilieron 137 análisis fisicoquímicos realizados durante el periodo de 1968-1985 en pozos perforados (69) y excavados (68). Los análisis tomados en cuenta están ubicados dentro del área del acuífero de Tisma.

2.9.1- Tipos hidrogeoquímicos del agua subterránea

La composición química de las aguas subterráneas cambia o evoluciona desde que se produce la recarga hasta el momento que afloran en ríos y manantiales o son extraídas a través de pozos. El agua puede adquirir una composición diferente de la roca por la que circula a medida que se aleja del lugar de la infiltración. La evolución normal de las aguas es que sucesivamente vayan dominando los siguientes iones: $\text{HCO}_3 \rightarrow \text{SO}_4 \rightarrow \text{Cl}$; $\text{Ca} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Na}$.

Con los resultados analíticos de las muestras de agua se obtuvo que la clasificación de la mayoría de estas aguas corresponda a bicarbonatadas con cationes Ca-Mg-Na. En total son seis tipos de agua en área de estudio.: Aguas, bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas cálcica magnésicas, bicarbonatadas

cálcica-sódicas, bicarbonatadas sódicas-cálcicas, bicarbonatadas sódicas, Cloruradas magnésicas (Figura 2.17).

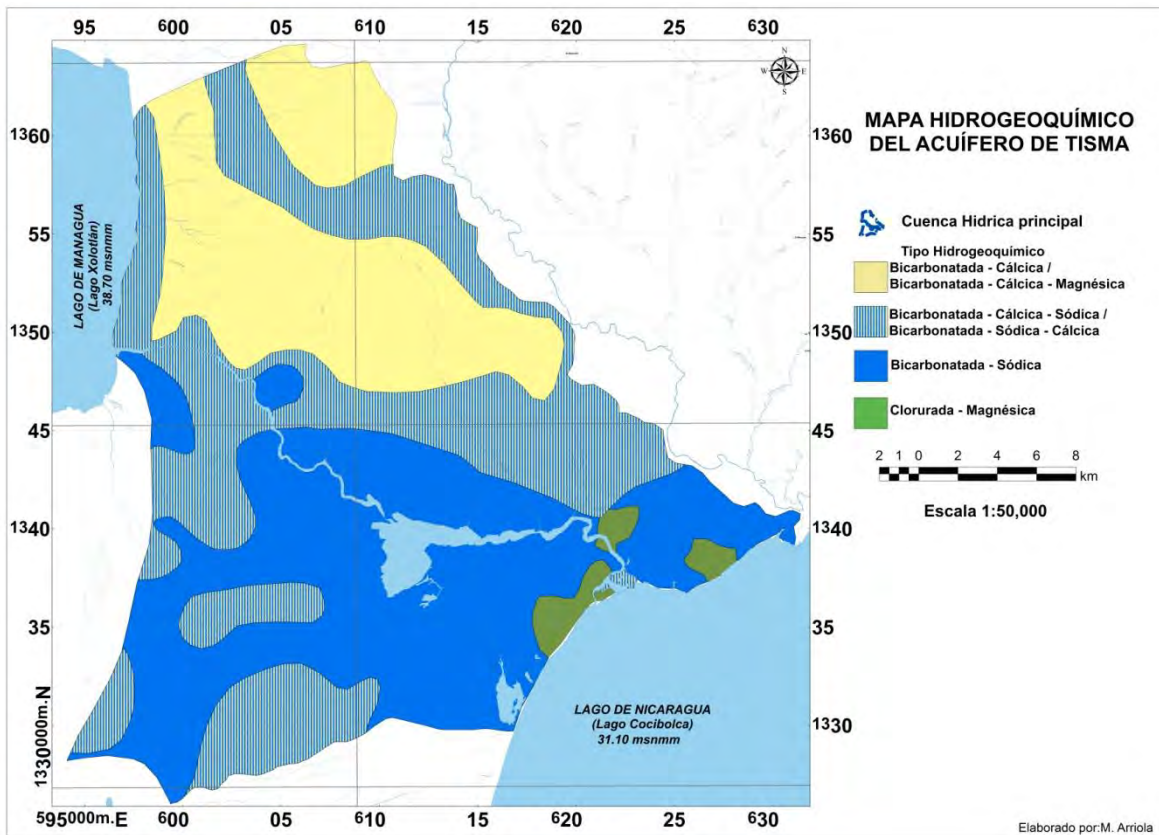


Figura 2.17 Hidrogeoquímica del acuífero interlagos de Tisma

2.9.2 Calidad del agua subterránea

El estudio de la calidad del agua destinada para el consumo humano es de suma importancia, y en ella intervienen muchos factores que pueden afectarla. Se denomina potable a aquella agua que puede ser consumida por el ser humano sin peligro para su salud, por lo tanto debe tomarse en cuenta las características del agua, ya sean físicas, químicas, bacteriológicas, etc., con criterios de calidad para cada una de ellas.

La calidad del agua del acuífero de Tisma está referida al máximo de concentración permisible de los iones del agua, para el abastecimiento potable, según las normas de CAPRE. Se analizó la concentración de los iones y los parámetros físico-químicos, dándose énfasis a los pozos donde se sobrepasa la norma.

2.9.2.1 Normas de Potabilidad

La Tabla 2.6 se presenta como referencia de las concentraciones que de sobrepasarse afectarían la potabilidad del agua por sus efectos sobre la salud humana.

Tabla 2.6 Concentración Máxima Permitida para el Uso del Agua Potable (CAPRE)

Parámetro	Concentración Máxima Permitida (mg/l)
Potasio (K)	10
Sodio (Na)	80
Magnesio (Mg)	70
Calcio (Ca)	100
Hierro (Fe)	0.3
Nitrato (NO ₃)	45 (OMS)
Cloro (Cl)	250
Sulfato (SO ₄)	250
Sólidos totales disueltos (SDT)	500
Boro	1
pH	6.8 - 8.6
Conductividad eléctrica	500 µs/cm
Dureza	400 mg/L CaCo ₃
Temperatura	18-30°C

Las sales minerales de las aguas subterráneas de acuífero de Tisma están influenciadas directamente por el medio geológico.

2.9.3 Características Químicas y Físicas

2.9.3.1 Cationes

2.9.3.1.1 Calcio (Ca)

El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

El intercambio iónico entre el Ca y otros cationes (Na fundamentalmente), retenidos en la superficie de minerales con los que entra en contacto el agua, se potencia notablemente en terrenos arcillosos de baja permeabilidad. La concentración de Ca varía ampliamente en las aguas subterráneas. Concentraciones entre 10 y 250 mg/l. son frecuentes en aguas dulces mientras que en aguas de terrenos yesíferos pueden llegar a 600 mg/l (Porrás, 1985). El límite permisible según las normas regionales de calidad de agua para consumo humano (CAPRE) es de 100mg/l(Tabla2.6).

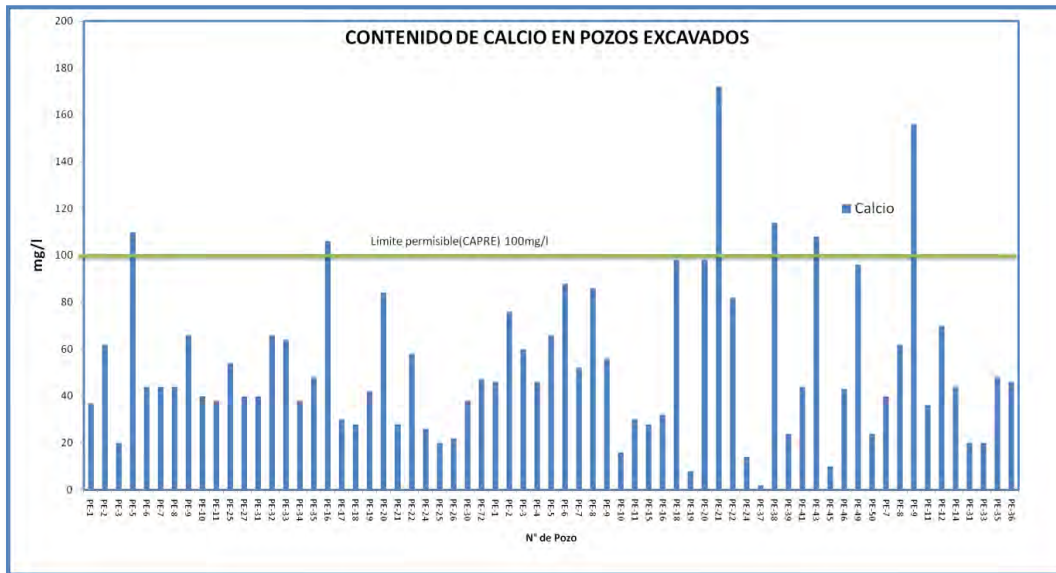


Figura 2.18 Valores de calcio de los pozos excavados del acuífero de Tisma

De los 62 pozos excavados 6 pozos presentan valores por encima del límite permisible como son los pozos PE-5 (Finca San Ildefonso), PE-16 (Zambrano), PE-21 (Finca San Antonio), PE-38(Finca La Consuelo), PE-43 (Paso panaloya) y PE-9(Finca Finlandia).en estas zonas hay suelos arcillosos de alta permeabilidad (Figura 2.18).

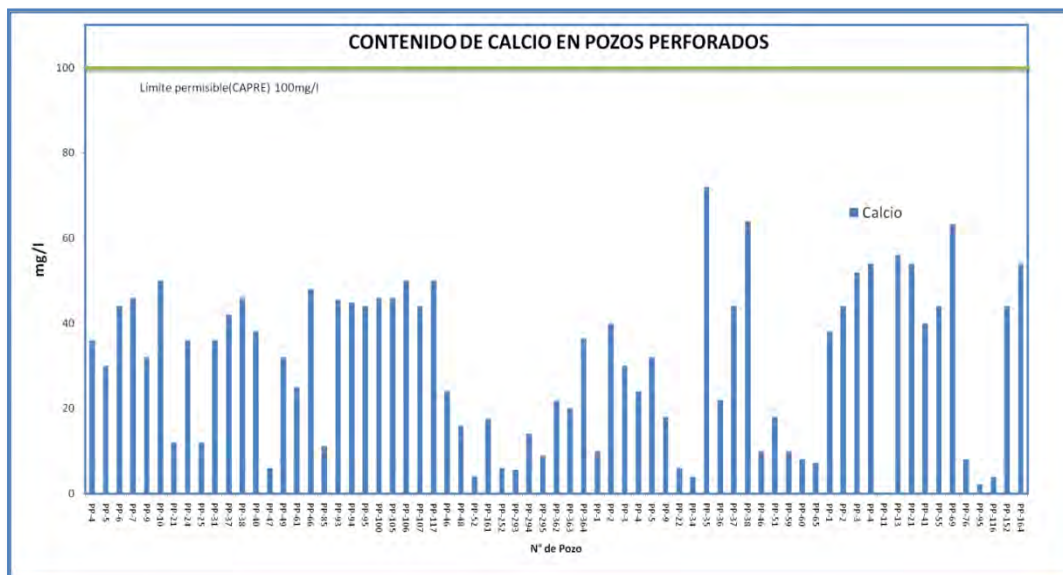


Figura 2.19 Valores de calcio de los pozos perforados del acuífero de Tisma
 Los pozos perforados se caracterizan por presentar valores bajo el limite permisible (figura 2.19)

2.9.3.1.2 Potasio (K)

El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico. En aguas subterráneas el contenido K no suele sobrepasar 10 mg/l. aunque en casos excepcionales pueden alcanzarse 100,000 mg/l. (salmueras). Cantidades de K por encima de 10 mg/l. pueden en ocasiones, ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales (Porras, 1985).

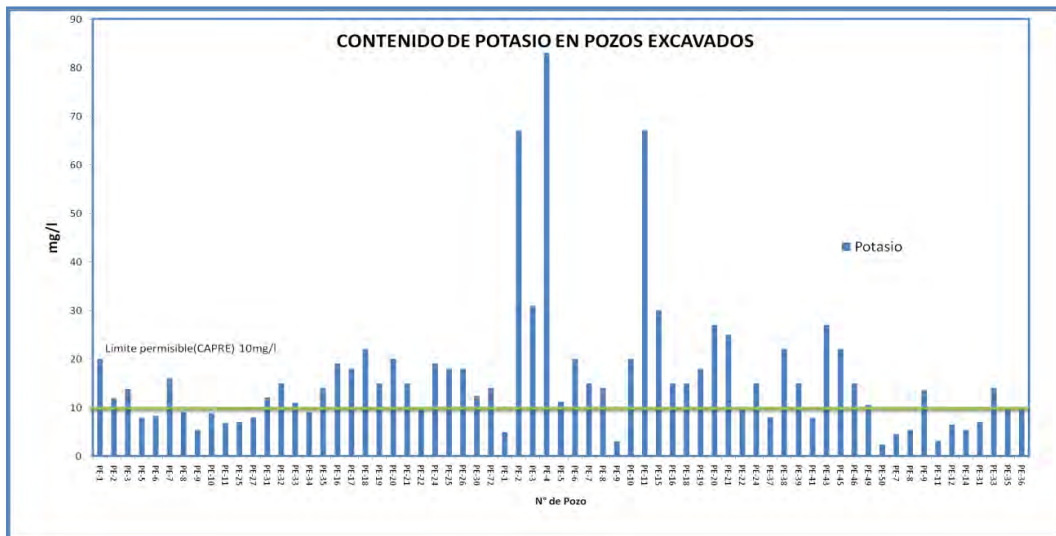


Figura 2.20 Valores de potasio de los pozos excavados del acuífero de Tisma

En total hay 46 pozos excavados por encima del límite permisible por CAPRE de 10mg/l (figura 2.20), mientras que en los pozos perforados (34 pozos perforados) (figura 2.21) se encuentran por encima del límite permisible debido a que en la mayoría de los casos estos se ubican en zonas pobladas donde hay mucha indicio de filtración por vertidos de aguas residuales, también se puede deber a la abundancia de depósitos de mineral de estos compuesto (Pancorbo, 2009)

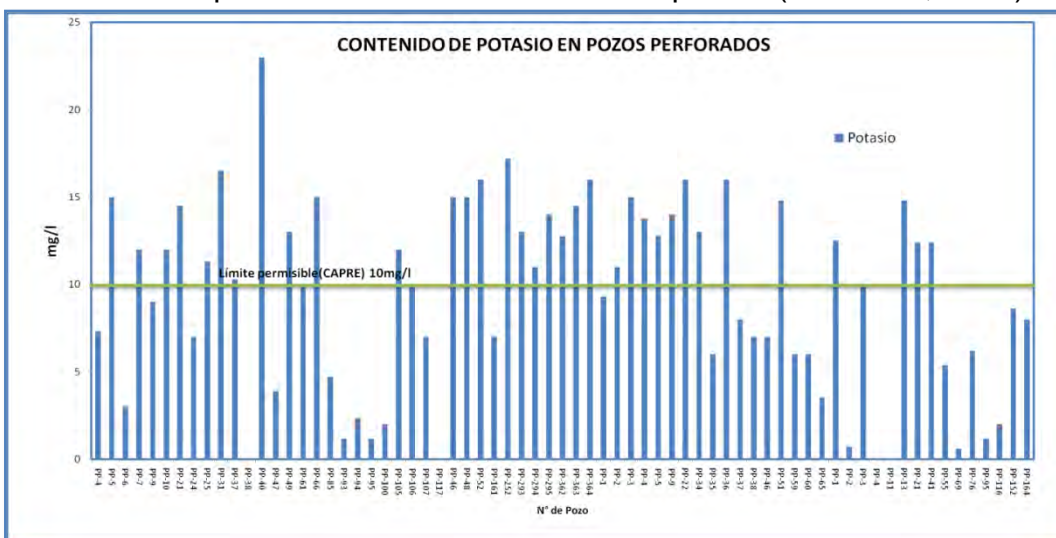


Figura 2.21 Valores de potasio de los pozos perforados del acuífero de Tisma

2.9.3.1.3 Sodio (Na)

El sodio es liberado por la meteorización de silicatos y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl. La presencia de sodio en cantidades elevadas es muy perjudicial para la agricultura ya que tiende a impermeabilizar los suelos, especialmente en zonas de drenaje deficiente: la presencia de Ca y Mg atenúa este efecto. La concentración de Na en aguas naturales es muy variable, pudiendo alcanzar hasta 120.000 mg/l. en zonas evaporíticas; sin embargo, raramente sobrepasa 100 ó 150 mg/l. en aguas dulces normales (Porras, 1985).

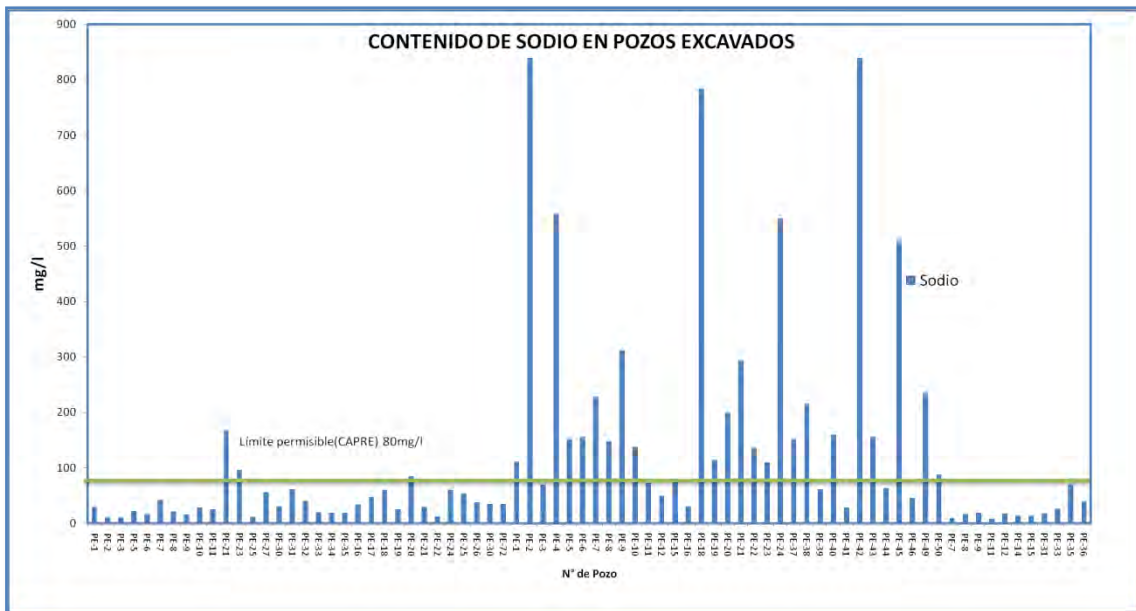


Figura 2.22 Valores de sodio de los pozos excavados del acuífero de Tisma

Hay 21 pozos excavados con valores de Na por encima del límite permisible por la norma regionales CAPRE de 80mg/l los que se ubican en el contorno a la laguna de Tisma y en las costas del Lago de Nicaragua (figura 2.22).

Una fuente importante de Na la constituyen los aportes de agua del Lago de Nicaragua través de la Laguna de Tisma y sobre las agua subterráneas, tanto por fenómenos de intrusión en la zona costeras del acuífero.

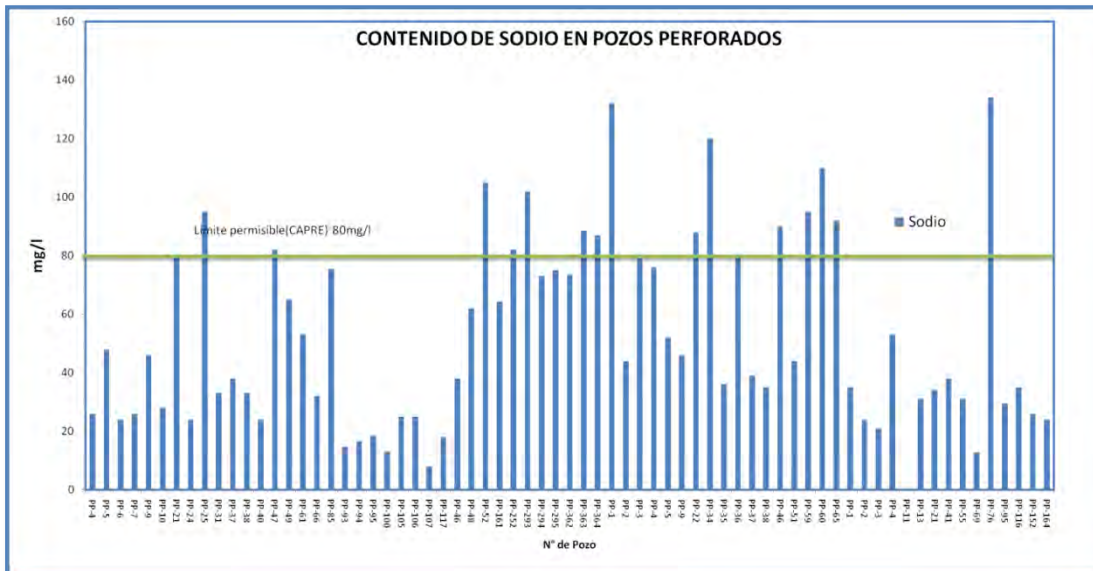


Figura 2.23 Valores de sodio de los pozos perforados del acuífero de Tisma

En el caso de los pozos perforados hay 15 pozos que presentan valores por encima del límite permisible los que se distribuyen desde Zambrano hasta la cercanía de Tisma y la costa de Lago de Nicaragua (figura 2.23).

El alto contenido de Sodio en estos pozos está asociado al medio geológico, debido a los aglomerados andesíticos con alta concentración de silicios.

2.9.3.1.4 Magnesio (Mg)

El magnesio, menos abundante que el Ca en las aguas naturales, procede de la disolución de rocas carbonatadas evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina. En aguas dulces naturales el contenido en ión Mg, no suele sobrepasar 40 mg/l. En terrenos calcáreos pueden rebasarse a veces 100 mg/l. y en terrenos evaporíticos pueden alcanzarse valores de 1000 mg/l (Porrás, 1985).

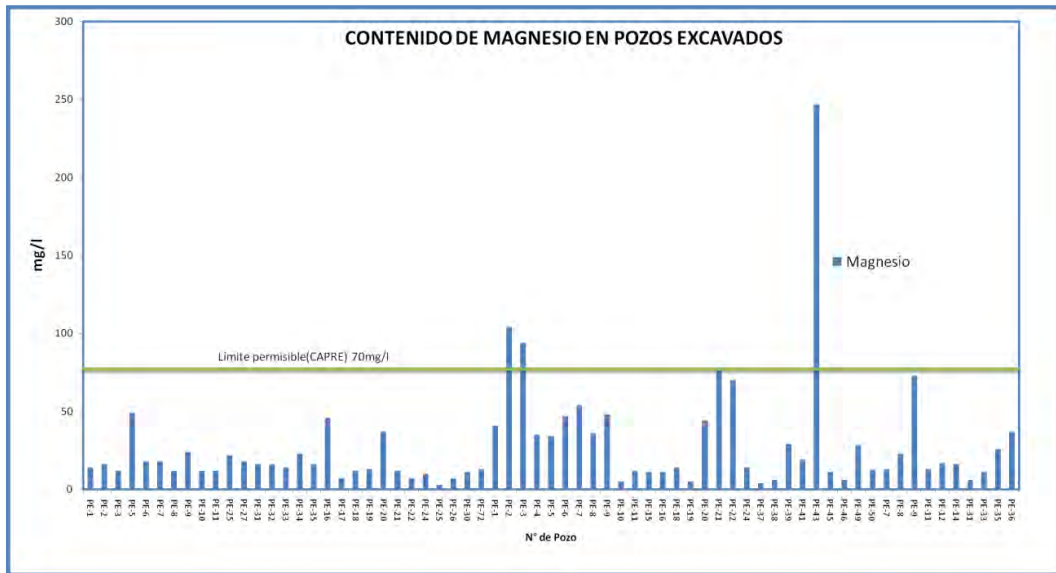


Figura 2.24 Valores de magnesio de los pozos excavados del acuífero de Tisma

Solo hay 3 pozos excavados que presentan valores mayores al límite permisible por la CAPRE para el Magnesio que es de 70 mg/l son los pozos PE-2 (Paso Panaloya), PE-3 (Paso Panaloya), PE-43 (Paso Panaloya) y PE-9 (Finca Finlandia) esto puede deberse a intrusión de las aguas del Lago de Nicaragua y a material calcáreo de la zona (figura 2.24).

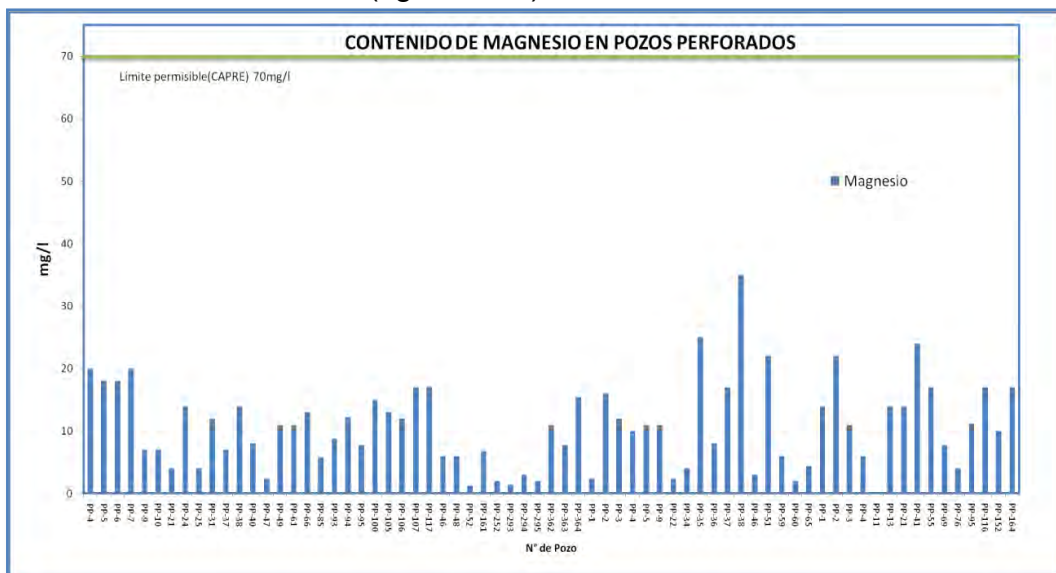


Figura 2.25 Valores de magnesio de los pozos perforados del acuífero de Tisma

Las aguas subterráneas de los pozos perforados (figura 2.25) no se ven afectadas por los terrenos calcáreos presentes en la zona, ni por la intrusión del Lago de Nicaragua, todos estos presentan valores por debajo del límite permisible por la CAPRE.

2.9.3.2 Aniones

2.9.3.2.1 Bicarbonatos (HCO_3)

La concentración del ión bicarbonato en las aguas es con frecuencia elevado, debido a su estrecha relación con el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico.

En aguas con pH inferior a 8.3 la mayoría de las aguas subterráneas naturales- la especie carbonatada dominante es el ión bicarbonato. En estas aguas la concentración de HCO_3 , suele variar entre 50 y 400 mg/l aunque puede alcanzar valores de hasta 800 mg/l. Concentraciones de hasta 1000 mg/l de HCO_3 pueden encontrarse en aguas pobres en Ca y Mg o en las que se producen fenómenos de liberación de CO_2 (reducción de sulfatos) en el acuífero (Porras, 1985).

En la mayoría de los pozos excavados y excavados predomina el bicarbonato como ion predominante. Algunos pozos excavados presentan valores por encima de los 800 mg/l PE-18(Comunidad Tapia, Malacatoya), PE-24(Finca La Gloria, San Juan de La Plywood) y PE-45(Finca El Panamá, Malacatoya). Concentraciones altas de iones bicarbonatos (HCO_3) tienden a elevar la alcalinidad y esto es indicativo de aguas fértiles (figura 2.26).

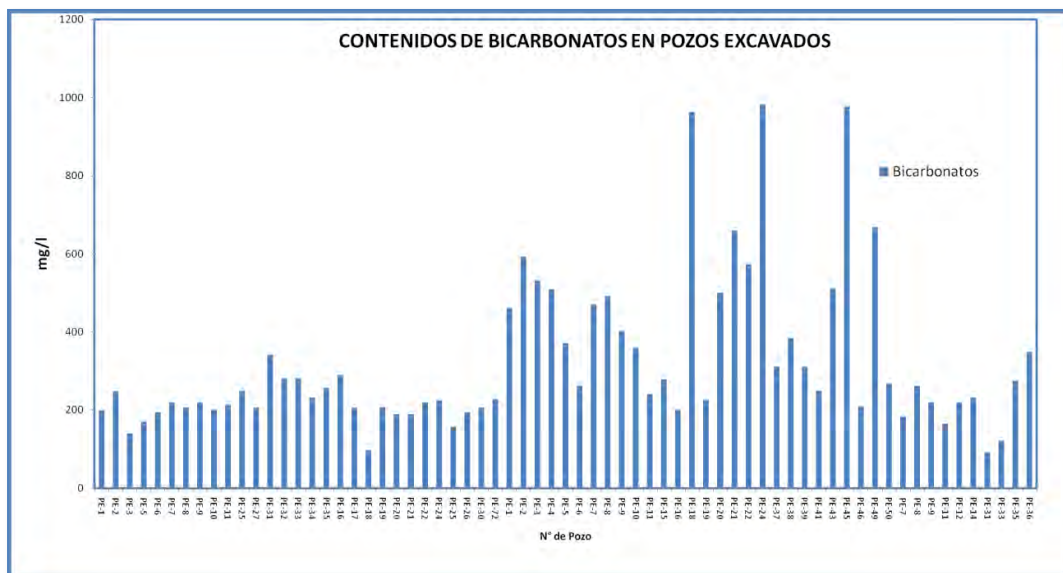


Figura 2.26 Valores de bicarbonato del pozos excavados del acuífero de Tisma

Los pozos perforados mantiene sus valores entre 50 a 400mg/l, lo que las caracteriza por ser aguas muy fértiles (figura 2.27).

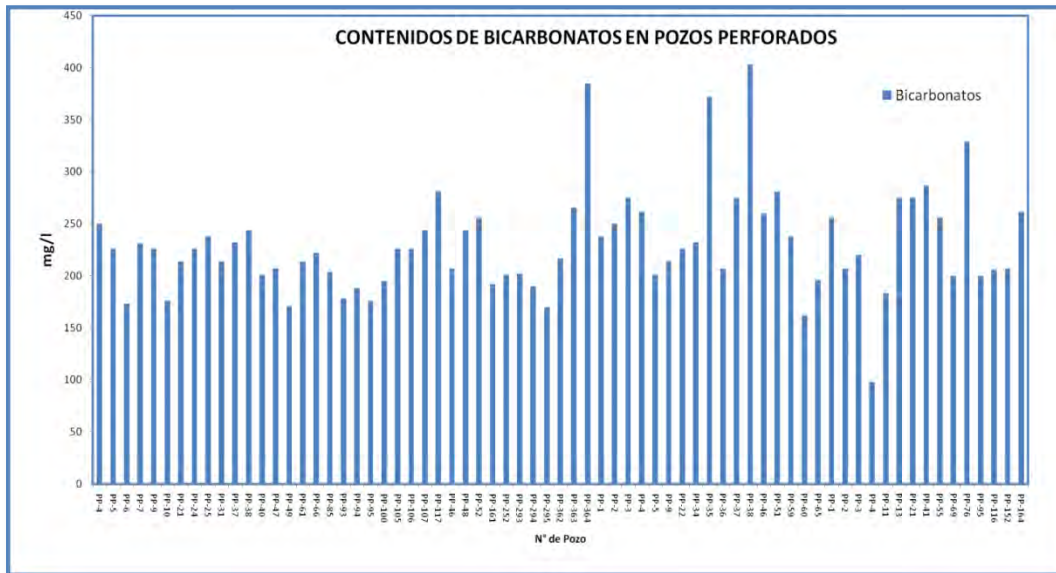


Figura 2.27 Valores de bicarbonatos del pozos perforados del acuífero de Tisma

2.9.3.2.2 Cloruros (Cl)

El agua de lluvia puede ser una fuente importante de ion Cl, especialmente en zonas próximas a la costa. La concentración de Cl en el agua de lluvia disminuye rápidamente tierra adentro. La concentración de Cl en aguas subterráneas es muy variable, desde menos de 10 mg/l a más de 2,000 ó 3,000 mg/l. En salmueras naturales, próximas a la saturación de NaCl puede llegar a casi 200,000 mg/l (Porras, 1985).

Los pozos escavados son los que presenta valores por encima del límite permisible de 100mg/l de la norma CAPRE. Todos ellos ubicados cerca de la costa del Lago de Nicaragua influenciado por el agua de lluvia que se precipitan cercanas al Lago y por la influencia de intrusión del agua superficial sobre las aguas subterráneas (figura 2.28).

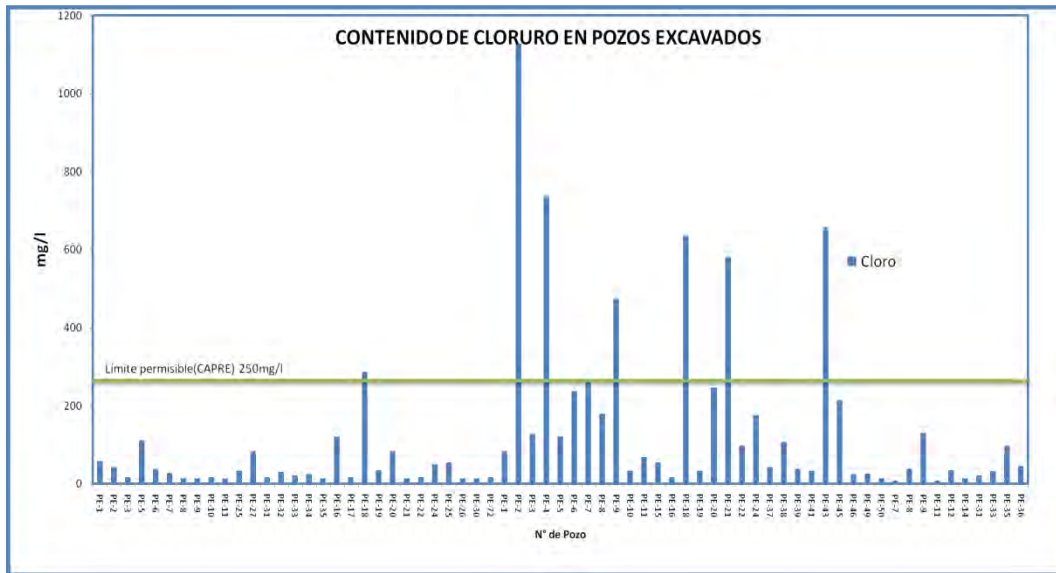


Figura 2.28 Valores de cloruros del pozos excavados del acuífero de Tisma

Los pozos perforados no presentan valores por encima del límite permisible lo que indica que no son influenciadas por la infiltración del agua de lluvias cercana a la costa ni las aguas del mismo Lago de Nicaragua (figura 2.29).

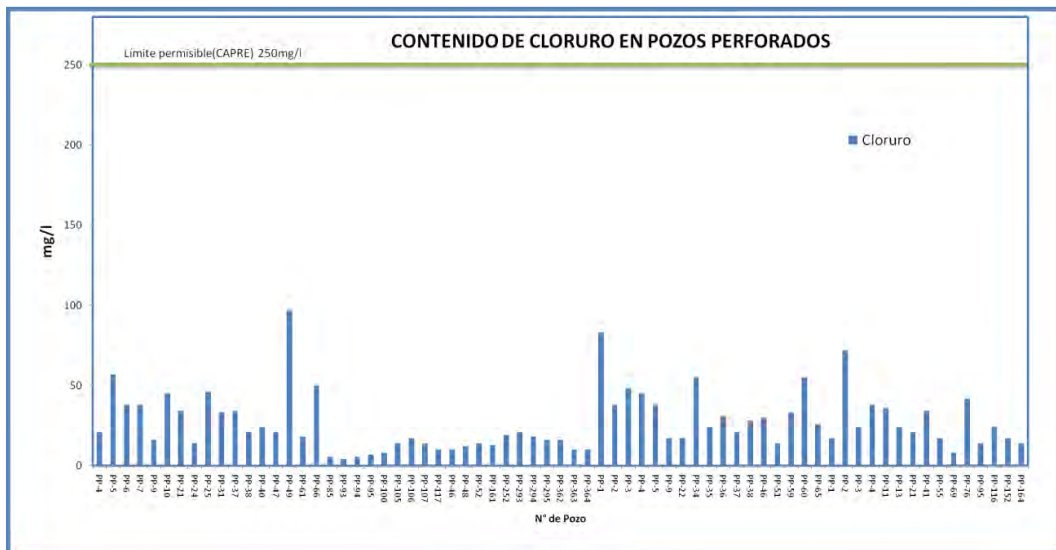


Figura 2.29 Valores de cloruros del pozos perforados del acuífero de Tisma

2.9.3.2.3 Sulfatos (SO₄)

La mayoría de las aguas subterráneas sulfurosas presentan contenidos apreciables de HS-ó H₂S que incluso a Concentración muy baja, confieren al agua el típico olor a huevos podridos(Porras, 1985).

Los pozos excavados presentan 2 pozos con valores de sulfato por encima del límite permisible por la CAPRE de 250mg/l entre estos pozos esta el PE-18(Finca La Conchita, cerca de Tisma) y el PE-43(Paso Panaloya) (figura 2.30).

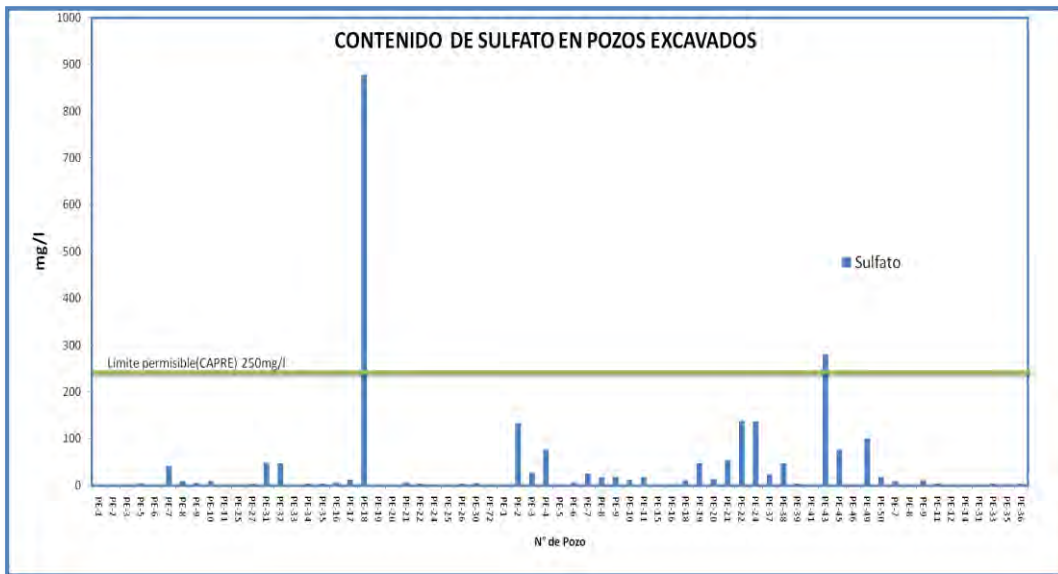


Figura 2.30 Valores de sulfato del pozos excavados del acuífero de Tisma

Mientras que los pozos perforados la presencia del sulfato esta dentro el límite permisible por CAPRE (figura 2.31).



Figura 2.31 Valores de sulfato del pozos perforados del acuífero de Tisma

2.9.3.2.4 Nitrato (NO₂)

Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan. Lo que ocurre raramente, bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración en aguas

subterráneas no contaminadas varía ampliamente aunque no suele sobrepasar los 10 mg/l. El origen de los nitratos en las aguas subterráneas no siempre es claro. A menudo son indicadores de contaminación alcanzando entonces elevadas concentraciones en la parte superior de los acuíferos libres (Porras, 1985).

El tipo de contaminación a que es debida su presencia en el agua subterránea está relacionado con las actividades urbanas, industriales y ganaderas y muy frecuentemente, con carácter no puntual con las prácticas de abonados intensivos inadecuados con compuestos nitrogenados.

Las afectaciones con nitratos se presentan en los pozos excavados influenciados por la cercanía del nivel freático y cercano a las actividades ganaderas lo que permite la infiltración de los nitratos al agua subterránea. Los pozos más afectados que presenta valores por encima del límite permisible de la OMS de 45mg/l son el PE-5 (finca San Idelfonso),PE-9 (finca ganadera Santa Lucia),PE-16 (Zambrano),PE-2,PE-5 (finca La Zorra),PE-6 (Osagay) ,PE-18(finca San José), PE-20 (finca La Virgen) y PE-49(finca Ganadera El Consuelo) (figura 2.32).

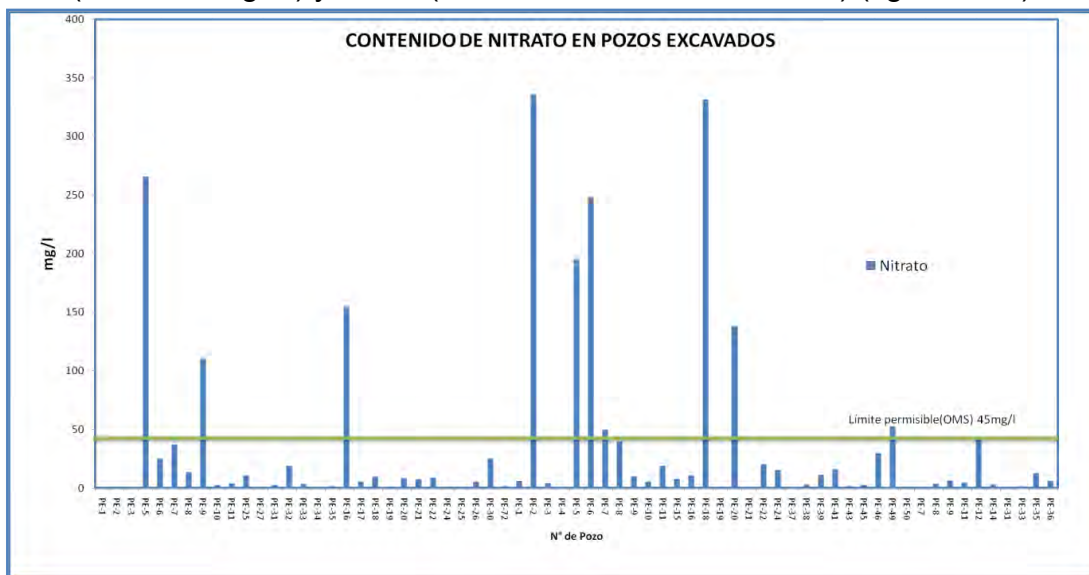


Figura 2.32 Valores de nitrato del pozos excavados del acuífero de Tisma

Los pozos perforados presentan valores de nitratos, pero con niveles bajo con respecto las normas CAPRE (figura 2.33).

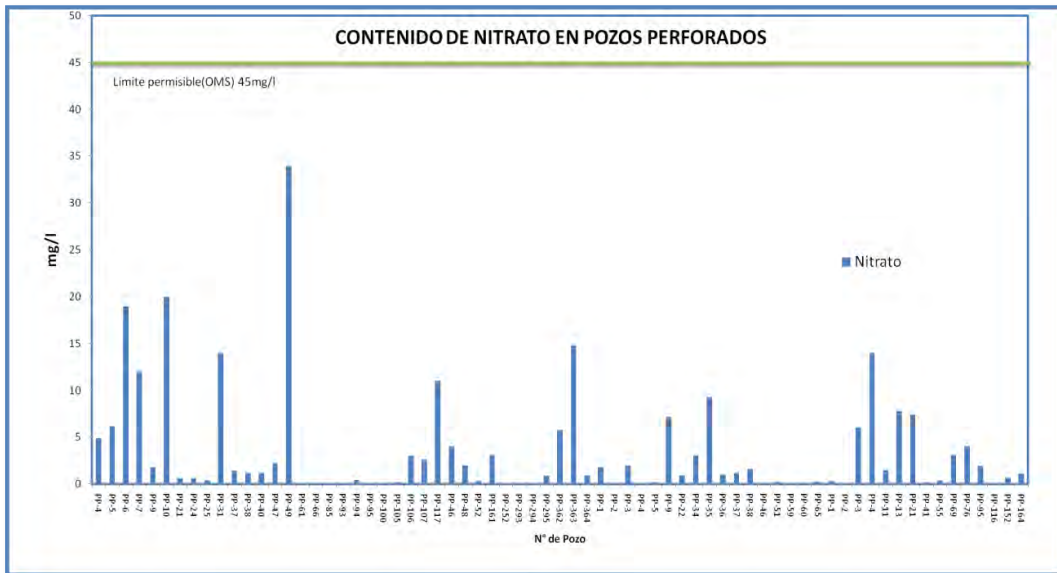


Figura 2.33 Valores de nitrato del pozos perforado del acuífero de Tisma

El nitrato en cantidades superiores a 45 mg/l puede llegar a producir, principalmente en niños, la llamada enfermedad azul (metahemoglobinemia) a causa de efectos sobre la sangre.

2.9.4 Parámetros Físicoquímicos

El agua subterránea natural, como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas, presenta una serie de propiedades o características físicoquímicas: temperatura, conductividad eléctrica, dureza, sólidos disueltos, etc. Estas propiedades varían en el espacio y en el tiempo.

2.9.4.1 Temperatura

La temperatura del agua subterránea, en un punto y momento determinado, representa un estado de equilibrio entre los "aportes" y las "extracciones" caloríficas en ese punto. A efectos prácticos, puede considerarse que en los acuíferos existe una "zona neutra", de temperatura constante, por encima de la cual la influencia térmica más significativa es la de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura ambiente. La distribución espacial de temperaturas en un acuífero depende de la conductividad térmica e hidráulica del medio, de la relación longitud/profundidad de la cuenca, configuración del nivel freático, distribución de la temperatura ambiente respecto a las zonas de recarga y descarga. etc. En cualquier caso, la temperatura de las aguas subterráneas es muy poco variable (Porrás, 1985).

La mayoría de los pozos excavados presenta valores entre 18-30°C dentro de los límites permisibles para el agua subterránea a excepción de los pozos PE-

11(empalme de San Benito) y PE-34(finca La campana a 5 km al norte de la ciudad de Tipitapa) los que presentan temperaturas de 32 y 34°C respectivamente (figura 2.34).

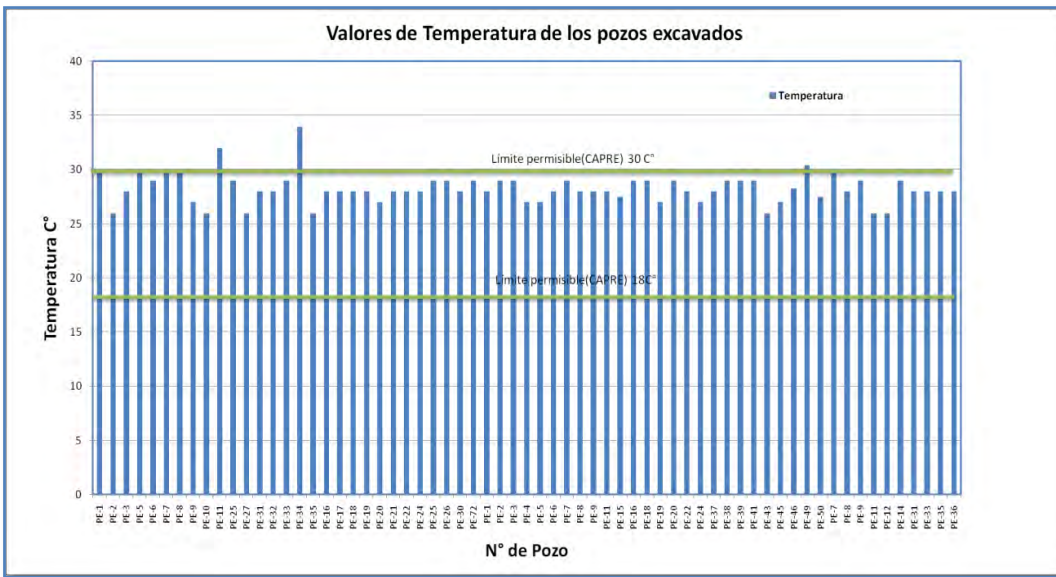


Figura 2.34 Valores de temperatura de los pozos excavados del acuífero de Tisma

Los pozos perforados presentan 29 pozos por encima de los 30°C alcanzando un máximo de 39°C en el pozo PE-47 ubicado en la zona urbana de Tipitapa puede ser influenciado por el termalismo que se presenta en la zona de Tipitapa (figura 2.35).

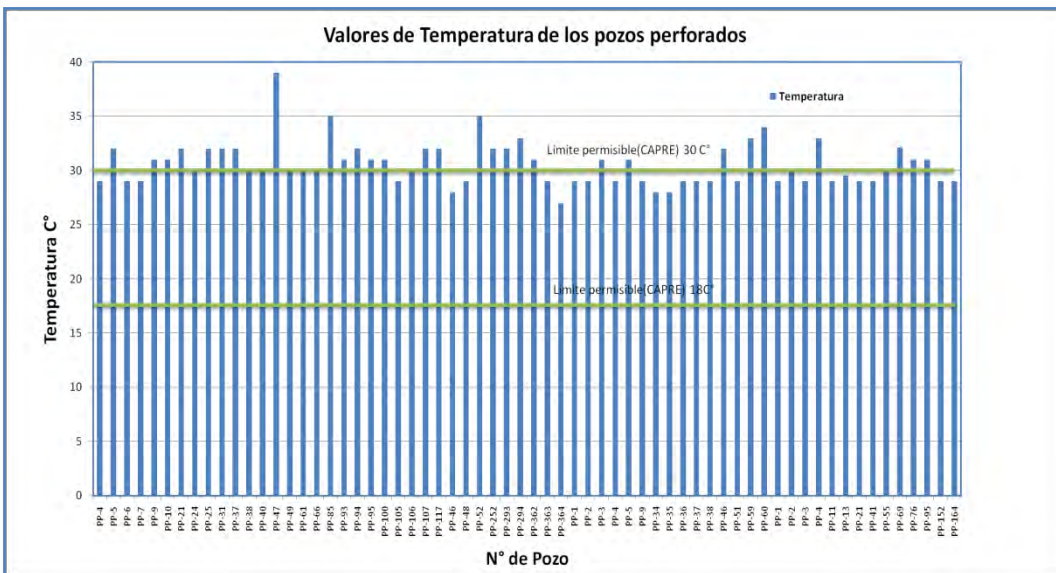


Figura 2.35 Valores de temperatura de los pozos perforados del acuífero de Tisma

2.9.4.2 Conductividad eléctrica

Como consecuencia de su contenido iónico, el agua se hace conductora de la electricidad. A medida que la concentración iónica aumenta. La unidad de medida de conductividad es $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens/cm) o $\mu\text{mho}/\text{cm}$ (micromho/cm), ambas equivalentes (Porrás, 1985).

Los valores de conductividad de las aguas subterráneas naturales varían considerablemente, el valor límite permisible según las normas regionales CAPRE es de 500 mg/l .

Un total de 40 pozos de los 67 pozos con datos de conductividad están por encima del límite permisible entre los más destacados están PE-2 (5,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Paso Panaloya), PE-21 (4,400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (finca Antonio, cerca de la costa del Lago de Nicaragua), PE-18 (3,900 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (finca San José, Paso Panaloya), PE-4 (3,400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (finca Los Cocos Paso Panaloya), PE-18 (2,745 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (finca Las Conchitas, cerca de Tisma), PE-9 (2,700 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (finca El Hatillo, en la costa del Lago de Nicaragua), y el PE-43 (2,860 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (caserío del Paso Panaloya). La mayoría de pozos con alta conductividad están cercanos al Paso Panaloya y hacia al este a la costa del Lago de Nicaragua (figura 2.36).

La conductividad elevada en estos pozos PP-2, PP-21, PP-18, PP-4, PP-18, PP-9 y PP-43 está relacionada con la alta concentración de sodio que presentan estos por encima del límite permisible (figura 2.37).

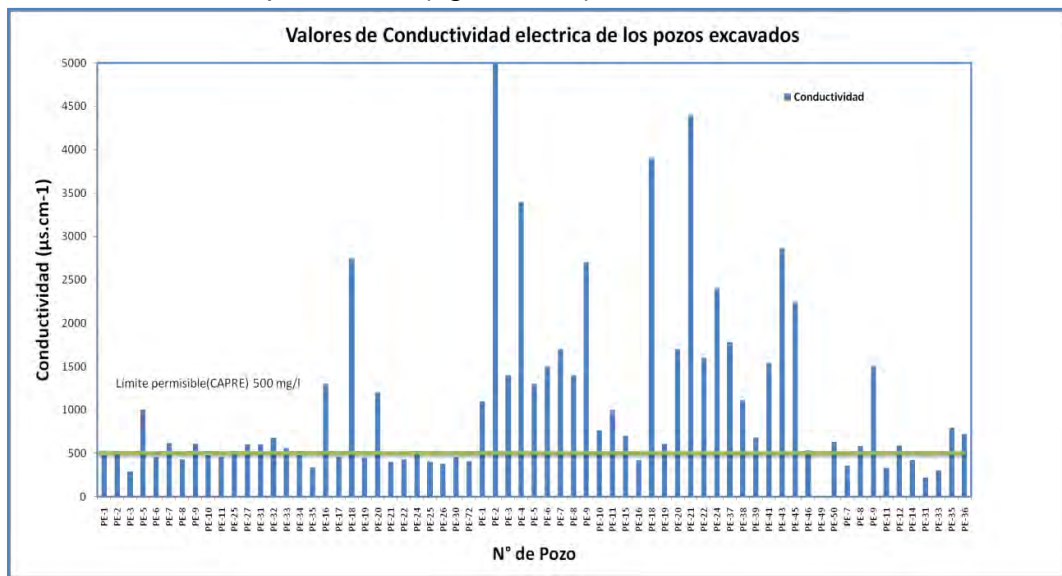


Figura 2.36 Valores de conductividad eléctrica de los pozos excavados del acuífero de Tisma

En cuanto a los pozos perforados 17 pozos de los 69 muestreados presentan concentraciones por encima de lo permitido para agua potable pero no alcanza valores tan altos como los excavados que son más afectado por la intrusión del agua del Lago de Nicaragua. Lo valores máximo que alcanzan son de 695 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La mayoría de estos pozos con altos valores de conductividad están relacionados a altas concentraciones de sodio por encima de lo permisible.

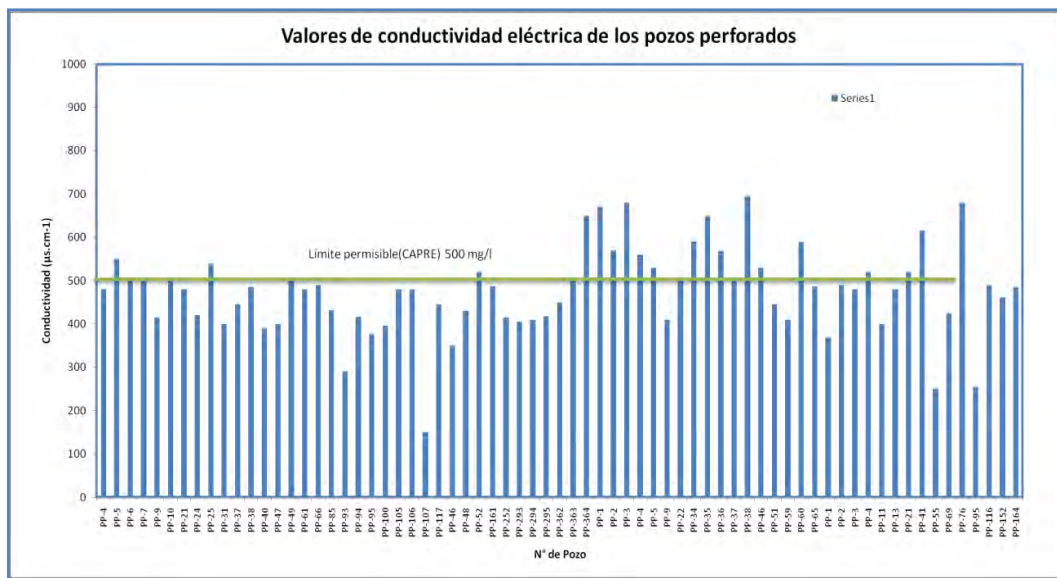


Figura 2.37 Valores de conductividad eléctrica de los pozos perforados del acuífero de Tisma

2.9.4.3 Total de sólidos disueltos

El total de sólidos disueltos (TSD) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles. Es la materia disuelta en el agua y comprenden las sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica (Porrás, 1985).

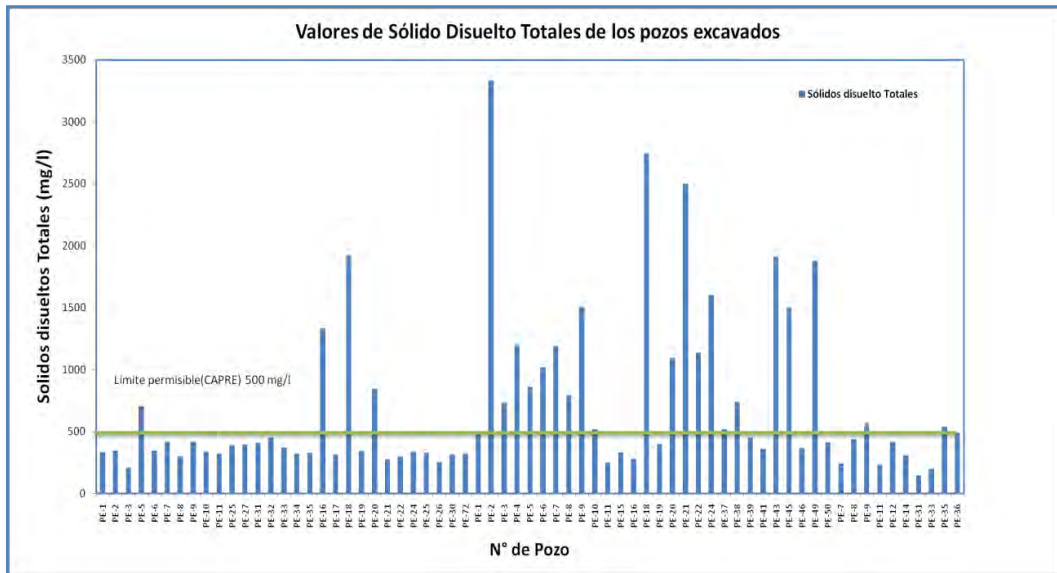


Figura 2.38 Valores de sólidos disueltos totales del pozos excavados del acuífero de Tisma

Hay 25 pozos excavados de los 67 que tiene datos de TSD, que están por encima del límite permisible propuesto por CAPRE de 500 mg/l en el área del acuífero de Tisma, la mayoría se ubica en el contorno de la Laguna de Tisma y próximos a la Lago de Nicaragua se asocian con el contenido de compuestos iónicos como el calcio, magnesio y bicarbonatos en el agua y que no es más que el resultado del tipo de formación geológica y rocas predominantes en el área (figura2.38).

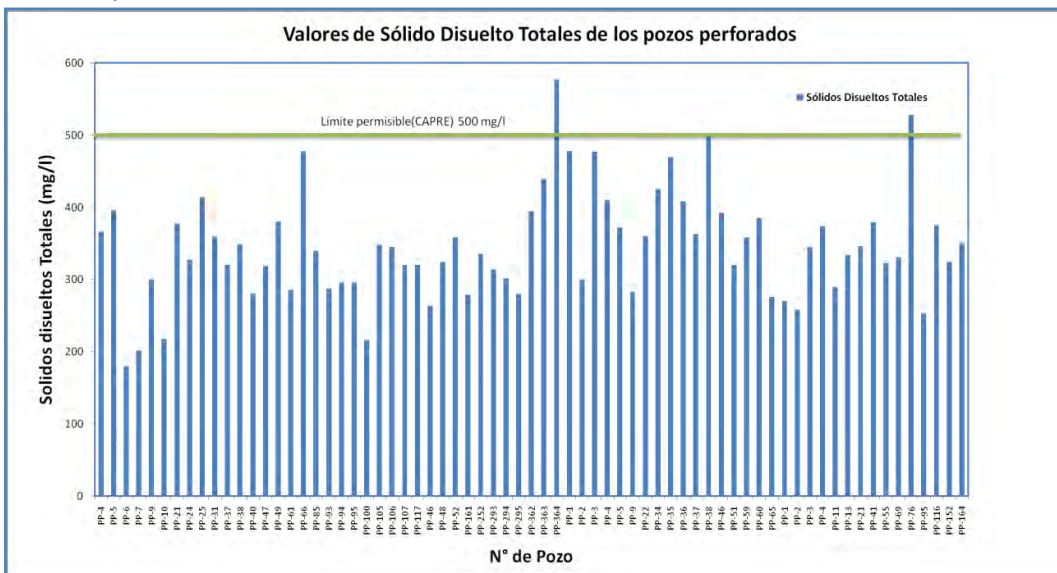


Figura 2.39 Valores de sólidos disueltos totales del pozos perforados del acuífero de Tisma

De los 69 pozos perforados solo dos pozos sobrepasan el límite permisible de 500 mg/l son el PP-364 (577mg/l) y el PP-76 (528mg/l) en estos pozos se presenta alto niveles de sodio y potasio (figura 2.39).

2.9.4.4 pH

Se define $\text{pH} = -\log [H^+]$. El valor del pH define la acidez de una agua, siendo para aguas neutras $\text{pH} = 7$. Para aguas ácidas $\text{pH} < 7$ y para aguas básicas $\text{pH} > 7$. El pH aumenta con el aumento de temperatura hasta en un 8% por lo que debe referirse a la temperatura de medida in situ. Por regla general el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6.5 y 8, aunque excepcionalmente puede variar entre 3 y 11 (Porrás, 1985).

El pH juega un papel importante en muchos procesos químicos y biológicos de las aguas subterráneas naturales (equilibrio carbonatado. procesos redox. etc.). En los pozos excavados solamente el PE-2 y el PE-18 están fuera de los límites permisibles por la CAPRE (figura 2.40).

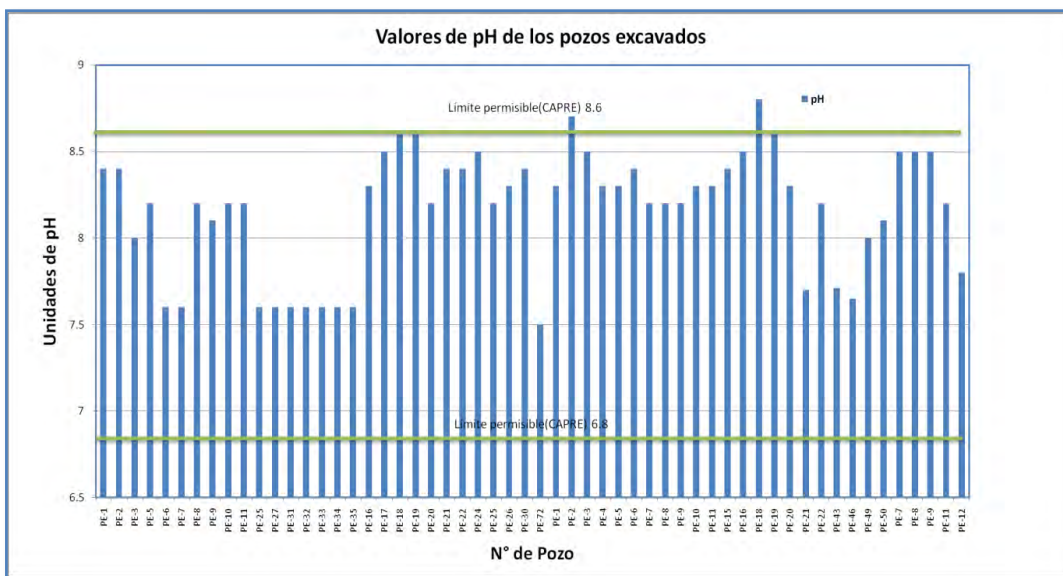


Figura 2.40 Valores de pH de los pozos excavados del acuífero de Tisma

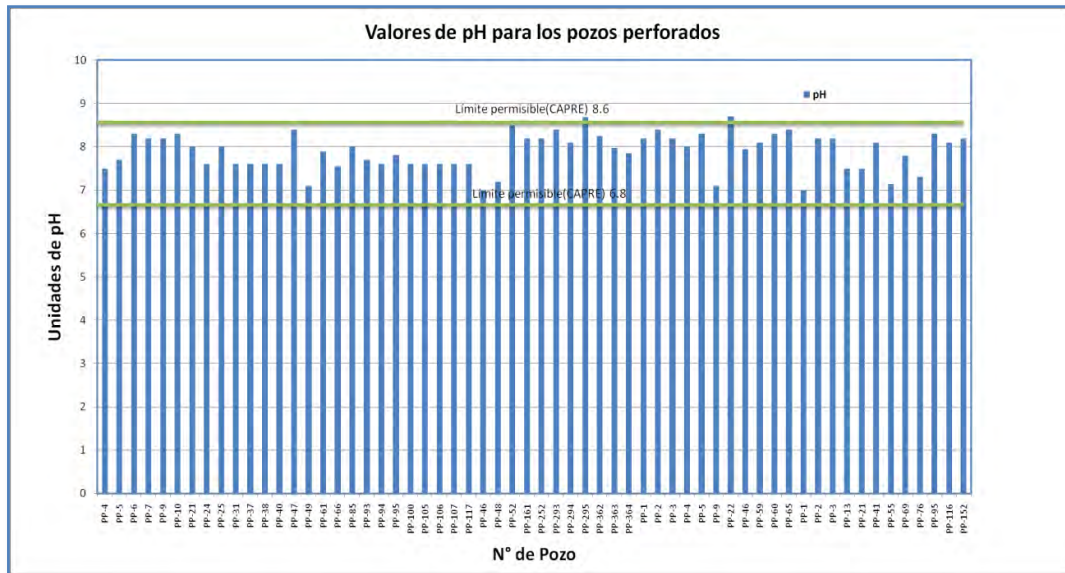


Figura 2.41 Valores de pH de los pozos perforados del acuífero de Tisma

En el caso de los pozos perforados la mayoría están dentro del límite permisible de CAPRE(figura2.41).

2.9.4.5 Dureza

La dureza de un agua mide la capacidad de ésta para consumir jabón o producir incrustaciones. Aunque en la reacción con jabón para producir compuestos insolubles pueden intervenir Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Ba, Zn, etc. actualmente la dureza se define en términos de contenido en Ca y Mg (dureza total). Menos utilizados son los términos dureza permanente y dureza temporal que representan la parte de la dureza asociada al Cl- y SO.,= y la parte asociada a las especies carbónicas respectivamente. La dureza de las aguas subterráneas naturales varía generalmente entre 10 y 300 mg/l de CaCO, pudiendo llegar a 2000 o más (Porras, 1985).

Las aguas duras son, por lo general, incrustantes en tanto que las blandas suelen ser agresivas.

CLASIFICACIÓN POR LA DUREZA:

Tipo de agua	Dureza (mg/l CaCO,)
1. Agua blanda	0 - 60
2. Agua moderadamente dura	61 - 120
3. Agua dura	121 - 180
4. Agua muy dura	> 180

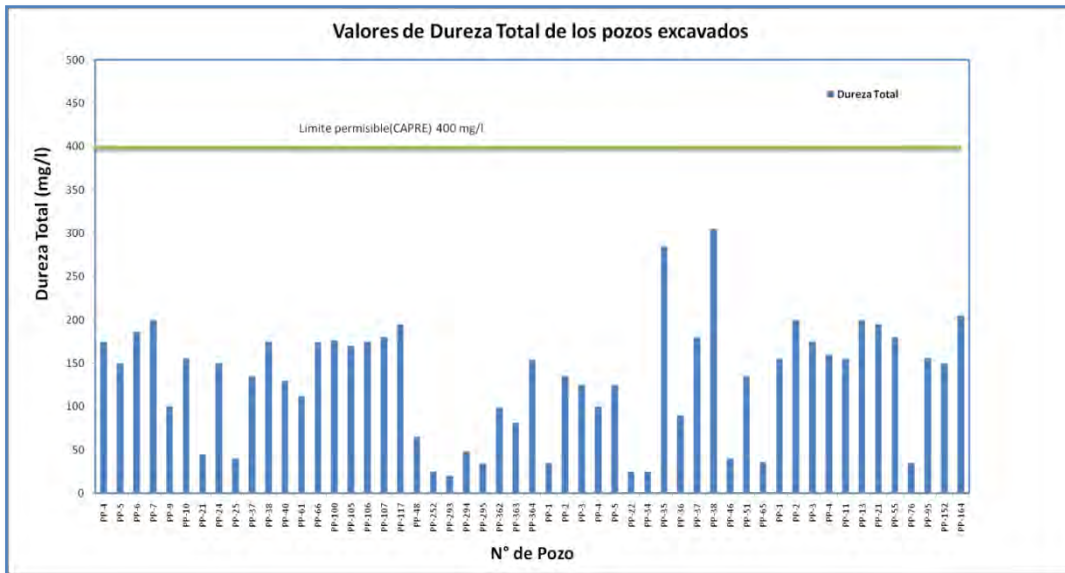


Figura 2.42 Valores de dureza total de los pozos excavados del acuífero de Tisma

La mayoría de los pozos excavados están por debajo del límite permisible de 400mg/l propuesto por las normas regionales CAPRE, pero se observan 10 pozos de los 45 pozos que presentan información de dureza en el acuífero en estudio con valores por encima de la norma, con valores que varían de los 415-1310 mg/l donde sobresalen PE-43(1300mg/l) y el PE-21(1310mg/l) son aguas muy duras. Estos pozos se sitúan en el Paso Panaloya y San Pedro cercanos a la costa del Lago de Cocibolca (figura 2.42).

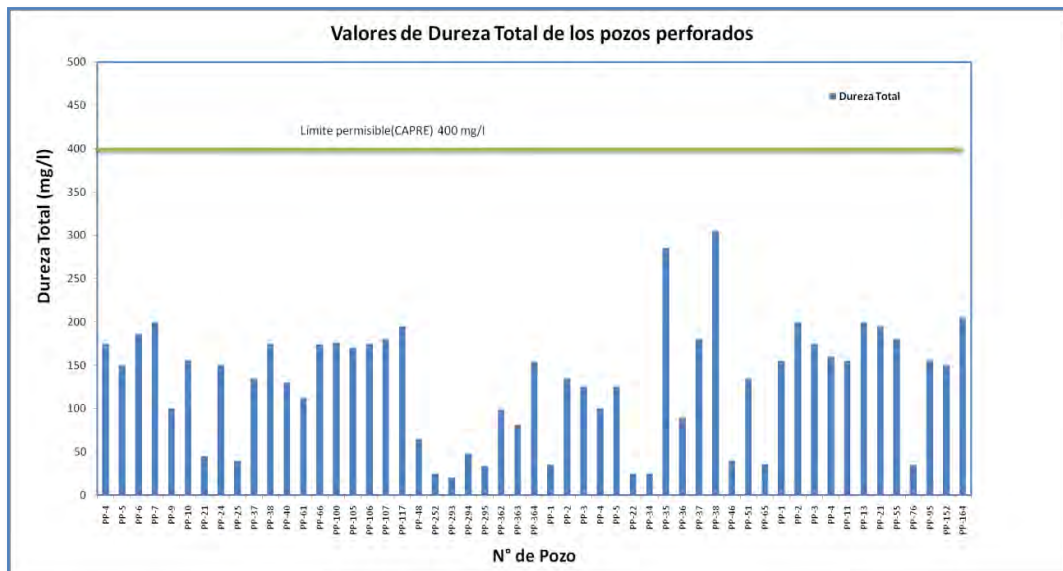


Figura 2.43 Valores de dureza total de los pozos perforados del acuífero de Tisma

Los pozos perforados presenta valores por debajo del límite permisible y su dureza varía entre 20-305mg/l (figura 2.43)

2.10 Elaboración del modelo matemático del acuífero.

Un modelo científico es una herramienta que reproduce el funcionamiento de un sistema natural, y cuyo objetivo es el estudio y el análisis del mismo bajo diferentes condiciones. Permite así mismo obtener una visión de conjunto de los procesos naturales que en él pueden actuar, y analizar la incidencia de cada uno de los factores o variables presentes, pudiendo predecir su comportamiento y respuesta cuando es sometido a unas situaciones de estrés determinadas (Flores, 2004).

El modelo matemático hidrogeológico pretende estudiar, organizar y actualizar datos existentes, con el fin de presentar un sistema de flujo regional (Donato, 2002).

Existen diferentes tipos de modelos matemáticos, se toma para el presente estudio la clasificación de interés: los modelos numéricos.

En los modelos digitales o numéricos, existen dos aproximaciones o métodos básicos mediante los cuales puede resolverse la ecuación de la continuidad:

- Modelos de resolución mediante diferencias finitas.
- Modelos de resolución mediante elementos finitos.

Para el presente estudio se trabajará con el modelo de resolución mediante diferencias finitas MODFLOW y la interface de Visual Modflow, por considerarse un modelo apropiado para el sistema que se desea reproducir y eficientemente comprobado en numerosos acuíferos.

En Nicaragua se implementó este modelo para una cuenca piloto en el estudio del Acuífero de Occidente. (MAGFOR – INETER, 1999 – 2001), Calderón, 2003 (subcuenca, Posoltega), Flores, 2004, (acuífero de Sébaco,), Ruiz, 2005, (acuífero, Jinotega).

2.10.1. Ecuación de flujo del modelo matemático

La ecuación de flujo tridimensional de aguas subterráneas en estado estacionario, en un medio poroso, heterogéneo y anisotrópico, viene dada por la expresión:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \pm w = 0$$

Dónde:

K_x, K_y, K_z : Componentes del tensor de conductividad hidráulica (m/día)

dh – diferencia de carga hidráulica (m)

w : flujo volumétrico de entrada: (+) como recarga o (-) como descarga ($m^3 / día$)

x, y, z : dirección en el espacio de las coordenadas cartesianas (dirección del flujo).

Donde la relación entre las propiedades del medio poroso, el gradiente hidráulico y el flujo de agua subterránea, se da por la ley de Darcy para cada dirección de flujo, horizontal lateral, horizontal transversal y vertical.

$$1) q_x = K \frac{\partial h}{\partial x} \qquad 2) q_y = K \frac{\partial h}{\partial y} \qquad 3) q_z = K \frac{\partial h}{\partial z}$$

q_x, q_y, q_z – velocidad de Darcy en las diferentes direcciones

La ecuación se resuelve por medio del método de diferencias finitas, en donde las diferencias parciales $\partial x, \partial y, \partial z$ son aproximadas a longitudes finitas $\Delta x, \Delta y, \Delta z$. El acuífero se divide en celdas de dimensiones establecidas $\Delta x, \Delta y, \Delta z$, de manera que forman un conjunto de volúmenes finitos del acuífero.

El sistema de flujo de aguas subterráneas se discretiza por medio de una malla rectangular, donde el tamaño de una celda es muy pequeño comparado con el del acuífero, por lo que en el caso de un número infinito de celdas la solución es exacta. La Figura 2.17, representa el volumen elemental representativo para la simulación del acuífero

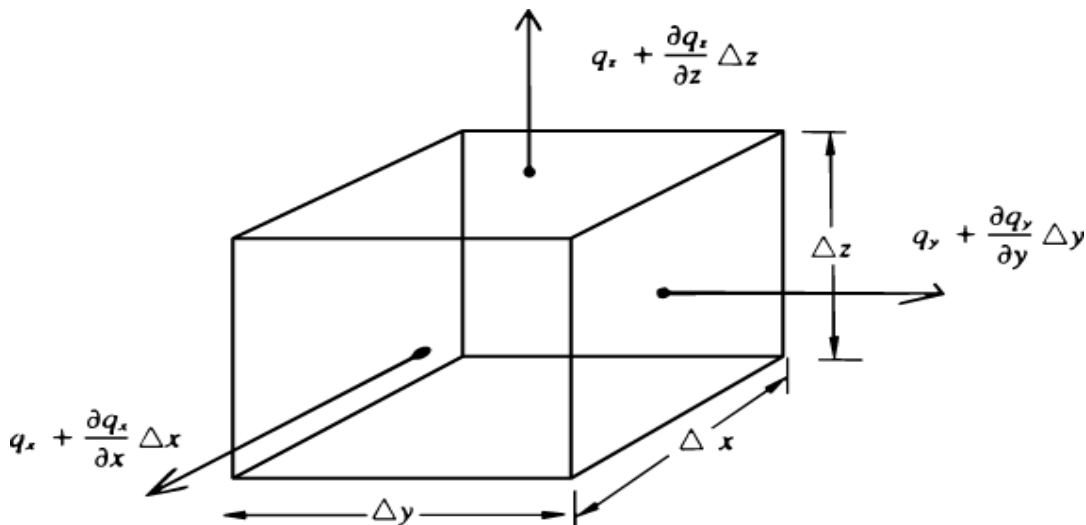


Figura 2.44 Volumen Elemental Representativo del acuífero

El proceso metodológico descrito, presenta la secuencia de las técnicas utilizadas para el presente estudio hidrogeológico del acuífero inter-lago, la cual ha consistido en el desarrollo sistemático de cuatro etapas como son: etapa preliminar, etapa de investigación de campo, etapa del procesamiento de datos e interpretación de la información y etapa de modelaje. Cada una de las mismas ha sido desarrollada y asociada directamente con los capítulos del presente estudio a como se muestra a continuación.

El ajuste del modelo puede cuantificarse mediante parámetros estadísticos que comparan los datos calculados con los datos observados.

El más común es el Error Medio (EM) que se define como: donde N es el número total de puntos observados; cal_i - obs_i son los valores calculados y observados, respectivamente, en este caso nivel estático. Un valor cercano a cero indica mejor ajuste entre dichos valores, mientras que el signo del EM indica la tendencia a la subestimación (-) o a la sobreestimación (+).

$$1) \quad EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (cal_i - obs_i)$$

Error Medio Absoluto

Se define error absoluto de una medida la diferencia entre el valor calculado y el valor observado de una medición. Incluyendo el signo (+ o -) todo en valor absoluto.

$$2) \quad EMA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |cal_i - obs_i|$$

Un mejor indicador del ajuste que los dos anteriores es el Error Medio Cuadrático (root means of squared residuals errors), cuya expresión de cálculo es:

$$3) \quad RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (cal_i - obs_i)^2 \right]^{1/2}$$

El análisis estadístico de error normalizado afirma que esto debe ser inferior a una unidad de modo que es positivo, este error debe ser menor del 10% para considerarse aceptable.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Etapa recopilación, selección y análisis de la información existente

Corresponde a un reconocimiento general de la información geológica, geomorfológica e hidrogeológica, del uso del suelo y sus características relacionadas con el sistema hidrográfico tanto en INETER, CIRA MARENA y municipalidades. Adicionalmente la etapa inicial ha involucrado la planificación operativa de las investigaciones de campo y de gabinete.

3.2 Etapa de Investigaciones de campo.

- **Hidrología superficial**

Con miras a determinar el régimen hidrológico de los ríos y su relación con el sistema de aguas subterráneas.

- **Hidrogeología.**

Como parte de la identificación y caracterización de las condiciones hidrogeológicas, se realizarán los siguientes trabajos de campo.

- a. Reconocimiento de la geología superficial
- b. Realización de 5 Mediciones geofísicas.
- c. Inventario y georeferenciaron de pozos perforados, excavados, manantiales y agua superficiales
- d. Realización de 19 pruebas de infiltración de suelos.

3.3 Elaboración del modelo conceptual del acuífero.

En la etapa de procesamiento de datos e interpretación, se integrarán los resultados de la primera y segunda etapa, en la que se incluyen los siguientes aspectos:

- **Caracterización climática.**

Para realizar la caracterización climática de la región, se utilizarán los acumulados y promedios mensuales de estaciones meteorológicas del aeropuerto Augusto Cesar Sandino, con un período común de 1979 a 2011, de los parámetros: precipitación, intensidad de lluvia temperatura, humedad relativa, viento, evaporación, evapotranspiración e insolación. Para el análisis temporal de las diferentes variables climáticas, se tomarán las estaciones más representativas de los distintos regímenes climáticos que se manifiestan en la región de estudio.

- **Balance hídrico.**

Cabe indicar que los datos climáticos formaron parte integrante en los métodos de interpretación aplicados en hidrología superficial e hidrogeología, como son: Construir una curva de gasto, balance hídrico de suelos y consecuente estimación de la recarga potencial al acuífero.

- **Geología.**

En los aspectos geológicos, se aplicaran métodos de correlación litoestratigráfica de las distintas unidades geológica que se obtienen de los pozos perforados , e interpretación geoestructural y litoestratigráfica de los resultados de las mediciones geofísicas.

- **Sistema hidrodinámico.**

Para caracterizar la distribución de las propiedades hidráulicas, para interpretar las pruebas de bombeo aplicando el método analítico de Theis, lo mismo que para estimar el caudal potencial. Para el cálculo de los flujos subterráneos, se aplicara la Ecuación de Darcy.

3.4 Etapa del diseño del modelo

En esta etapa se integran todos los componentes del modelo: fronteras, parámetros hidráulicos, recarga, datos de caudal de extracción, etc. Se preparan los mapas y datos en forma reconocida por el programa de modelo. Puede tomarse como la simplificación más aproximada de las condiciones naturales del sistema.

3.4.1 Calibración y verificación

Se trata de reproducir las condiciones naturales de flujo y carga hidráulica. Se efectúa mediante la asignación de valores de parámetros hidráulicos dentro de un rango permisible, que satisfagan las condiciones observadas en el campo. Esto es posible también usando parámetros automatizados.

3.4.2 Verificación

La verificación se refiere a la construcción correcta de un modelo. Se puede definir verificación como el proceso de determinar si la lógica operacional del modelo (programa de ordenador) se corresponde con la lógica del diseño. En términos más simples, consiste en determinar si hay errores en el programa.

3.4.3 Análisis de sensibilidad

La calibración del modelo está influenciada por la incertidumbre propia de la inexactitud de los parámetros. Aquí se utilizan los valores, máximos y mínimos de los valores hidráulicos, con el objetivo de determinar la afectación en la solución del modelo, trabajando con valores extremos; lo que puede realizarse con uno o la combinación de los parámetros.

3.4.4 Presentación de resultados

Aquí se presentan los datos obtenidos en el proceso, superficies freáticas, velocidad de flujo y el balance hídrico del acuífero, las condiciones de predicción.

4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del acuífero

4.1.1 Extensión y geometría del acuífero

Límites

La geomorfología y la geología de la zona permiten definir la forma del acuífero, así como sus límites superficiales.

Al oeste; el límite con el Lago Xolotlán por donde se sitúa la falla Cofradía alineación norte-sur.

Al norte; ésta, representa el contacto geológico entre las rocas consolidadas de la formación Coyol, representa una divisoria de las aguas subterráneas drenando hacia el lago de Managua y al río Tipitapa.

Al este, se ha tomado como límite del área de estudio, la divisoria de agua subterránea entre la cuenca objeto de estudio y la cuenca del Río Malacatoya,

Al sur se ha tomado como límite del área de estudio, la divisoria de agua subterráneas entre la cuenca objeto de estudio y la cuenca de Laguna de Apoyo.

Al sureste, se ha tomado como límite, la divisoria de agua subterránea del complejo volcánico del Volcán Masaya y la laguna del mismo nombre, El acuífero tiene una extensión de 757.7 km² y un espesor aproximado de 250m. La cuenca de captación superficial que drena hacia el Río Tipitapa mide 618 Km².

Generalmente, el límite inferior del acuífero es complejo de determinar, puesto que, solamente puede inducirse a partir de la inclinación de las formaciones consideradas impermeables, inferirse de acuerdo a la litología de los pozos más profundos del acuífero, los estudios geofísicos y geológicos en los estudios realizados en el área de estudio.

Con el fin de determinar el espesor del acuífero, se realizaron perfiles hidroestratigráficos y se retomaron estudios antecedentes que valoraban el basamento a una profundidad de 250-290m, El basamento está representado por las andesitas basálticas de la formación Coyol se les considera materiales de permeabilidad secundaria, lo que no permite la transferencia productiva de agua muy mínima hacia y desde ellas.

Los menores espesores del acuífero se localizan en las comunidades de la Montañita, El Comején y Los Altos de Masaya, donde se calcula una profundidad

entre 155 y 195 m. Los mayores espesores están localizados en la parte noreste del acuífero cerca de los del río Malacatoya y la comarca del mismo nombre con un profundidad de 220-280m.

4.2 Unidades hidroestratigráficas

4.2.1 Descripción de la litología del acuífero

Para la definición de la litología del acuífero se realizó el análisis de aproximadamente 70 registros litológicos de pozos, con los que se trazaron 8 perfiles cuatro transversales (norte – sur) y cuatro longitudinales (oeste – este). Anexo A y B

El medio hidrogeológico del entorno de los lagos está constituido, principalmente por depósitos volcánicos cuaternarios (Fm Las Sierras) y depósitos sedimentarios. La base impermeable o de menor permeabilidad de este sistema acuífero, está formada por depósitos volcánicos terciarios hacia el norte y noroeste y por depósitos sedimentarios cretácicos (Fm. Rivas) al sur y sureste.

Los depósitos cuaternarios-volcánicos del Grupo Las Sierras al sur y suroeste, predominan los piroclástos, como cenizas finas, pómez y lapilli, que poseen buena permeabilidad para la circulación y el almacenamiento del agua subterránea. En segundo lugar están los materiales aluviales y coluviales, tales como gravas, arenas gruesas a finas, limos y arcillas, localizados a lo largo del curso de los principales ríos del área, en las planicies de inundación y en las zonas costeras, los cuales son buenos acuíferos (Figura 4.1).

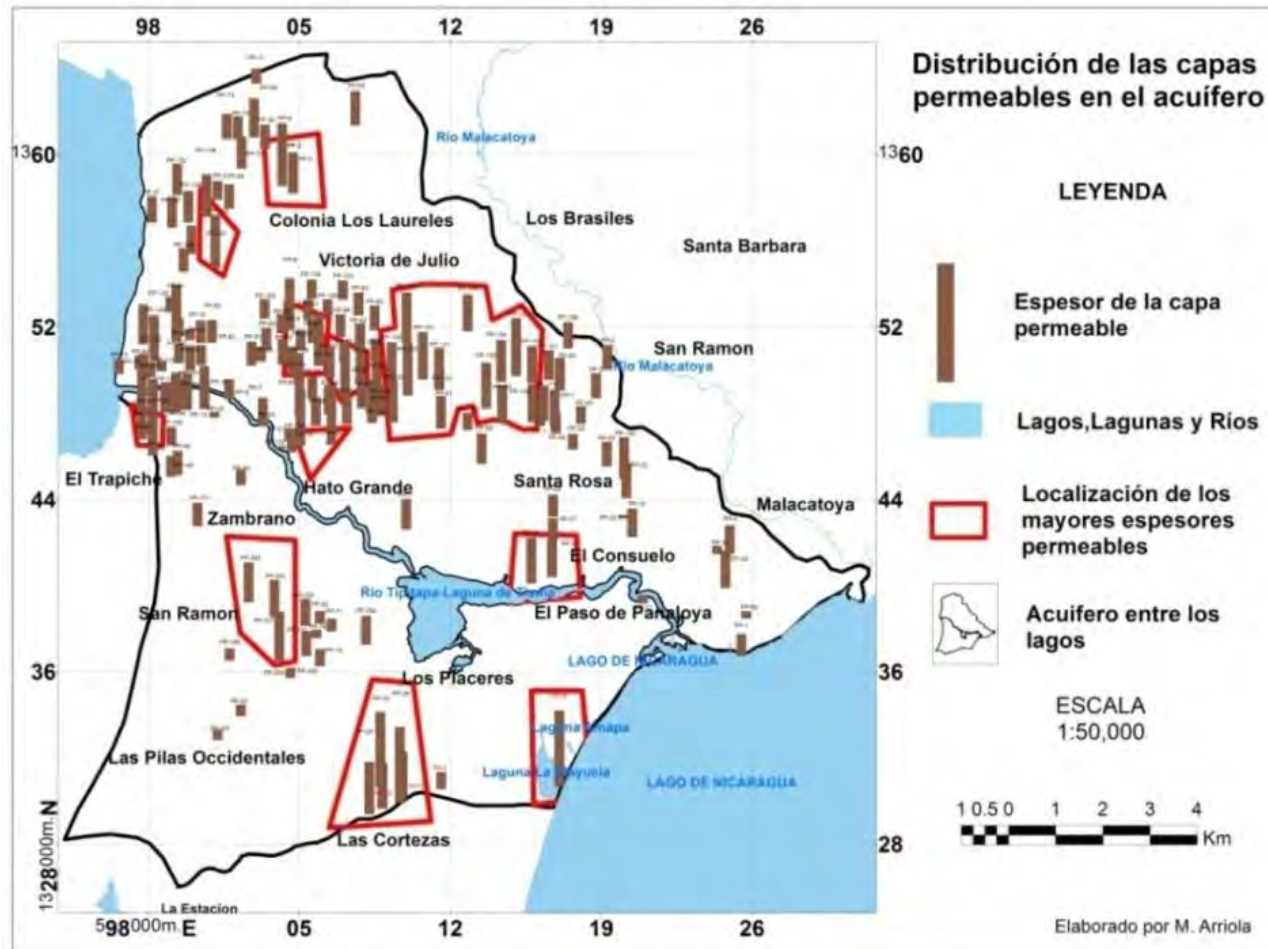


Figura 4.1 Distribución de las capas permeable en el acuífero interlagos de Tisma

4.3. Distribución de los parámetros hidráulicos

4.3.1. Transmisividad

La determinación de la transmisividad de los pozos, se realizó a partir de las pruebas de bombeo de 44 pozos registrados en el archivo de la Dirección de Hidrogeología de INETER. Estas pruebas fueron realizadas por empresas privadas que su fin era el cálculo del caudal y el tipo de bomba a colocar en el área donde se realizó la prueba.

Estas pruebas de bombeo no se realizaron con el mismo caudal, ni tiempo de duración las que variaban entre 2-24h, lo que permitió la identificación del comportamiento del acuífero, lo que sirve como punto de partida en la implementación del modelo matemático (Tabla 1.B2).

La transmisividad es la medida de la capacidad del espesor total del acuífero de transmitir agua horizontalmente y se mide en $m^2/día$. Para que la transmisividad sea representativa del acuífero, la captación o el pozo debe atravesar el total saturado del acuífero, de otra manera se obtiene un porcentaje proporcional al tramo de acuífero atravesado.

La heterogeneidad del acuífero condiciona la distribución de las transmisividades, que varían de acuerdo a la composición litológica, granulométrica, grado de compactación y fracturamiento de los materiales. La Tabla 1.B2 (Anexo B) resume los valores de transmisividad a partir de las pruebas de bombeo, realizadas en el área.

Las mayores transmisividades se localizan en pozos con espesores considerables de arena gruesa media con grava e intercalaciones de arcilla y limo, así como de los pozos próximos a los ríos Malacatoya y los pozos localizados en la cercanía a la laguna de Tisma. Las menores, en zonas donde las capas de cantera consolidada con intercalaciones de arcilla y limo son mayores en la zona próxima al Lago Xolotlán.

Las transmisividades hidráulicas oscilan desde los 100 hasta los 2599 m^2/d , disminuyen en la zona costera del Lago Xolotlán y se incrementa a medida que se aproxima a la Laguna de Tisma y la zona costera del Lago Cocibolca. Las zonas que presentan las transmisividades más elevadas, se localizan en el municipio de Tisma.

Los pozos con datos de transmisividad no son totalmente penetrantes y la única relación que se logra visualizar es que los pozos con mayor transmisividad se encuentran distribuidos en las márgenes del río Malacatoya o en zonas aledañas a la Laguna de Tisma (Figura 4.2).

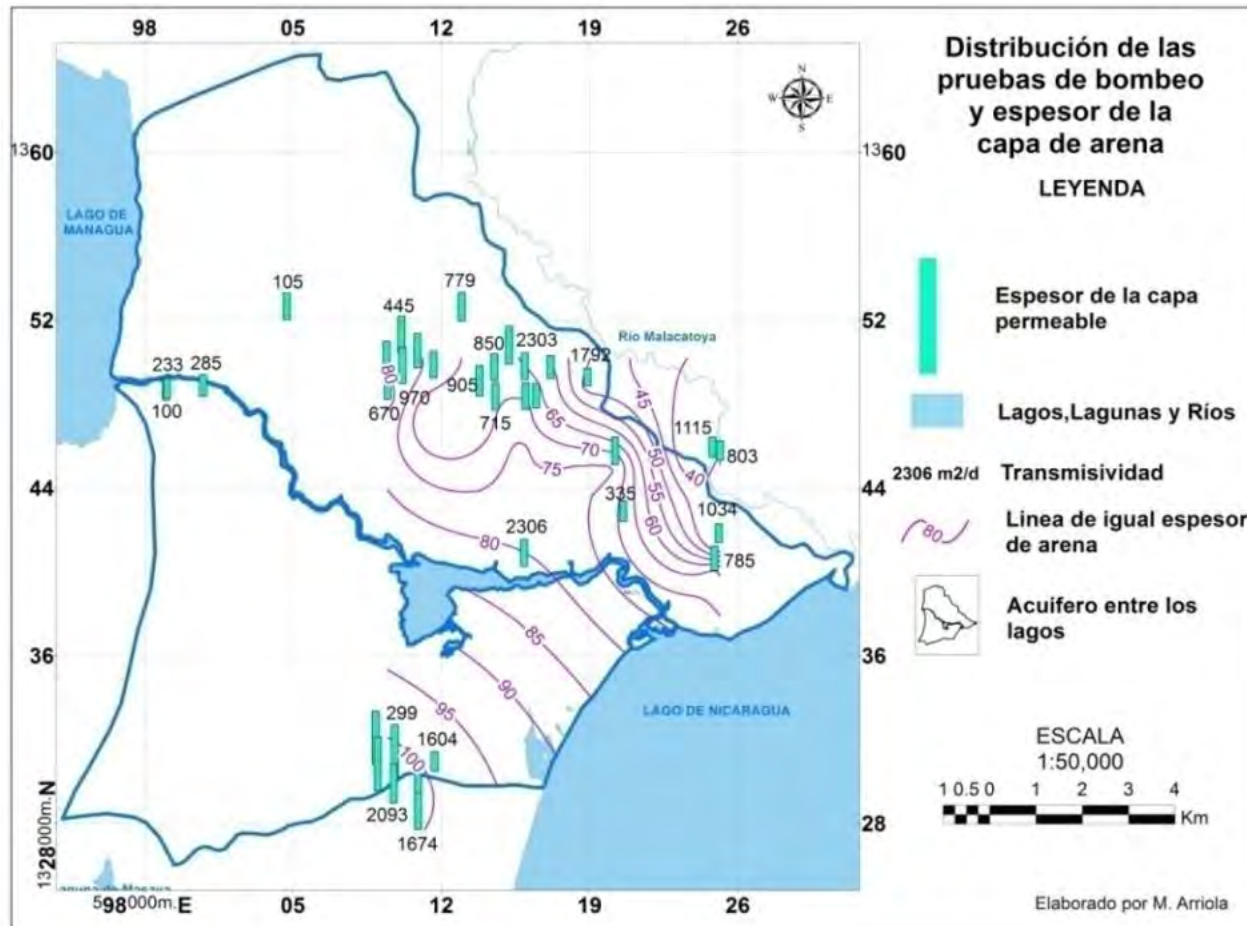


Figura 4.2 Pruebas de bombeo y el espesor de la capa de arena

4.3.2 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica, es uno de los parámetros más importantes para la calibración del modelo, ya que representa la velocidad real a la cual se mueve el agua en el medio poroso, tomando en cuenta el tamaño de los poros, la distribución de éstos y los flujos preferenciales. Se distinguen tres componentes de conductividad: horizontal (K_h o K_x), lateral (K_l o K_y) y vertical (K_v o K_z).

Esta característica, se da también de forma promedio, por no estar claro la posición de la rejilla en los pozos, o el espesor saturado del acuífero.

Para determinar la conductividades hidráulicas de las capas se mide longitud total entre el nivel freático y la profundidad total del pozo que es tomaría como el espesor saturado “b” del acuífero, el que se subdivide en longitudes parciales en dependencia del espesor de la capa del cuaternario o terciario obtenida de la litoestratigrafía de los pozos y con la transmisividad de los pozos se estima la conductividad de las capas, las que posterior se interpolan para obtener sectores o áreas de conductividad en el acuífero.

La fórmula utilizada para el cálculo de las conductividades hidráulicas es:

$$T = K * b \quad K = T/b$$

Donde:

T – es la transmisividad en m^2/d

K – es la conductividad hidráulica en m/d

b – el espesor saturado del acuífero o lámina de agua atravesada en m

Se realizaron perfiles litoestratigraficos para determinar el espesor de la capas cuaternario y del terciario y obtener las conductividades hidráulicas oscilaron entre los 10- 220 m/día para el cuaternario (Figura 4.3) y 5-70 m/día (Figura 4.4).

Para estimar la conductividad hidráulica se realizaron primeros los perfiles litoestratigraficos con la litología de los pozos perforados permitiendo delimitar los espesores de las capas cuaternario y terciario, tomando en cuenta que los pozos no presenta la ubicación de la rejilla se tomo la decisión de situarla en el punto de profundidad total del pozo y a partir del nivel freático conocido se obtuvo el espesor saturado para las capa del cuaternario y el terciario, junto con los datos de transmisividad de los pozos perforados se realizó el cálculo de la conductividad hidráulica, datos que posteriormente se interpoló para obtener las diversas zonas de conductividad hidráulica de la zona de estudio (Anexo B, Tabla 1.B2. 1. B3 y 1.B4).

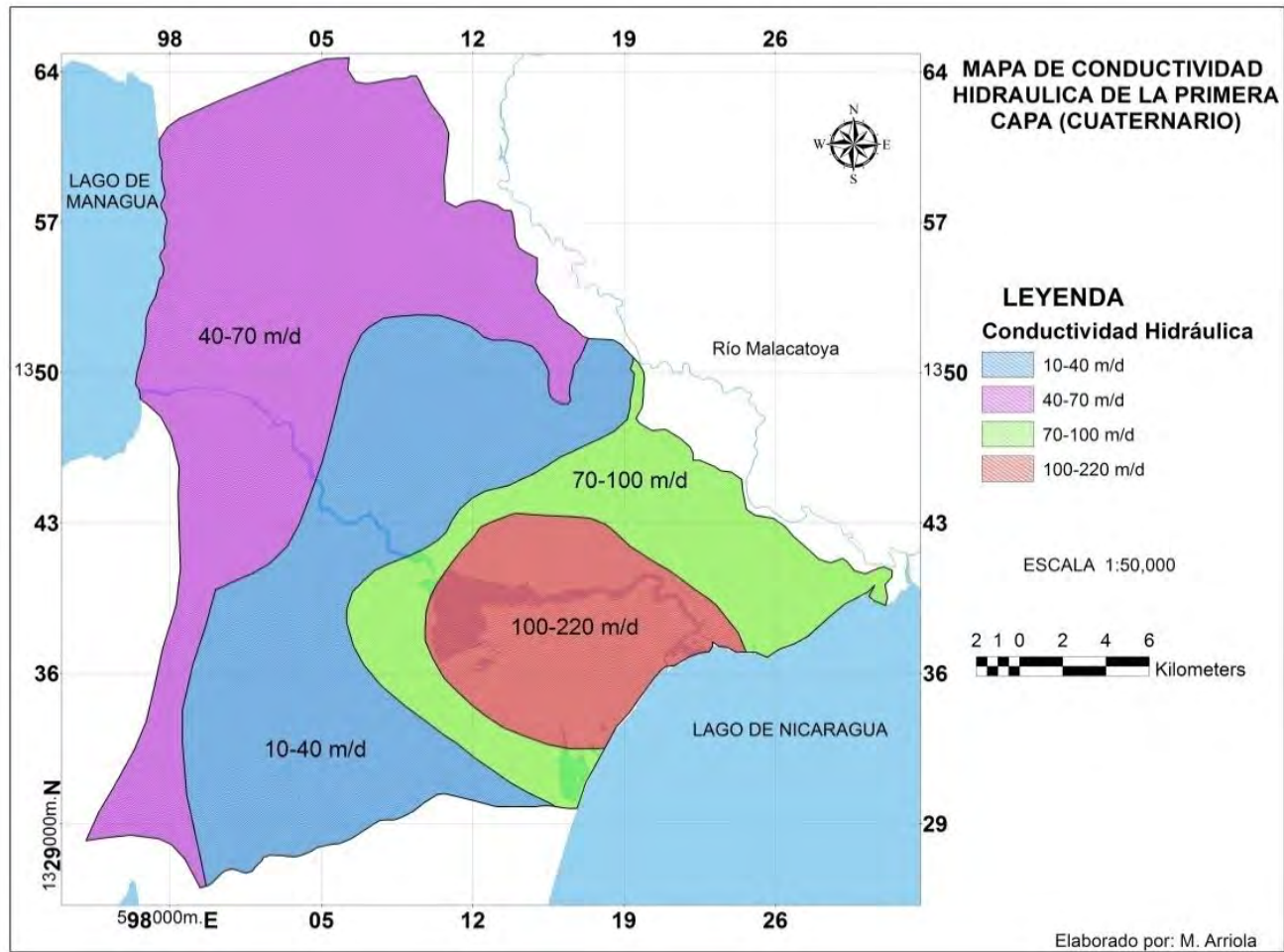


Figura 4.3 Conductividades hidráulicas de la primera capa del modelo

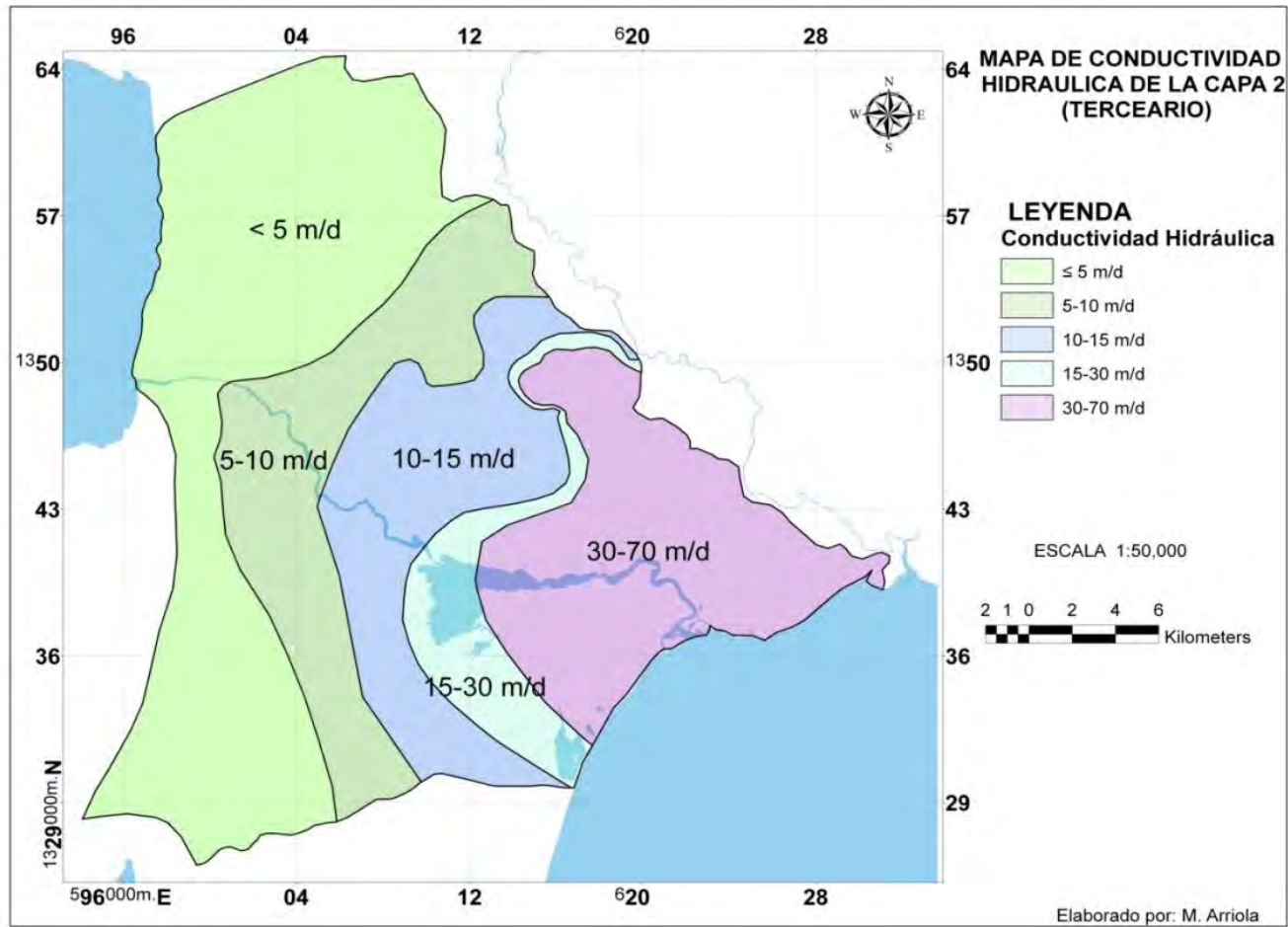


Figura 4.4 Conductividades hidráulicas de la segunda capa del modelo

Coefficiente de almacenamiento (S): El coeficiente de almacenamiento define la capacidad del acuífero de almacenar agua. El valor del coeficiente de almacenamiento oscila entre los 0.06 y los 0.20.

4.3.3 Determinación de las unidades hidroestratigráficas

A partir de la caracterización litoestratigráfica, la determinación de los parámetros hidráulicos y estudios realizados en el área de estudio se realizan las siguientes consideraciones:

El techo del acuífero es una capa limo – arcillosa de suelos residuales y aluviales, que presenta una variación de 1m en zonas cercanas al Lago Xolotlán un máximo espesor de 20m en el centro y este del área de estudio.

El conjunto acuífero es una intercalación de capas de diferente granulometría con espesores de arena gruesa a fina intercalada con limo y arcillas, se distingue una zonificación de afloramientos de cantera o tobas de la formación La Sierras visible en la desembocadura del Lago Xolotlán con el río Tipitapa y paralela a la costa del mismo lago, El medio hidrogeológico es heterogéneo, con intercalaciones de capas de material fino (baja permeabilidad) y fracciones gruesas (alta permeabilidad)(Figura 4.5).

En consecuencia, se distinguen tres unidades estratigráficas, Figura 4.5, una capa limo-arcillosa de baja permeabilidad que varía desde 1 a 20m, sobre yaciendo sobre la unidad acuífera de la formación La Sierra de 220 hasta 250 m de espesor y bajo ésta, otra capa de basamento hidrogeológico de menor permeabilidad, de espesor desconocido (Figura 4.5).

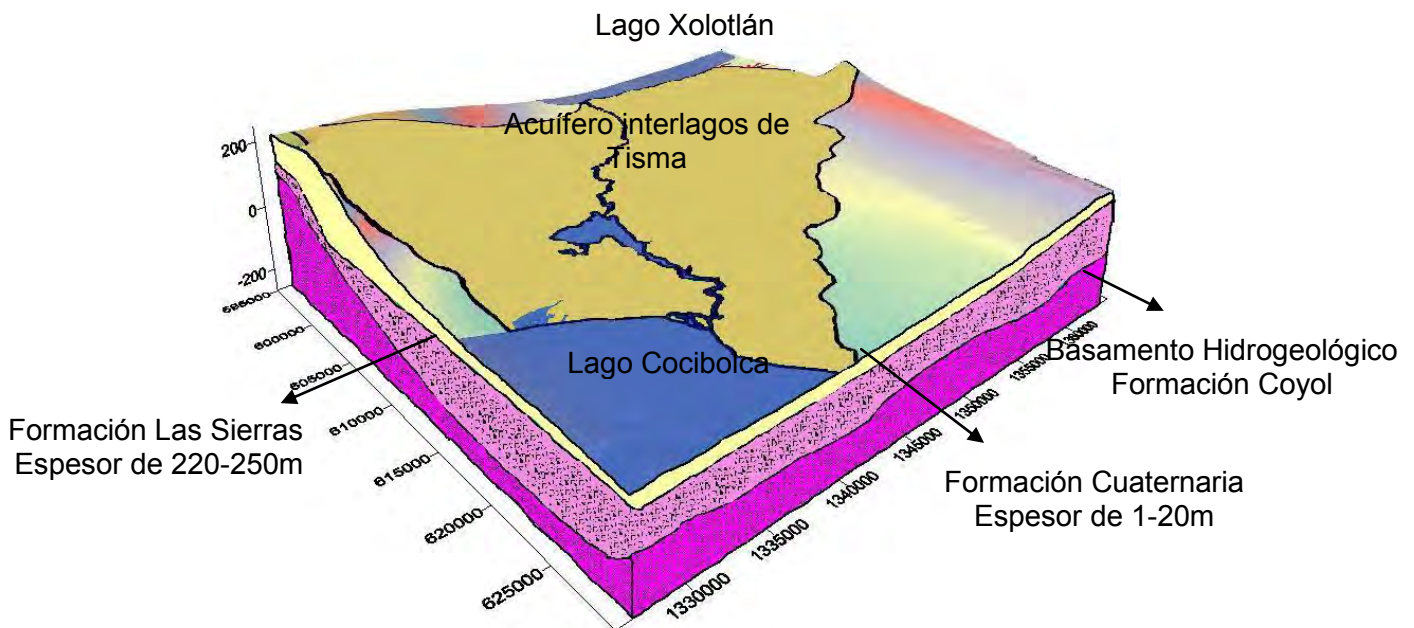


Figura 4.5 Unidades hidroestratigráficas del acuífero interlagos de Tisma

4.4 Basamento del acuífero

Los pozos con registros litológicos no son totalmente penetrantes, la máxima profundidad de penetración es de 152m. La información litológica de los pozos proporciona los espesores de la capa cuaternaria y terciaria, pero no ayudan en cuanto a la determinación de profundidad del basamento hidrogeológico. Con la ayuda de estudios realizados en la zona se pudo realizar un mapa del basamento hidrogeológico. Como el estudio del acuífero de Managua (JICA, 1993) donde se determinó el basamento hidrogeológico, este se expandió hasta próximo a la ciudad de Tisma, donde se logró determinar que el acuífero interlagos ocupa una parte del graben superior y se asume una elevación del basamento hidrogeológico de los 70 a los -220 msnm (Figura 4.6). Mientras que en la parte norte del río Tipitapa se complementó con el estudio hidrogeológico del Ingenio Timal realizado por PROCONSULT (1984), donde en base al estudio electromagnético y litología de pozos se determinó una elevación de -220 a -250 msnm (Figura 4.7).

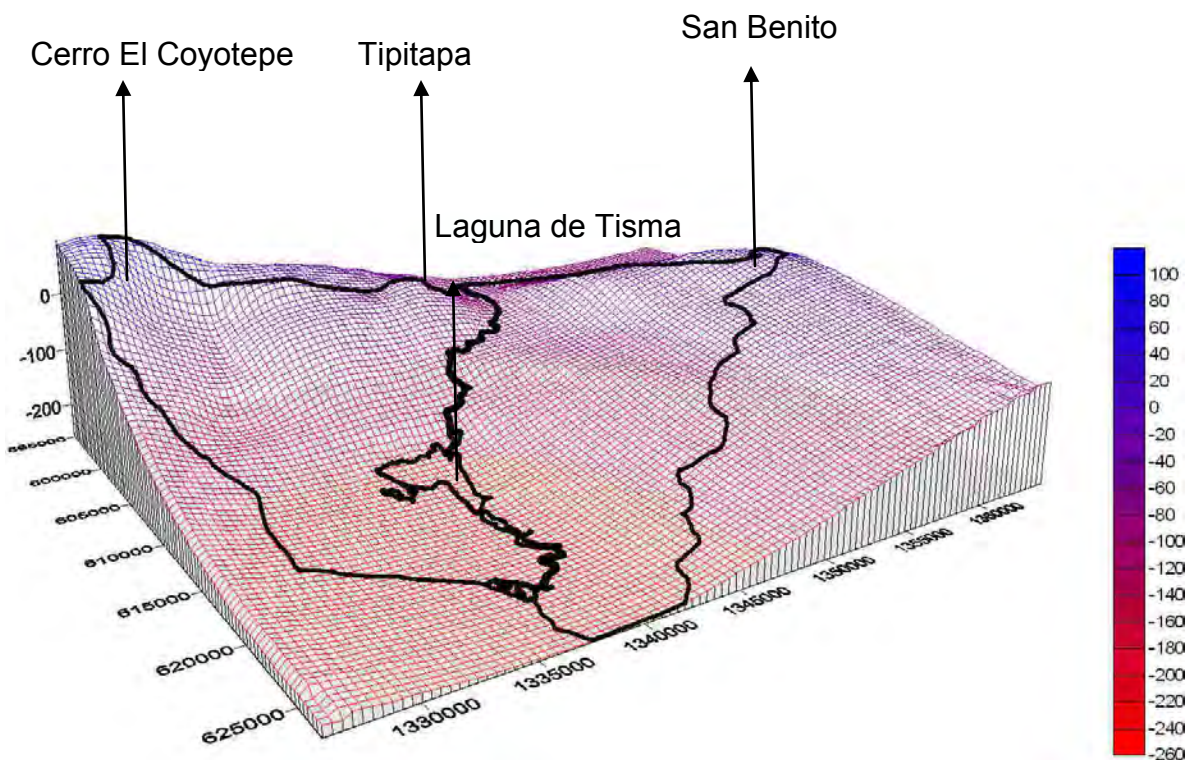


Figura 4.6 Vista tridimensional al basamento hidrogeológico del acuífero interlagos de Tisma

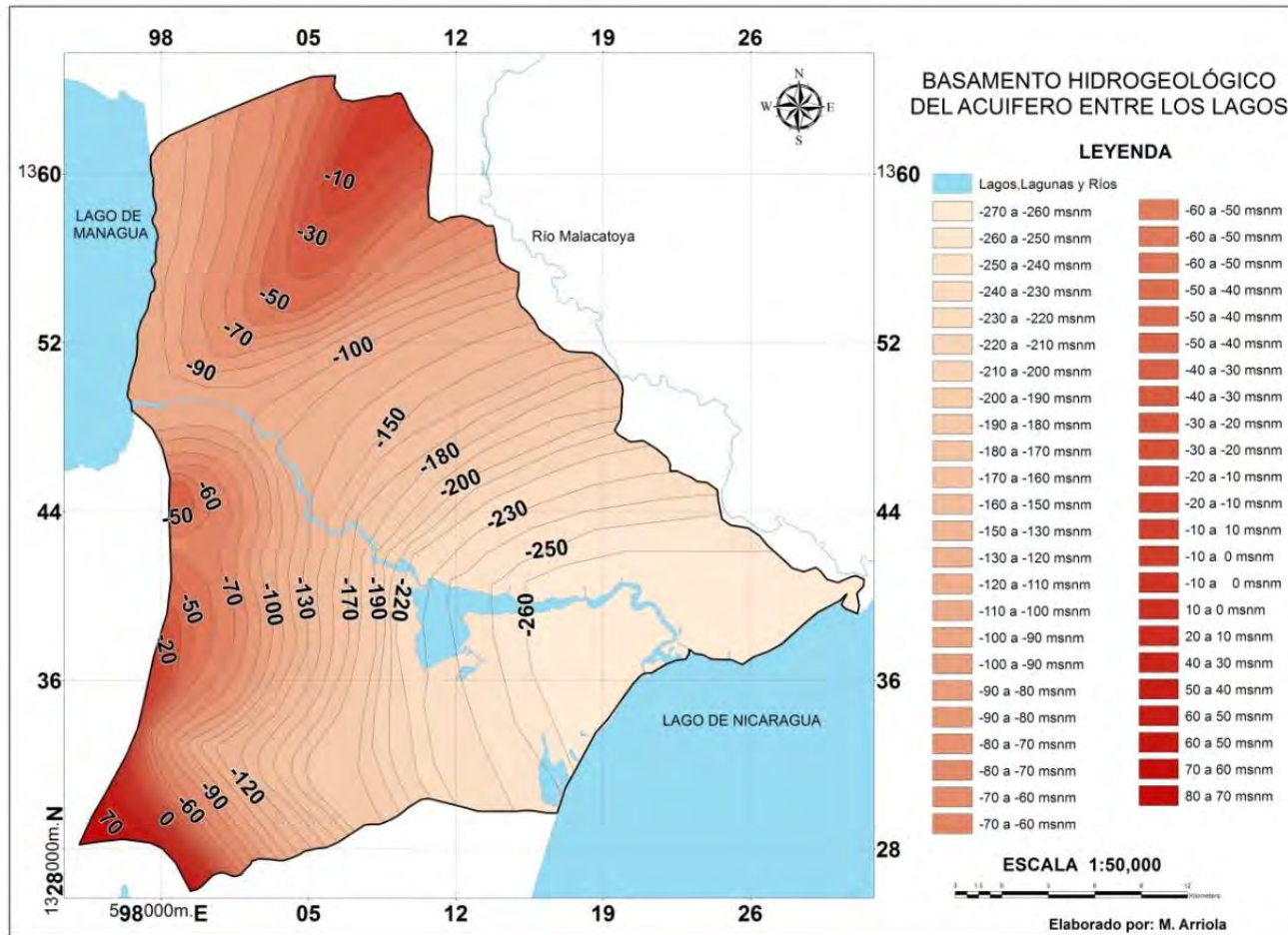


Figura 4.7 Basamento Hidrogeológico del acuífero interlagos de Tisma

4.5 Superficie freática y piezométrica

Las zonas alrededor de los Lagos Xolotlán y Cocibolca constituyen zonas de convergencia de los flujos subterráneos y de descargas de estos hacia dichos lagos y al Río Tipitapa. (INETER, 2009)

La Figura 4.9 se muestra el mapa piezométrico. En el que acuífero al norte del Río Tipitapa, presenta un flujo predominantemente hacia el sur, desde las serranías del sector las Canoas- Las Banderas hacia el Río Tipitapa y el Lago Cocibolca que varía de los 30-50 msnm. También se evidencia un flujo menor desde el mismo sector, pero hacia el suroeste es decir hacia el Lago Xolotlán.

Al sur del Río Tipitapa se desarrolla un flujo predominantemente hacia el río proveniente de la zona de recarga (cerro Coyotepe) que varía de 35-50 msnm y otro que va hacia el Lago Cocibolca variando de los 30-95 msnm (Figura 4.8).

La profundidad del agua subterránea para el acuífero interlagos de Tisma en la parte norte del río Tipitapa varía entre 1 y 20 m y en la zona sur del río de 2 hasta más de 110 m en el sector de Guanacastillo en el acuífero Las Sierras (Figura 4.9).

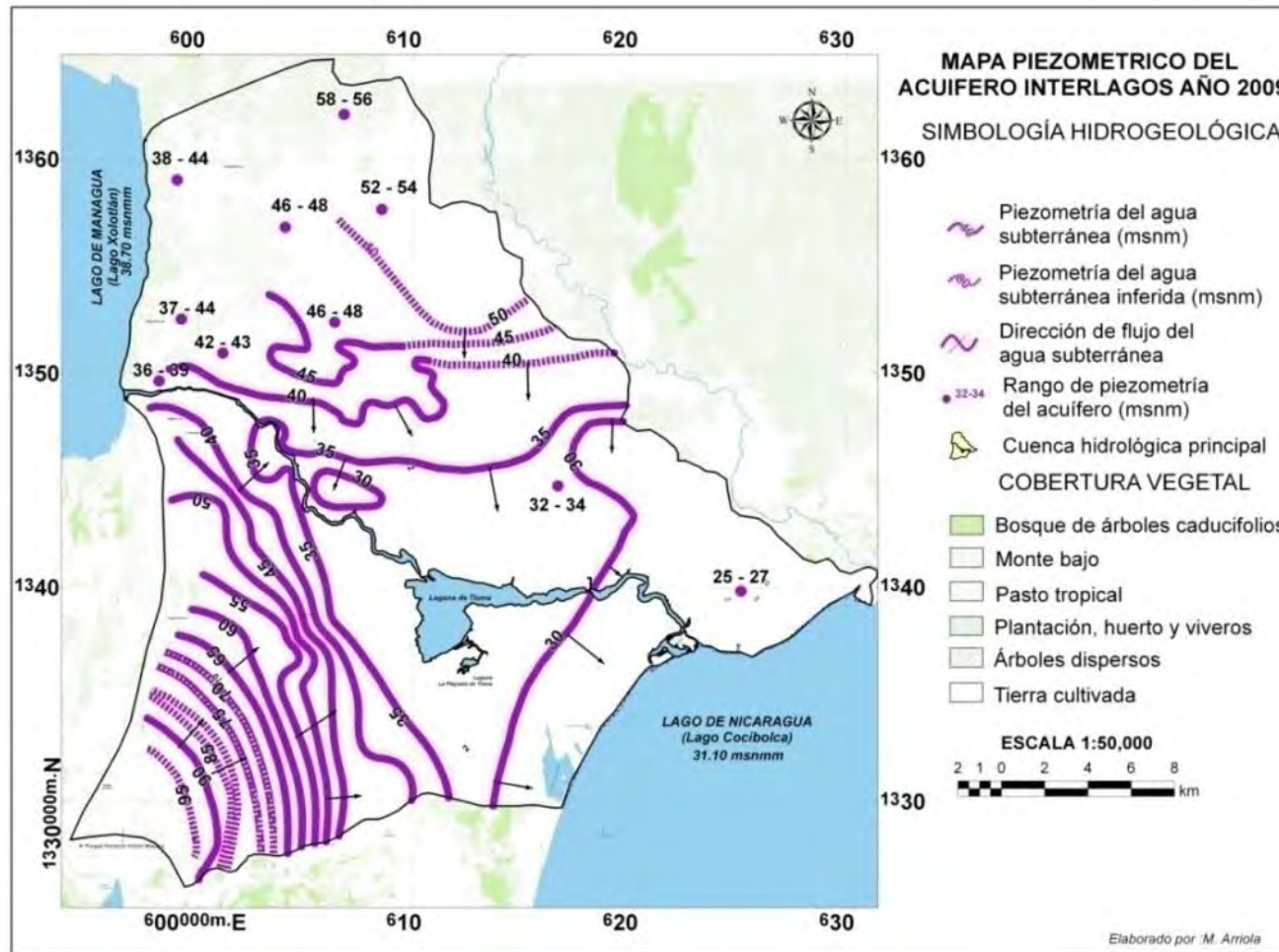


Figura 4.8 Piezometría del acuífero interlagos de Tisma

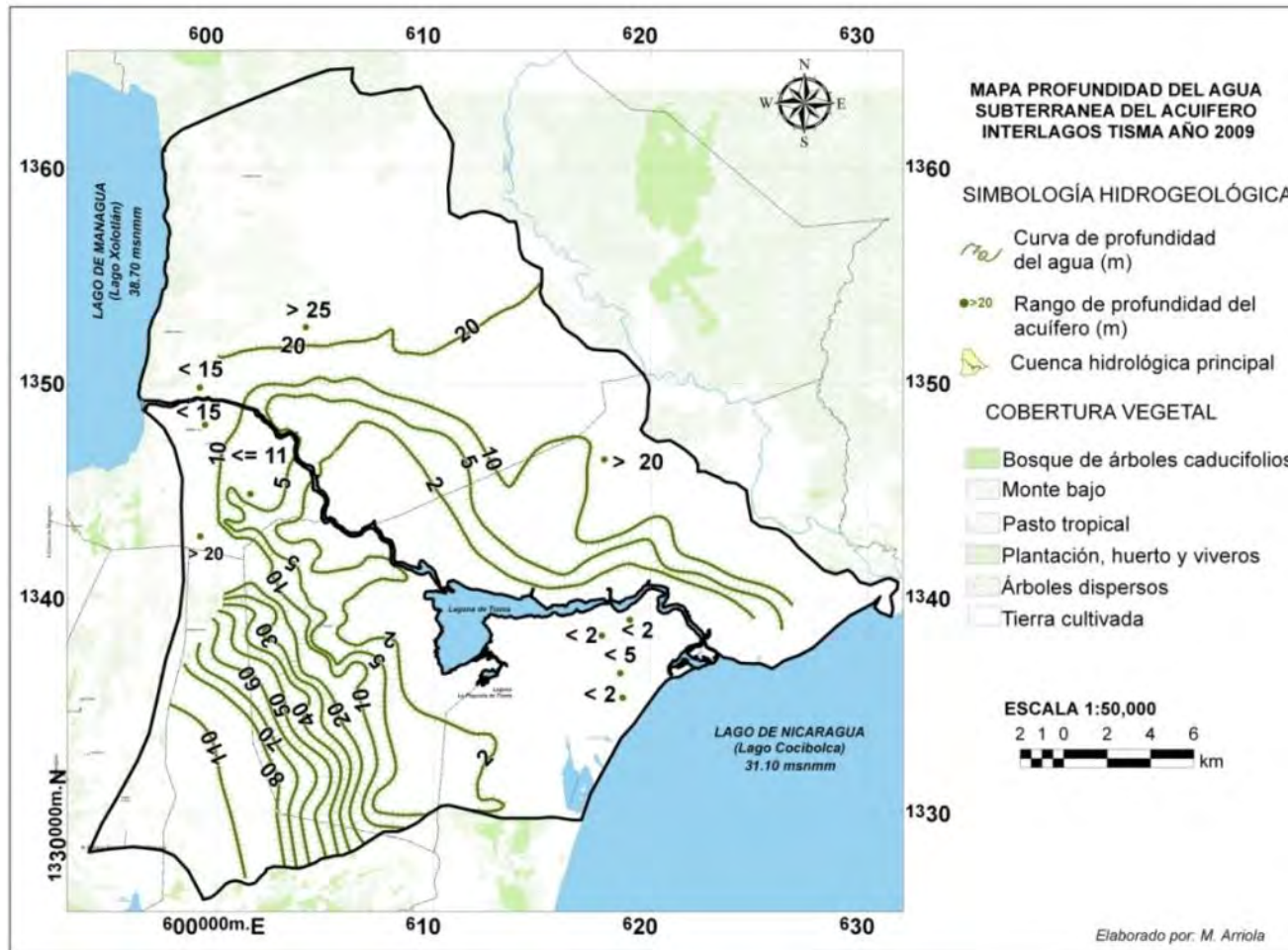


Figura 4.9 Profundidad del agua subterránea del acuífero interlagos de Tisma

4.6 Estimación de recarga de natural del acuífero de Tisma

Para la precipitación y la evapotranspiración se utilizó la estación climatológica de Managua, Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, para el período 1979-2009. Los datos de evapotranspiración se calcularon por el método Hargraves. (Tabla 4.1 y 4.2).

Asimismo, la estación se escogió por la proximidad a los puntos de pruebas de infiltración de cada zona de recarga directa y además por presentar los datos meteorológicos completos.

Para el cálculo de la recarga natural se ha considerado las características edafológicas de los suelos y las condiciones climáticas en la zona. Los principales componentes para determinar la recarga son la precipitación, la evapotranspiración, la pendiente topográfica, la textura y ordenes de los suelos, la litoestratigrafía (factor geológico), la profundidad de raíces de los cultivos y cobertura vegetal.

Tabla 4.1 Evapotranspiración Potencial (mm) del acuífero interlagos de Tisma (1979-2009)

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Managua	142.8	146.2	182.8	189.6	181.9	153.5	156.5	157.9	143.2	141.7	130.8	135.1	1573

Tabla 4.2-Precipitación mensual (mm) del acuífero interlagos de Tisma (1979-2009)

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Managua	2.87	3.76	4.91	18.6	160.8	161.2	138.8	143.2	215	216.3	57.6	7.1	1130

Las propiedades físicas de los suelos como capacidad de campo, punto de marchites permanente, densidad aparente y profundidad de raíces se determinaron de acuerdo al orden de suelo y vegetación presente en el área de estudio de las pruebas de infiltración. (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Propiedades físicas de los suelos del acuífero interlagos de Tisma

ORDEN DE SUELO	CC (%)	CM (%)	DS(gr/cm ³)	PROF. DE RAÍCES
Franco arcilloso	26-24	16-13	1.30	600-500
Arcilloso	33-32	18-17	1.20	600-500
Arcilloarenoso	29-28	17-16	1.25	700

Fuente: Amisial&Jegat, Banco de Programas, CIDIAT.

El procedimiento metodológico para estimar la cantidad de lluvia que infiltra, se inicia con mediciones en campo utilizando el método de los tres cilindros concéntricos los que permiten estimar la capacidad de infiltración de los suelos (f_c), seguidamente se obtiene el porcentaje de infiltración efectiva de la lluvia, a partir de ecuaciones y utilizando hojas de cálculo electrónicas.



Foto2- Prueba de infiltración de cilindro

Foto 3- Perfil de Suelo

Foto4- Rellenado de Cilindros en la prueba

Se recomienda el método de los cilindros en el cual hay un cilindro interior y otro exterior para poner en cada punto de los tres que se hacen en una determinación de velocidad de infiltración, es decir que, el equipo de cilindros está constituido por tres cilindros menores y tres mayores. La diferencia está en los diámetros, pues todo tiene la misma altura. Se escogen tres puntos los cuales ocupen los vértices de un triángulo equilátero de 10 metros de lado. En cada punto se colocan dos cilindros, el de menor diámetro dentro del de mayor diámetro. Este sistema de dos cilindros en cada punto es con el objeto de disminuir o controlar la infiltración lateral por medio del cilindro externo y así poder medir la penetración del agua en forma vertical. Si en lugar de dos cilindros en cada punto se usara un cilindro el dato de la infiltración sería muy variable y con error debido a la infiltración lateral no controlada (MAG-FOR, 1984).

El método para estimar la recarga directa, en este estudio, es el desarrollado por Schosinsky (1999), que consiste en la realización de un balance hídrico de suelos, utilizando un programa de hoja electrónica modificado y probado para las condiciones de Centroamérica, en el se utilizo varios parámetros obtenidos en campo en el sitio donde se realizaron las pruebas de infiltración (Tabla 4.4)

Ecuaciones y parámetros del balance hídrico de suelo (Gunther Schosinsky)

Cálculo de recarga potencial al acuífero

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR$$

R_p = Recarga potencial mensual en mm/mes.

P_i = Precipitación que infiltra en mm/mes.

HSf = Humedad del suelo al final del mes en mm.

ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

Cálculo de infiltración pluvial mensual

$P_i = (C)(P - \text{Ret})$

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en [mm/mes].

C_i = Coeficiente de infiltración [adimensional]

P = Precipitación mensual en [mm/mes] (dato meteorológico).

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en [mm/mes]

Calculo del coeficiente de infiltración

$C = K_p + K_v + K_{fc}$

K_p = Fracción que infiltra por efecto de pendiente [adimensional]

K_v = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal [adimensional]

K_{fc} = Fracción que infiltra por textura del suelo [adimensional]

f_c [mm/día] = Infiltración básica del suelo (dato de campo)

La ecuación de $K_{fc} = 0.267 \cdot \ln(f_c) - 0.000154 \cdot (f_c) - 0.723$ tiene un rango de funcionamiento $16 \leq f_c \leq 1568$. Para un valor de 16 $K_{fc} = 0.0148$, valores menores son negativos, por lo que para valores de f_c , menores de 16, $K_{fc} = 0.0148 \cdot f_c / 16$. Para valores de $f_c > 1568$, los valores de K_{fc} serán inicialmente mayores que uno; luego, K_{fc} comienza a ser menor de uno, a partir de $K_{fc} > 1910$, lo que no es posible. Por lo tanto, para valores de f_c mayores de 1568, $K_{fc} = 1$

Cálculo de humedad de suelo final.

Si $(HD + PM - ETR)$ es menor que la capacidad de campo, $HS_f = HD + PM - ETR$

Si $(HD + PM - ETR)$ es mayor o igual que la capacidad de campo, $HS_f = CC$

Cálculo de humedad de suelo inicial.

HS_i = Es igual a la humedad de suelo final del mes anterior (HS_f de ecuación anterior)

Escorrentía superficial

$ESC = P - \text{Ret} - P_i$

Evapotranspiración real

$ETPR = (HS - PM) (ETP) / (CC - PM)$

ETR [mm/día] = Evapotranspiración potencial real

HS [%] = Humedad del suelo

ETP [mm/día] = Evapotranspiración (dato meteorológico)

CC [%] = Capacidad de campo

PM [%] = Punto de marchitez permanente

Tabla 4.4 Parámetro de entradas para el balance hídrico de suelo y sus recargas potenciales obtenidas.

Numero de Zona	Numero de Prueba	Coefficiente de Infiltracion (mm/d)	Factor por pendiente (0,01%)	Factor por vegetación (0,01%)	Factor estimado con base a la prueba de infiltración (0,01%)	Textura de suelo	Capacidad de campo %	Punto de marchitez permanente %	Profundidad de raíces (mm)	Precipitacion (mm)	Evapotranspiracion (mm)	Infiltracion (mm)	Retencion (mm)	Escorrentia (mm)	Recarga Potencial (mm/a)
ZDR1	Prueba N° 1	211,86	0,10	0,18	0,67	Franco arcilloso	26	14	500	1130,11	1572,99	932,87	152,68	44,56	77,89
	Prueba N° 2	114,97	0,18	0,21	0,53	Arcilloso	33	18	500	1130,11	1572,99	895,44	152,68	81,99	56,67
	Prueba N° 3	58,80	0,25	0,18	0,36	Arcilloso	31	18	500	1130,11	1572,99	768,01	152,68	209,42	14,60
	Prueba N° 6	172,11	0,10	0,21	0,63	Arcilloso	33	18	500	1130,11	1572,99	913,95	152,68	63,48	64,20
	Prueba N° 7	74,50	0,20	0,21	0,42	Arcilloso	33	18	500	1130,11	1572,99	807,86	152,68	169,57	20,90
	Prueba N° 10	112,12	0,18	0,21	0,52	Arcilloso	33	18	500	1130,11	1572,99	889,33	152,68	88,10	54,19
ZDR2	Prueba N° 9	199,82	0,10	0,21	0,66	Franco arcilloso	26	14	600	1130,11	1572,99	948,73	152,68	28,70	76,64
	Prueba N° 14	261,78	0,06	0,18	0,72	Franco arcilloso	26	16	600	1130,11	1572,99	941,47	152,68	35,96	81,22
	Prueba N° 4	72,00	0,20	0,21	0,41	Arcilloso	33	18	500	1130,11	1572,99	799,33	152,68	178,11	17,39
	Prueba N° 5	73,50	0,20	0,21	0,41	Arcilloso	33	18	500	1130,11	1572,99	804,48	152,68	172,95	19,51
	Prueba N° 8	101,36	0,20	0,21	0,49	Arcilloso	33	18	500	1130,11	1572,99	884,16	152,68	93,27	52,08
	Prueba N° 11	81,00	0,20	0,21	0,44	Arcilloso	33	17	500	1130,11	1572,99	828,71	152,68	148,72	25,29
	Prueba N° 12	83,50	0,20	0,21	0,45	Arcilloso	33	17	500	1130,11	1572,99	836,27	152,68	141,17	28,50
	Prueba N° 19	382,53	0,06	0,10	0,81	Arcillo arenoso	30	16	700	1130,11	1572,99	944,09	152,68	33,34	77,66
ZDR3	Prueba N° 13	72,00	0,20	0,21	0,41	Arcilloso	33	18	500	1130,11	1572,99	799,33	152,68	178,11	17,39
	Prueba N° 15	90,50	0,20	0,21	0,47	Arcilloso	33	18	600	1130,11	1572,99	856,22	152,68	121,21	28,90
	Prueba N° 18	267,13	0,15	0,10	0,73	Arcillo arenoso	29	17	700	1130,11	1572,99	955,72	152,68	21,71	74,04
ZDR4	Prueba N° 16	450,00	0,06	0,09	0,84	Franco arcilloso	24	13	600	1130,11	1572,99	966,55	152,68	10,88	87,45
	Prueba N° 17	420,00	0,06	0,10	0,83	Arcilloso	32	19	600	1130,11	1572,99	962,84	152,68	14,60	82,47

4.6.1 Características de zonas de recarga

Se definieron cuatro zonas de recarga directa por agrupación de suelos, según el material litológico, formación geológica texturas similares y características específicas, como pendiente, orden de suelo, textura de los suelos, uso y cobertura vegetal, etc, (Tabla 4.5 y Figura 4.10).

ZRD1: Suelo franco arcilloso, arcilloso.

ZRD2: Suelo franco arcilloso, arcilloso y arcillo arenoso.

ZRD3: Suelo arcilloso y arcillo arenoso.

ZRD4: Suelo franco arcilloso y arcilloso

Con la cobertura de suelo de la zona de estudio podemos determinar los diferentes usos que se le dan al suelo en toda el área y por zona de recarga directa además de la utilidad forestal y agropecuaria del estudio y su incidencia en la recarga hídrica.

La cobertura de suelo afecta positivamente la tasa de infiltración y negativamente la escorrentía superficial. Los incrementos en cobertura arbórea disminuyen la escorrentía superficial con la consecuente disminución del potencial de erosión hídrica. La cobertura arbórea, más que la herbácea, contribuye a incrementar la infiltración en el suelo. Este incremento es muy significativo en el balance hídrico, ya que favorecen la disponibilidad de agua y la recarga hídrica. Uno de los usos de la cobertura vegetal es la utilización de los sistemas silvopastoriles que brindan beneficios hidrogeológicos al contribuir en la infiltración y disminuir la escorrentía superficial, contribuyendo a la recarga y sustento de acuíferos.

Con el balance hídrico de suelos se obtuvieron valores de recarga para cada textura de suelo. La distribución de estas se hallan dentro de una misma zona e recarga, por tanto se determina el valor medio de recarga de las capacidades de infiltración obtenido de las pruebas de infiltración realizada en esta zona de recarga. Estos valores se expresan en milímetros por año.

En la Tabla 4.6, se muestra un resumen del resultado del balance hídrico de suelos, con el cual se determinó el promedio del valor de los coeficientes de infiltración por zonas. En la Zona de Recarga Directa 1 (ZRD1), la capacidad de infiltración promedio anual es de 159.18 mm/a; para la ZRD2, es de 231.86 mm/a; en la ZRD3 es de 174.18 mm/a y la zona de recarga ZRD4 con 425 mm/a.

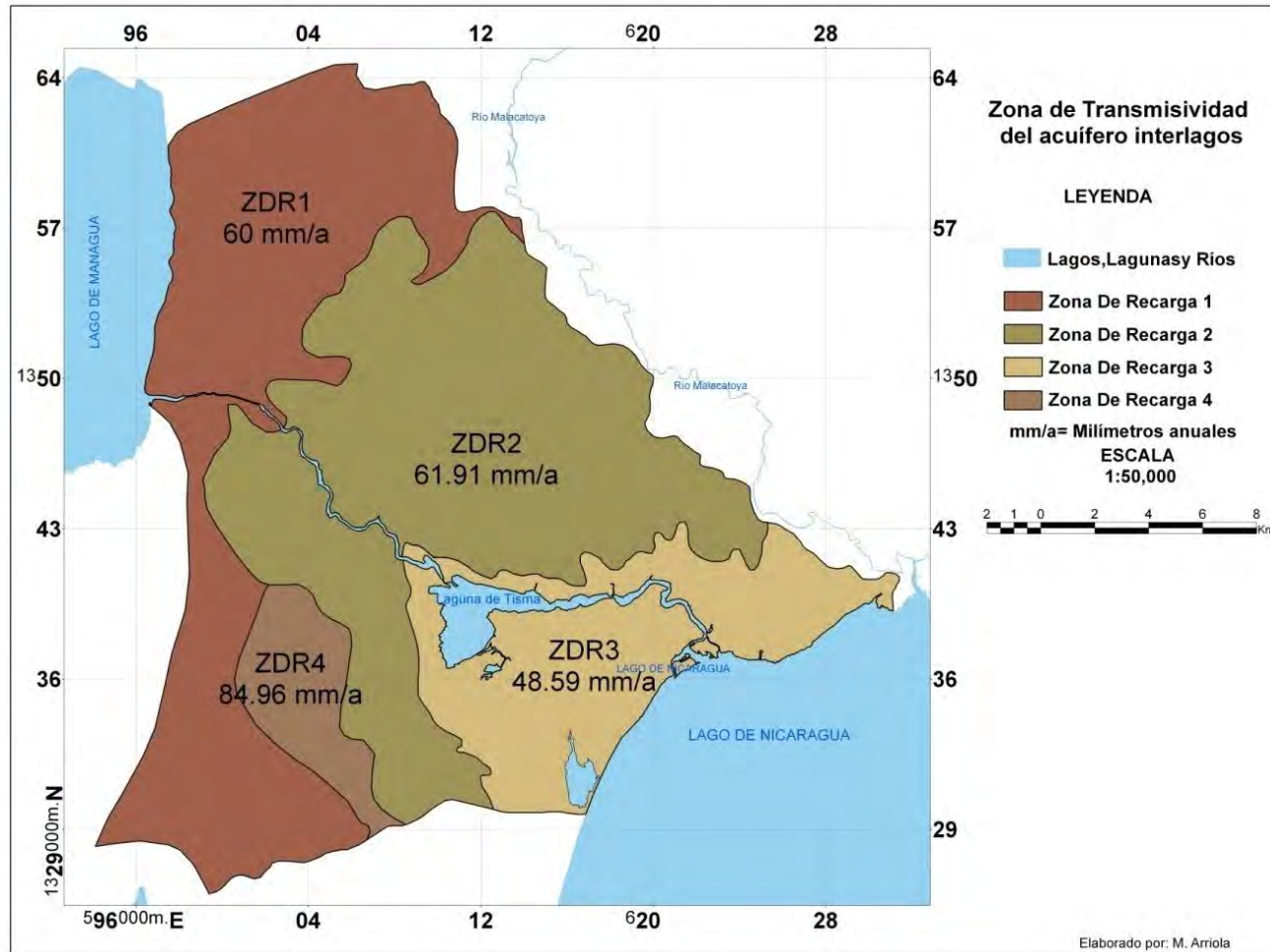


Figura 4.10 Zonas de recarga del acuífero interlagos de Tisma

Tabla 4.5 Uso y cobertura del suelo en el acuífero interlagos de Tisma

CATEGORIA DE USO DE SUELO	ZRD1		ZRD2		ZRD3		ZRD4	
	AREA(Km)	%	AREA(Km)	%	AREA(Km)	%	AREA(Km)	%
Áreas urbanas	4.12	3.72	2.72	0.87	0.49	0.32	0.69	1.71
Árboles dispersos (más de 125m×125m)	4.29	3.87	22.65	7.25	5.41	3.52	0.00	0.00
Bosque de árboles caducifolios (<3m altura hasta la corona)	1.29	1.17	9.20	2.94	14.14	9.19	1.35	3.36
Monte bajo con menos de 3 metros de altura	1.50	1.35	17.40	5.57	30.70	19.96	3.73	9.26
Pasto tropical (125m×125m o más)	31.02	28.01	139.72	44.69	27.13	17.64	6.06	15.04
Plantación, huerto y viveros (125m×125m o más)	8.65	7.81	2.89	0.93	0.47	0.30	2.69	6.69
Tierra con otros cultivos	53.66	48.45	43.41	13.89	8.76	5.70	25.76	63.92
Tierras con cultivo de arroz	5.68	5.13	72.38	23.15	15.71	10.21	0.00	0.00
zonas inundadas por temporada de invierno	0.00	0.00	0.01	0.00	33.03	183.50	0.00	0.00
Aguas superficiales	0.55	0.49	2.24	0.72	18.00	11.70	0.004	0.01
Area total	110.746	100	312.625	100.00	153.839	262.04	40.293	100.00

Fuente: INETER (1990). *Unidad de Estudios Edafológicos.*

Tabla 4.6 Balance hídrico de suelos del acuífero interlagos de Tisma

Zona Recarga	Criterios Principales Utilizados							Porcentaje promedio de la precipitación que se Infiltración (%)	Recarga Promedio anual	
	Textura	ETP (mm/A)	P (mm/A)	Pi (mm/A)	F _c Prom. (mm/A)	Formacion Litologica	Descripcion Geologico		(mm)	(%)
ZRD 1	Franco arcilloso	1572.99	1130.113	932.870	211.86	TQps:Terciario-Cuatemario	Miembro superior una toba blanquecina compacta de grano fino	95.40	77.89	8.35
	Arcilloso	1572.99	1130.113	854.918	106.50			87.42	42.11	4.93
ZRD 2	Franco arcilloso	1572.99	1130.113	945.102	230.80	Qr:Cuaternario residual	Deposito residual, limo arcilloso color pardo a café claro y suprayacen a tobas consolidadas	96.68	78.93	8.35
	Arcilloso	1572.99	1130.113	830.590	82.27			84.95	28.55	3.44
	Arcillo arenoso	1572.99	1130.113	944.093	382.532			96.50	77.66	8.23
ZRD 3	Arcilloso	1572.99	1130.113	827.776	81.250	Qal:Cuaternario aluvial	Deposito aluvial y lacustre combinación con limo y poca arcilla	84.69	23.15	2.80
	Arcillo arenoso	1572.99	1130.113	955.720	267.127			97.70	74.04	7.75
ZRD 4	Franco arcilloso	1572.99	1130.113	966.554	450.000	Qv:Cuaternario volcanico	Arena fina volcánica color negro intercaladas con pómez	98.80	87.45	9.05
	Arcilloso	1572.99	1130.113	962.839	420.000			98.50	82.47	8.57

ZRD: Zona de recarga directa; ETP: Evapotranspiración; P: Precipitación; Pi: Precipitación que se infiltra; f_c: Capacidad de infiltración

Tabla 4.7 Recarga media anual del acuífero interlagos de Tisma

Zona Recarga	Textura	Area Recarga (m²)	Recarga (Rp) (mm)	Recarga Anual (m³ x 10⁶)	Recarga Anual (mmca)
ZRD1	Franco arcilloso Arcilloso	250000000	60.00	15000000	15.00
ZRD2	Franco arcilloso Arcilloso Arcillo arenoso	311000000	61.91	19254010	19.25
ZRD3	Arcilloso Arcillo arenoso	136000000	48.59	6608240	6.61
ZRD4	Franco arcilloso Arcilloso	40300000	84.96	3423888	3.42
TOTAL		737300000		44286138	44.29

ZRD: Zona de recarga directa

La tabla 4.7 Recarga media anual del acuífero, muestra el resultado de la recarga media por zona y área. Cada balance de suelo genera una recarga potencial, se promedian todos los resultados ubicados en las zonas de recargas designadas en el área de estudio y se obtiene una recarga potencial total que representa a dicha área.

4.6.2 Zona de recarga directa 1 (ZRD1)

Tiene una extensión de 110.34 km², es seccionada en dos partes por el río Tipitapa. En el área predominan los suelos francos arcillosos, arcillosos, dichos suelos pertenecen al orden Molisoles (Figura 4.10).

Los suelos se han desarrollado a partir de una toba de origen volcánica piroclástica, muy común la presencia en estas de ceniza lapilli, fragmentos de arena volcánica y escoria volcánica negra así como granos de pisolitos redondeados, prevalecen las pendientes entre 0-30% de inclinación aunque en su mayoría son tierras planas a ligeramente en la parte sur la pendiente es más planas. (Catastro, 1971).

4.6.3. Zona de recarga directa 2 (ZRD2)

Tiene una extensión de 311.20 km², es la mayor zona de recarga, se extiende a ambos lados del Río Tipitapa (Figura 4.10).

En el área de recarga predominan los suelos franco arcillosos, arcillosos, y arcillo arenoso dicho suelos provienen de sedimentos se debe a los residuos que han dejado las constantes crecidas y/o inundaciones de parte de los dos cuerpos de agua en el área de la depresión nicaragüense.

Prevalecen pendientes de 0-8% de inclinación (Catastro, 1971). Los mismos se caracterizan por presentar la formación geológica de cuaternario residual su principal composición es limo arcilloso color pardo a café claro y suprayacen a tobas consolidadas de la formación Las Sierras, es muy característica de expansión o contracción en relación al estado meteorológico del sector, en período constante de lluvias presenta un comportamiento uniforme, se satura y filtra agua de manera lenta hacia el subsuelo, en cambio, sus partículas se contraen a la ausencia de fluido, por lo tanto tiene una similitud desértica formando grietas. (INETER, 1995)

4.6.4 Zona de recarga directa 3 (ZRD3)

Esta zona tiene un área de 136.38 km², es atravesada por el río Tipitapa lo que permite la formación de 2 áreas a ambos lados de la ribera del río (INETER, 1995) (Figura 4.10). En esta zona predominan los suelos, arcillosos, y arcillo arenoso, estos suelos en sectores de cultivos es generalmente arenosa color

pardo claro a pardo oscuro, con granulometría gruesa en combinación con limo y poca arcilla, así como de la presencia en la matriz, de gravas subangulares a subredondeadas hasta de ¼ de pulgadas de diámetro, donde prevalecen pendientes de 0- 8% de inclinación, (Catastro, 1971).

4.6.5 Zona de recarga directa 4 (ZRD4)

Esta zona tiene un área de 40.29 km² se observa varias comarcas como la Montañita, La Piedra, Las Cortezas, San Ramón, Santa Cruz, San Miguel, La palmera, El Palenque, San Antonio se ubica en la parte sur del río Tipitapa, es atravesada por el camino de Zambrano a Tisma, se caracteriza por presentar pendientes de entre 0-15% (INETER, 2007) (Figura 4.10).

En la zona predominan los suelos de textura franco arcillosos y arcilloso estos se expanden durante la estación lluviosa y se contraen y presentan grietas anchas durante la mayor parte de la estación lluviosa, son muy profundos a moderadamente profundos. El drenaje interno es imperfecto a pobremente drenado, la pendiente es plana a moderadamente inclinada entre 0-15% de inclinación (Catastro, 1971)

Esta zona de recarga esta sobre la formación geológica cuaternario volcánico, formación comprende una secuencia interestratificada y casi laminar de material piroclástico, las cuales tienen su origen, de las constantes erupciones de los volcanes ubicados en el complejo volcánico Masaya durante el período pliolesitocénico entre la fase tardía de la época terciaria y el inicio o temprano del cuaternario, comprende arena fina volcánica color negro intercaladas con pómez muy alterados en transición a suelo limoso color pardo claro (INETER, 1995).

4.6.6 Estimación de la recarga artificial o de retorno

La recarga de retorno es el agua que regresa a la fuente de aguas subterráneas después de haber sido extraída para uso y consumo humano. Principalmente se consideran la recarga de retorno por exceso de riego, por fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable, las descargas sanitarias y aguas pluviales.

En este estudio se ha considerado la recarga artificial porque en el área existe mucha producción agrícola de arroz, ajonjolí, soya que demanda del uso del riego por superficie.

La recargas de retorno de exceso de riego se tomo como las pérdidas originadas por el nivel de eficiencia en la aplicación del riego. Los porcentajes de perdidas por

infiltración profunda, que son las que recargan el acuífero, se encuentran aproximadamente entre el 15 % y el 25 % para el riego por superficie (INETER, 2000), La extracción de aguas de los pozos utilizados para irrigar los cultivos es de 10 mmca, entonces los valores de recarga por retorno por riego, se considera el 25%, que correspondería a 2.5 mmca.

Según datos de ENACAI, el promedio de agua no contabilizada que se define como perdidas por el servicio o fugas en la tubería a nivel regional fue de 40.9% lo que está dentro del rango estimado para los países en vía de desarrollo por la revista Waste and Wastewater internacionales la que considera que estas fugas oscilan entre 40% a 60%. Mientras la extracción de agua para uso y consumo humano es de 5 mmca, se ha considerado tomar en cuenta un 40.9% del valor de uso de agua potable (INETER, 2000), dado como evidencia una recarga de retorno por perdidas en la tubería de 2.45 mmca.

4.7 Condiciones de descarga

Con respecto a la determinación del flujo de escurrimiento subterráneo, realizado mediante la Ley de $Q_{sub} = T \cdot i \cdot L$, estas variables en función de las características hidráulicas e hidrodinámicas del acuífero.

El agua escurre con dirección del norte hacia al sureste y del sur hacia noreste, aproximadamente desde las zonas altas del cerro La Luz (al norte del río Tipitapa) y el en las cercanía del complejo volcánico del volcán Masaya (al sur del río Tipitapa), para la evaluación de este parámetro se efectuaron diez secciones (Figura 4.11). Estas se construyeron con la piezometría del 2009 e información de características hidráulicas como transividades aplicando la ley de Darcy, Según la fórmula siguiente: $Q = T \cdot L \cdot i$.

Donde:

Q: Escorrentía subterránea saliente (m^3/d)

T: Transmisividad (m^2/d)

L: Ancho de la sección a través de la cual sale el agua subterránea del área de balance (m).

I: Gradiente hidráulico medio en la sección

4.7.1 Cálculos del escurrimiento subterráneo

Según las isopiezas, el escurrimiento n° 1 es el trasvase del Lago Xolotlán al, Cocibolca y su módulo es de 90,159 m^3/d (33 mmca) (Tabla 4.8).

Teniendo como divisoria el Río Tipitapa-Laguna de Tisma, en el sector Noreste se encuentran los escurrimientos n° 2, 3, 4, 5 y 6, por lo cual se puede decir que hacía el río y laguna escurren el total de 582,737 m^3/d (213 mmca) (Tabla 4.8).

En la parte Suroeste se localizan los escurrimientos n° 7, 8, 9 y 10, por lo cual se puede decir que hacia el río y laguna escurren el total de 293,562 m³/d (107 mmca) (Tabla 4.8).

Tabla 4.8 Escurrimientos parciales del acuífero interlagos de Tisma

Número de Sección	Transmisividad m ² /d	Gradiente Hidráulico	Longitud de la Sección (m)	Escurrimiento Subterráneo m ³ /d	Escurrimiento Subterráneo (mmca)
1	293	0.039	7890	90159	33
2	300	0.023	4500	31050	11
3	655	0.02	4040	52924	19
4	313	0.017	3480	18517	7
5	621	0.029	5760	103732	38
6	648	0.054	10760	376514	137
7	302	0.026	5130	40281	15
8	587	0.035	7060	145048	53
9	748	0.018	3680	49548	18
10	497	0.024	4920	58686	21
Total				966458	353

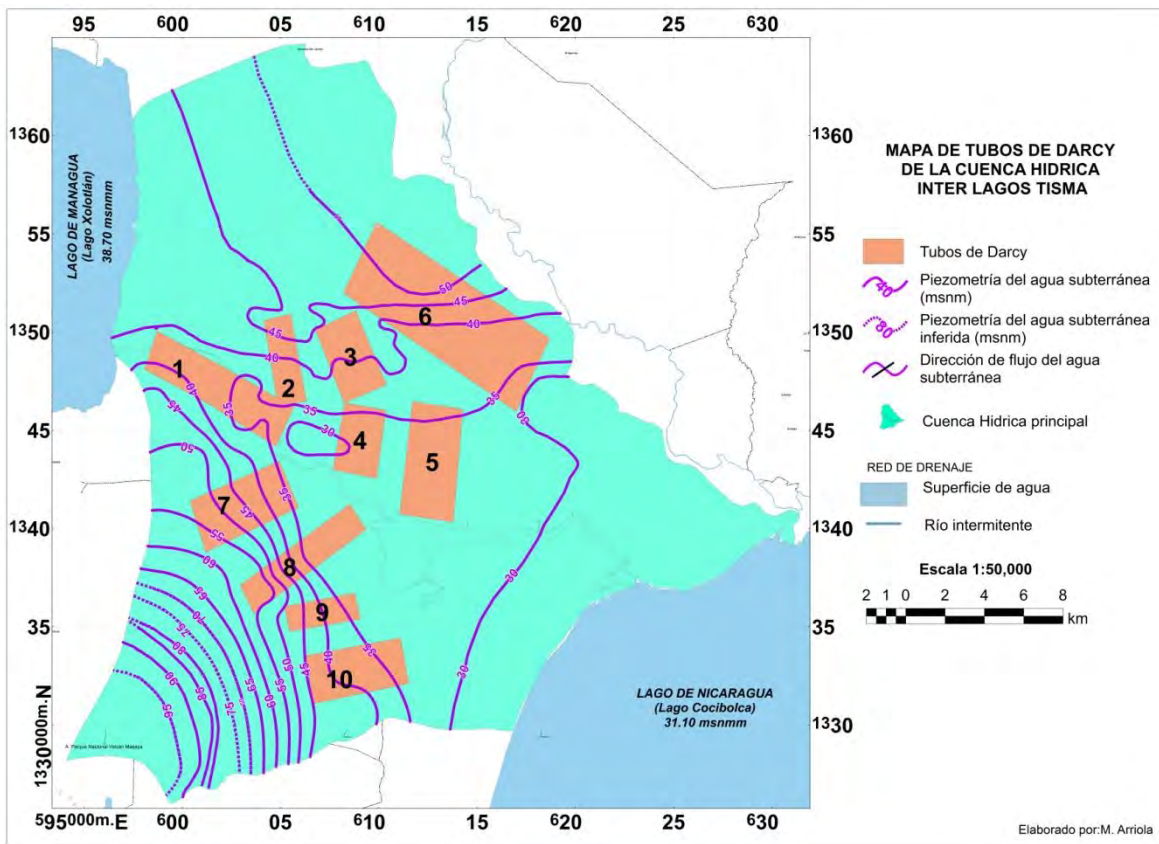


Figura 4.11 Tubos de Darcy del acuífero interlagos de Tisma

El escurrimiento total son de 966,458 m³/d (353 mmca) (Tabla 4.8).

4.8 Caudales potenciales de extracción

Existen 47 datos de extracciones de pozos profundos que se encuentran dentro del área. Dos datos se encuentran en la formación Las Sierras (TQps), cuatro en la formación del Cuaternario Aluvial (Qal) y cuarenta y uno en el Cuaternario Residual (Qr).

En la formación del cuaternario se contabilizan el 62% de los datos en el rango de extracciones de 200 a 300 m³/hr.

El valor mínimo registrado es de 206 m³/hr y el máximo de 300 m³/hr. El promedio para este rango es de 250 m³/hr.

4.9 Usos del agua subterránea

El principal uso que se da al agua es potable, seguido por domésticos, ganadería y de riego. Se obtuvo un consumo mínimo de 50 g/d para pozo excavado y un consumo máximo de 50,000 g/d para pozo perforado. Obteniéndose un volumen total de 1, 342,152 g/d. (211.67 m³/h).

Por lo tanto el uso potable y domestico es de 211.67 m³/h, en el acuífero estudiado.

5. MODELO NUMÉRICO

5.1 Diseño del modelo

En esta etapa, los parámetros y características del modelo conceptual son trasladados al software del modelo matemático de la siguiente manera:

Los mapas bases que sirven como guías para la delimitación de fronteras, y propiedades del acuífero son importados en formato *.dxf.

Para la determinación de la elevación de las capas a partir de los perfiles de los pozos se pueden trasladar en formato *.txt.

Pozos de observación – formato txt

Pozos de explotación – son datos de entrada directa en el modelo

Ríos - entrada directa en el modelo

5.1.1 Dominio del modelo

El modelo utiliza el método de diferencias finitas, en los que se representa el volumen elemental de flujo.

La malla inicial del modelo se definió tomando en cuenta el ancho y largo máximos del acuífero que eran de 36 km y 39 km respectivamente. Se inicio con una malla de 40 filas por 40 columnas las que tenían una dimensión de 968 * 936 m, la que posteriormente se refino para los fines del estudio (Figura 5.1).

En este caso, el refinamiento se hizo en el área del acuífero refinamiento debido a que existen pozos de extracción en toda su extensión y de observación y el río Tipitapa circula a todo lo largo del estrecho de los Lagos Xolotlán y Cocibolca.

Lo anterior justifica la disminución del tamaño de las celdas, las que se redujeron a 242 x 234 m (Figura 5.1).

5.1.2 Capas del modelo

De acuerdo a la agrupación realizada, correlacionado los perfiles litológicos, las características hidráulicas del acuífero y las propiedades geofísicas de los sedimentos, se ha distribuido el modelo en tres capas de superficie irregular, en función de la disposición geométrica tridimensional de éstas y las unidades hidroestratigráficas definidas.

Del techo a la base:

Capa 1: Unidad superior de subsuelo limo - arcillosa

Capa 2: Capa acuífera de sedimentos aluviales (arena fina, media, gruesa, gravas y bolones)

Capa 3: Basamento arcilloso compacto y rocoso del terciario

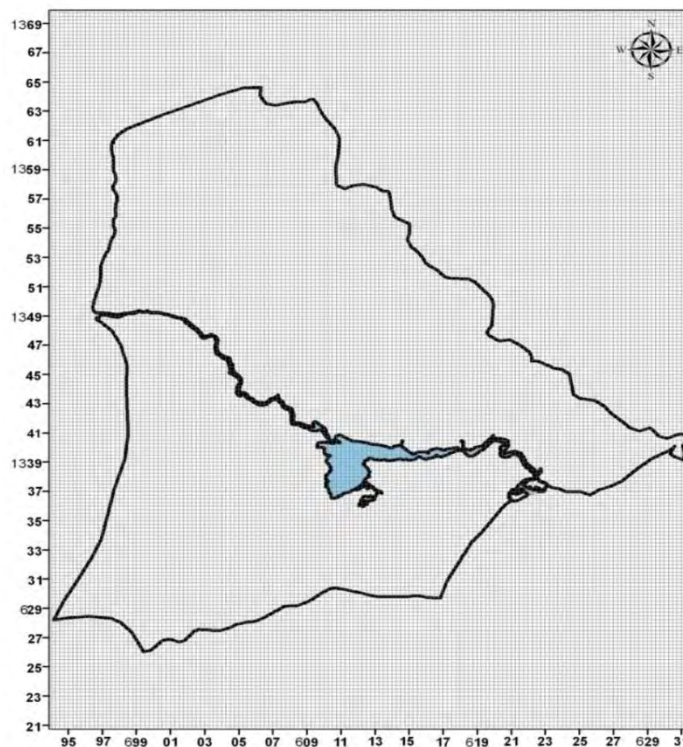


Figura 5.1 Distribución de la malla y dominio del modelo en superficie

Como base física del modelo se ha tomado la capa 3, considerada en este caso de baja permeabilidad, que se le ha asignado valores bajos de conductividad, forma parte de material que conforma el basamento impermeable del acuífero . (Figura 5.2).

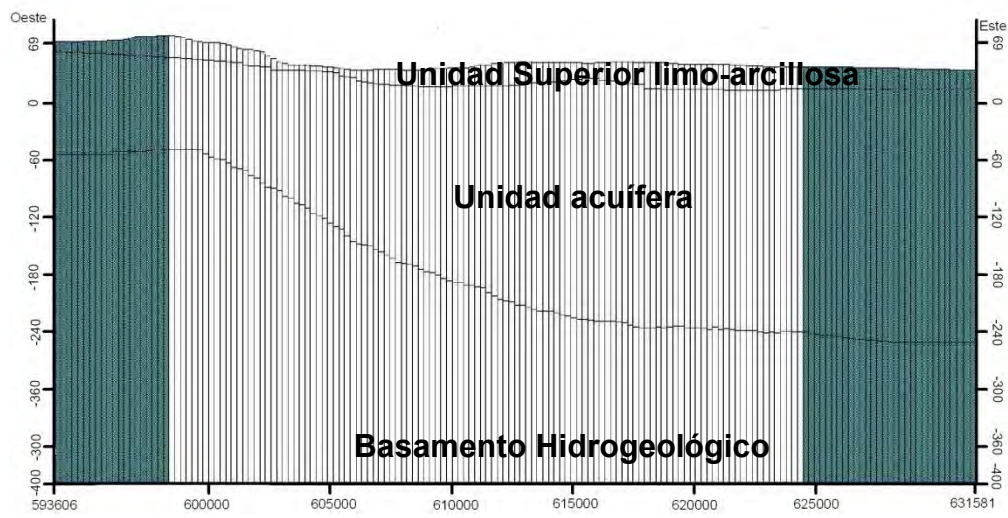


Figura 5.2 Capas del acuífero interlagos de Tisma

5.1.3 Basamento hidrogeológico

El basamento hidrogeológico fue digitalizado con ayuda de los mapas del basamento hidrogeológico del estudio del acuífero de Managua realizado por el (JICA, 1993) y del estudio hidrogeológico del Ingenio Timal (PROCONSULT, 1984), en estos estudios antes mencionados fueron a partir de observaciones litoestratigráficas en los pozos y de estudios geofísicos. Los datos digitalizados fueron ingresados al modelo para conformar la base de la capa inferior (Figura 4.6).

5.1.4 Isofreáticas

Para poder calibrar el modelo, se utilizaron las isofreáticas de los mapas elaborados de acuerdo con los niveles medidos de 13 pozos de observación los que se midieron por un período de 9 años de 2003-2011.

5.1.5 Conductividad hidráulica

Las dos primeras capas del modelo, presenta conductividades horizontales diferentes. En la primera capa se presentan conductividades altas en la capa de formaciones cuaternaria de 10-220 m/d, mientras que en la segunda capa de formaciones del terciario se valoran conductividades de 1-70 m/d. Todas las conductividades verticales, tienen un valor de una décima parte de la conductividad horizontal, es decir una relación anisotrópica (K_v/K_h) donde la conductividad hidráulica cambia según la dirección de flujo, en este caso la conductividad hidráulica horizontal es diferente a la vertical, es decir $KH \neq KV$.

Los datos de conductividad hidráulica calculados y utilizados en la primera corrida del modelo fueron los promedios de los rangos de K de las capa 1 y 2 del acuífero obtenida en los perfiles hidroestratigráficos, pruebas de bombeo, diseño de los pozos y a la relación transmisividad sobre el espesor saturado (Figura 5.3 y 5.4).

5.1.6 Fallas y fracturas

Las fallas y fracturas del acuífero interlagos de Tisma la conforman la falla de Cofradía, la falla del río Tipitapa y el fallamiento de Managua

El sistema de fallas Cofradía, marca el límite este del graben de Managua. El sistema consiste de una serie de fallas normales escalonadas con una inclinación al oeste ha atribuido un desplazamiento del orden de 250 m al grupo Las Sierras. Los escarpes o desplazamientos verticales de la mayoría de estas fallas muestran buenos afloramientos de tobos con bloques métricos pertenecientes al grupo Las Sierras.

Las fallas están conformadas de arenas finas, arenas arcilloso, mezclas de arenas, limos y arcillas estratificadas presentando un rango de conductividad

hidráulica 10^{-1} - 10^{-2} m/d asignándole un valor de 0.05 m/d para la modelación de las fallas.

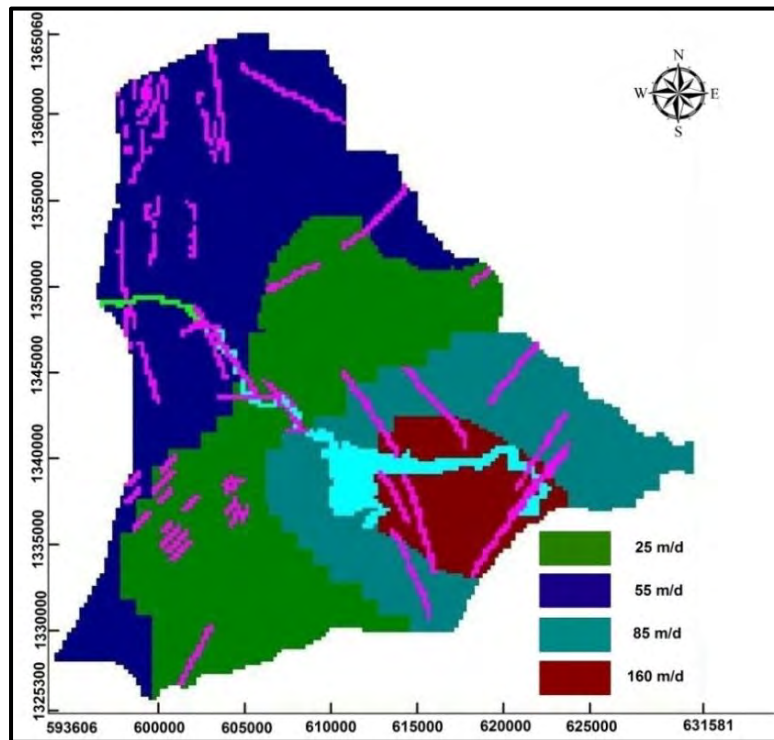


Figura 5.3 Conductividad hidráulica iniciales para la capa 1(Cuaternario)

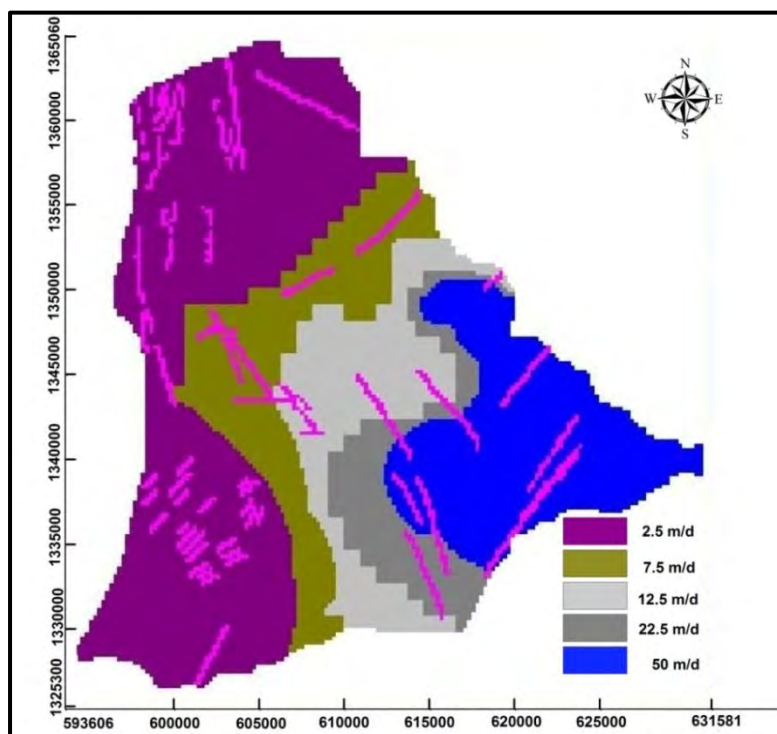


Figura 5.4 Conductividad hidráulica iniciales para la capa 2(Terciario)

5.1.7 Coeficiente de almacenamiento

Los datos de coeficientes de almacenamiento se obtienen a partir de las pruebas de bombeo varían de 0.12-0.20, Los valores conseguidos indican que el agua se encuentra en condiciones libres o freáticas.

5.1.8 Zonas de recarga

La recarga utilizada en el modelo, ha sido estimada a partir del método de balance hídrico de suelo que utiliza geomorfología, textura, vegetación y los valores obtenidos de las pruebas de infiltración, se hace la zonificación de la recarga, los datos presentados son las magnitudes de entrada preliminar al modelo numérico. La recarga mínima y máxima para el modelo serán los calculados durante el período 2003-2011 mediante el método analítico Schosinsky – Losilla (2000). (Figura 5.5).

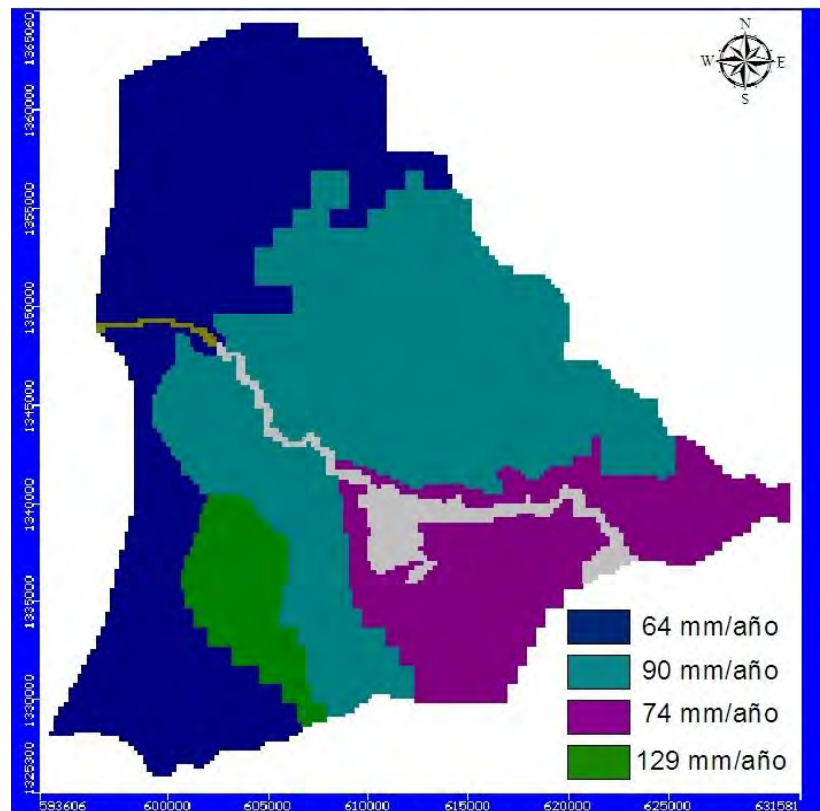


Figura 5.5 Zonas de Recarga calculada para el período 2003-2011

5.1.9 Recarga acuífero interlagos de Tisma

Se escogió el período 2003-2011 porque se cuenta con información del comportamiento de las cargas piezométricas obtenidas mediante monitoreo que se realizaron durante ese período, se cuenta con los niveles de los lagos para ese

período y se realizó el cálculo de la recarga hídrica con la precipitación y evapotranspiración del período con las condiciones de pendiente, vegetación promedio que presenta diferencia poco significativas con respecto al período de 30 años de 1980-2009 ocupado durante el modelo conceptual.

Tabla 5.1 Porcentajes de recarga hídrica utilizadas en el modelo numérico

Zonas de recarga	Asignación de Recarga a partir de la precipitación		
	P(2003-2011)	% de P	Recarga (mm/anual)
1	1236	5,18	64
2	1236	7,28	90
3	1236	5,99	74
4	1236	10,44	129
P- Precipitación, mm/año			

5.1.10 Condiciones de frontera

Se han definido los tipos de condiciones de frontera como sigue:

- Cargas constantes: Esto simulará las elevaciones del nivel de los Lagos Xolotlán y Cocibolca tomando en cuenta el promedio de los años del 2003-2011
- Frontera de no-flujo: a lo largo del límite de baja permeabilidad de las formaciones volcánicas terciarias y el cuaternario, por considerarse las rocas consolidadas. Sin embargo debido al grado de intemperismo y la presencia de fracturas en estas rocas, este límite se ha extendido hacia las formaciones volcánicas en las montañas.
- Frontera de río: para el río Tipitapa, se asume una conductancia calculada a partir de las formaciones del lecho y su espesor.
- Río principal del área modelada

Se toma en cuenta el cauce principal de la cuenca hídrica interlagos que es el río Tipitapa. Para el modelo, la profundidad del cauce presenta un tirante de agua de 3.1 m en la sección transversal del puente El Diablo a 500 m de la desembocadura del Lago Xolotlán (Figura 5.6). En la parte media del río en la inmediación de la finca San Juan de la Plywood el tirante máximo de agua es de 3.9 m y su ancho alcanza los 133 m (Figura 5.7). Mientras que en la desembocadura del río al Cocibolca el ancho del río es de 228 m con un tirante máximo de 2.5 m (Figura 5.11).

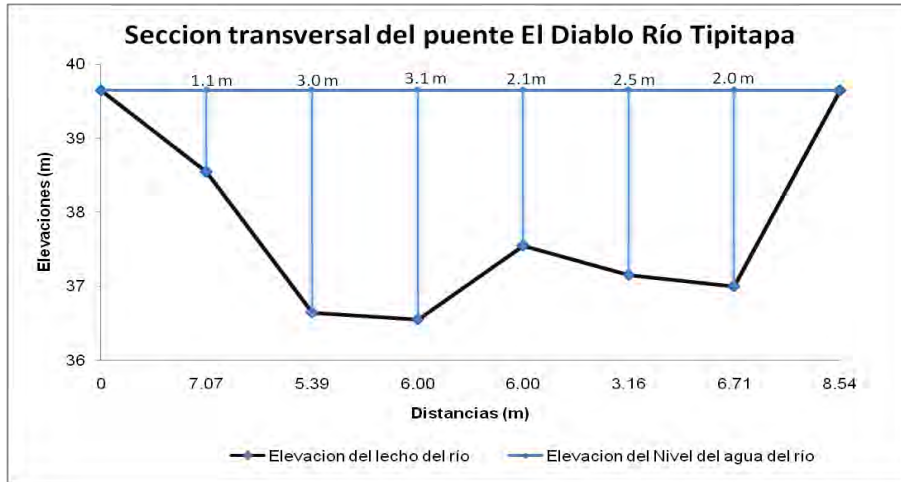


Figura 5.6 Sección transversal del puente El Diablo, Río Tipitapa

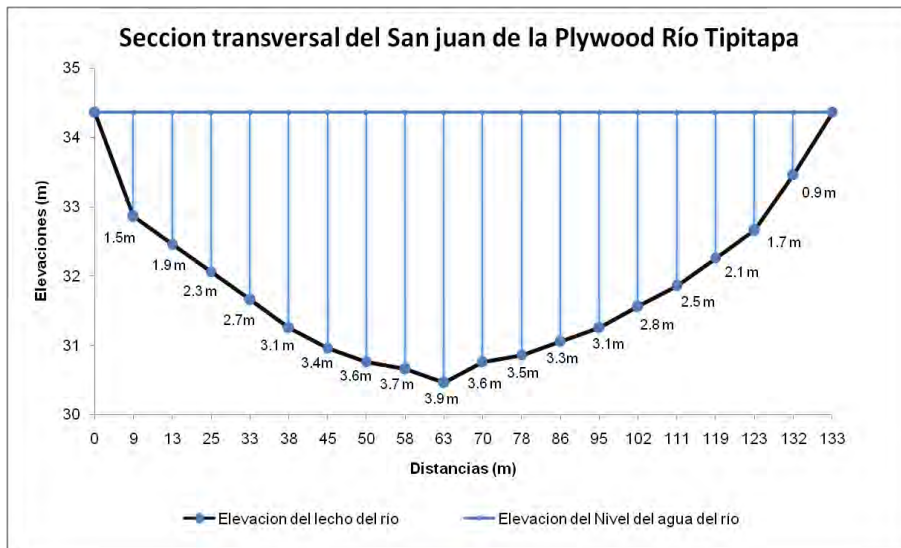


Figura 5.7 Sección transversal San Juan de la Plywood, Río Tipitapa

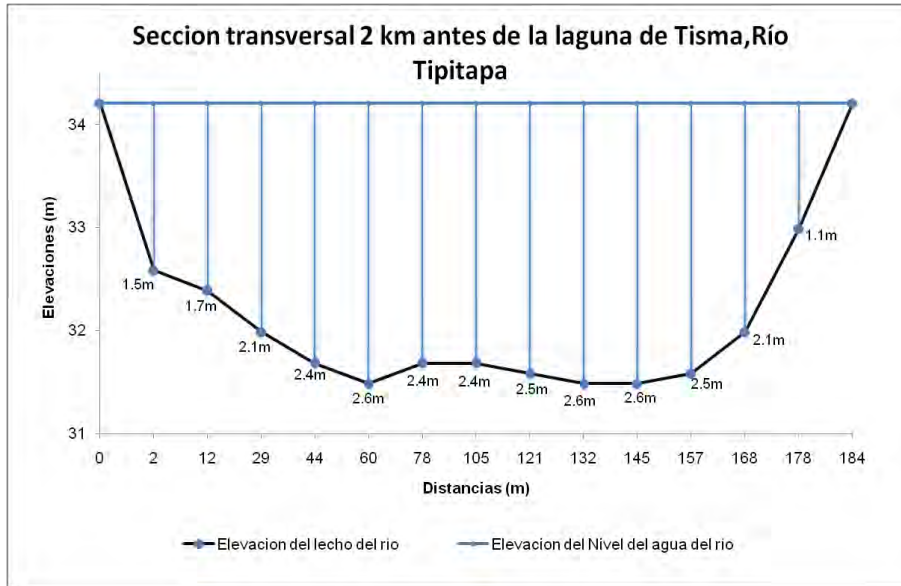


Figura 5.8 Sección transversal 2 km antes de la Laguna de Tisma, Río Tipitapa

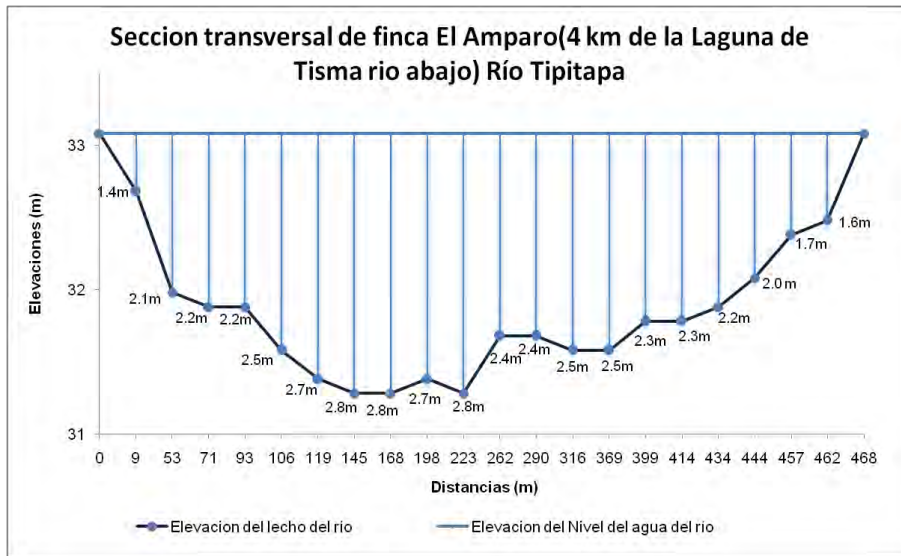


Figura 5.9 Sección transversal de la finca El Amparo (4 km de la Laguna de Tisma, Río Tipitapa río abajo), Río Tipitapa.

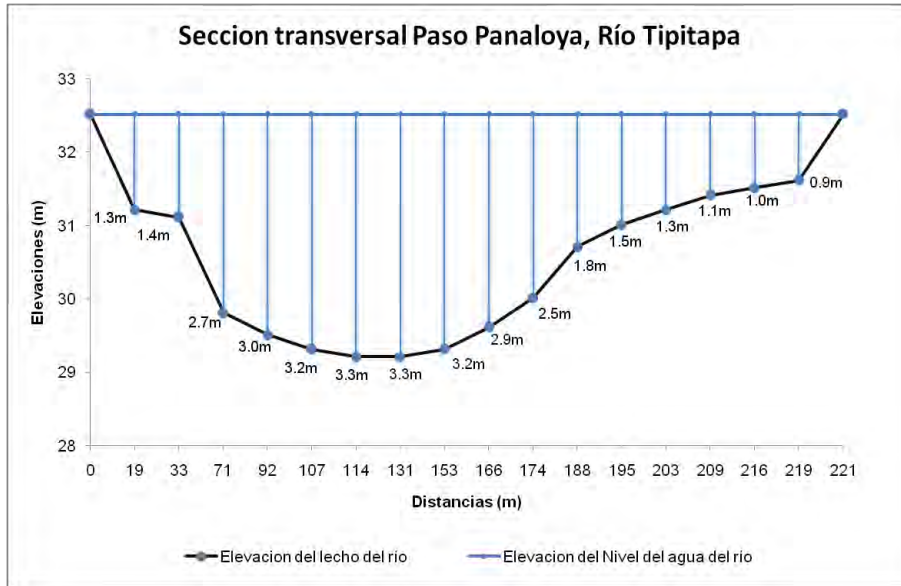


Figura 5.10 Sección transversal del Paso Panaloya, Río Tipitapa

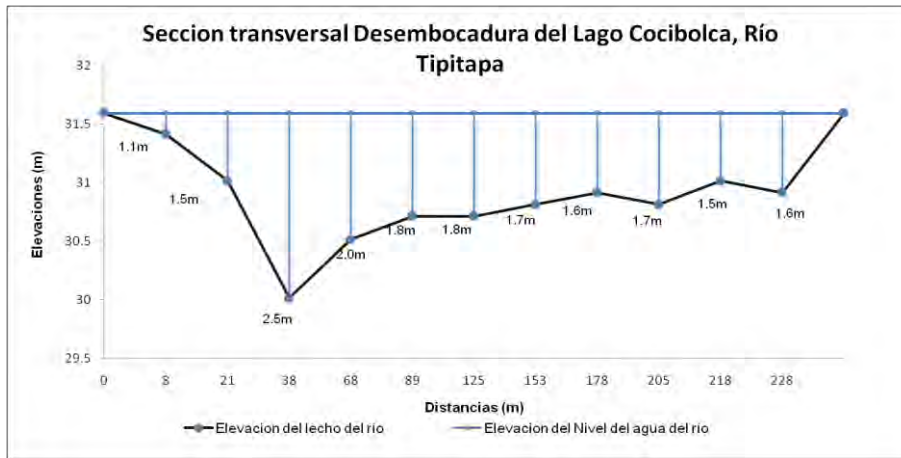


Figura 5.11 Sección transversal Desembocadura del Lago Cocibolca, Río Tipitapa

El Río Tipitapa queda ubicado en la capa superior del modelo. De la desembocadura del Lago Xolotlán al Río Tipitapa a unos 5.5 km río abajo se simula un comportamiento de drenaje que normalmente extrae agua del terreno, funcionando como una línea de nivel constante, mientras que después el comportamiento varía a la de un río que pierde o gana agua dependiendo del nivel del agua y la permeabilidad del fondo del cauce.

El ancho del Río Tipitapa varía de 8-480 m ensanchándose a medida que se acerca a la Laguna de Tisma y la desembocadura al Lago Cocibolca.

La fórmula para el cálculo de la conductancia es: $C = KLW/M$

Donde:

C – conductancia del lecho del río en $m^2/día$

K – conductividad del material del lecho del río (m/d), se toma entonces los datos de la prueba de infiltración en suelo de arena gruesa (1.12 m/d para el river y 0.3 m/d para el drain)

L – longitud de la celda del río con las mismas características (m)

W – ancho de la celda del río con las mismas características (m)

M – Espesor del lecho del río (m), para el Río Tipitapa varía de 0.1-0.5 m

La conductancia promedio calculada para el Río Tipitapa se calculo tanto para la zona que se comporta como **river**, así como el **drain** se muestra en la Tabla 5.2 y 5.3.

Se realizaron pruebas de infiltración en la rivera del Río Tipitapa lo que permitió utilizarlas para estimar la conductividad hidráulica de los materiales del lecho del río obteniéndose suelo de arena gruesa (1.12 m/d para el river y 0.3 m/d para el drain)

Tabla 5.2 Características físicas del cauce del River

Espesor del lecho del río M (m)	Ancho W (m)	Longitud L (m)	Conductividad K (m/día)	Conductancia C(m ² /día)
0.5	242	234	1.12	126847

Tabla 5.3 Características físicas del cauce del drain

Espesor del lecho del río M (m)	Ancho W (m)	Longitud L (m)	Conductividad K (m/día)	Conductancia C(m ² /día)
0.1	154	234	0.3	108108

5.1.11 Pozos y caudales de extracción

Se ingresaron al modelo 47 pozos de extracción de agua subterránea mostrados en la figura 5.12. Ubicando la rejilla a la profundidad adecuada. En aquellos pozos que no contaban con los datos de rejilla, se ubico la rejilla a la profundidad de perforación del pozo. Los datos de extracción con que se cuenta fueron obtenidos de información recolectado sobre uso y extracción de agua subterránea realizado en el área de estudio donde se visitaron las zonas de urbanas y rurales donde se obtuvo cuanto tiempo esta encendido el pozo y el caudal que bombeaba, así como el consumo para uso domestico. La mayoría de los pozos de extracción se ubican en la zona de donde fue el Ingenio Timal. Los que se utilizan para consumo domestico y de riego para cultivos.

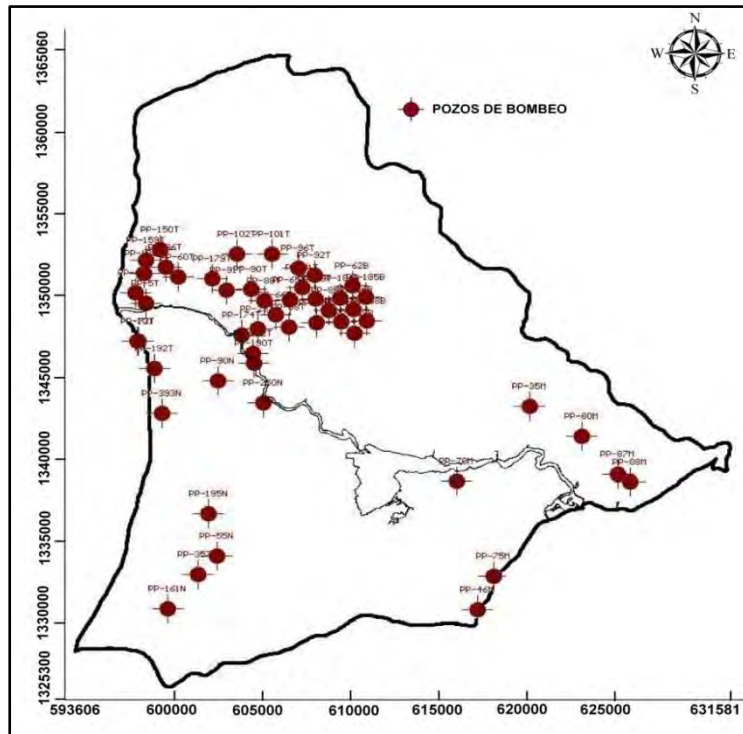


Figura 5.12 Pozos de extracción en el acuífero interlagos de Tisma

5.2 Calibración del modelo

La calibración inicial se efectuó con el ingreso de un conjunto de parámetros (condiciones de frontera, conductividad hidráulica, recarga); para apreciar el efecto en la misma desde la óptica de valores de parámetros previamente estimados.

La primera corrida del modelo se ejecuta con los datos calculados partir de la idealización de los parámetros en el modelo conceptual, los que constituyeron, los parámetros iniciales de una sucesión de ejecuciones en las que los datos de niveles; son ajustados por el método de prueba y error dentro de los rangos de valores de los parámetros de recarga hídrica y conductividad hidráulica, hasta lograr la reproducción de los niveles observados en el campo o su máxima aproximación entre los valores medido y simulados..

5.2.1 Régimen en estado estacionario

Se llama régimen o estado estacionario de un sistema acuífero, cuando se ha logrado establecer un equilibrio entre sus ingresos y sus salidas, cualesquiera que éstas sean (extracción de pozos, recarga hídrica, cargas constante).

Como período estacionario utilizamos el promedio de las observaciones de pozos del período 2003-2011 donde se ha llevado un registro de observaciones cada tres meses de cada año en el área de estudio, además son datos muy confiables y que permite reproducir las condiciones en estado natural que nos permite realizar una modelación de un período en régimen de equilibrio.

5.2.2 Estrategia de calibración del modelo

Con el fin de lograr la calibración del modelo según los niveles freáticos, se ajustaron los parámetros de entrada tales como recarga y conductividad, dentro de los rangos de valores esperados para los mismos y en base al modelo conceptual.

Para el período del 2003-2011 se tienen datos de niveles observados de las redes de monitoreo de INETER y la mayoría están ubicados sobre la zona norte del río Tipitapa. Se cuenta con el mapa piezométrico del Estudio Hidrogeológico del Ingenio Timal realizado por (PROCONSULT, 1984) y (Krasny, 1989).

Los datos de observación utilizados para la calibración del modelo, representan el promedio del nivel del agua de cada pozo durante el período 2003-2011.

Se ajustan los niveles piezométricos observados, partiendo de ajustar los parámetros más influyentes, como es la recarga al acuífero y la conductividad hidráulica.

Los valores de conductividad hidráulica, se fueron calibrando de acuerdo a los valores mínimo y máximos calculados de los datos de transmisividad de las pruebas de bombeo y los espesores saturados que se obtuvieron de los perfiles litológicos.

Para el volumen de recarga se trabajó en los rangos comprendidos para los valores de recarga mínimos y máximos, que corresponde al valor obtenido mediante la fórmula analítica Schosinsky – Losilla, para el período 2003-2011.

La mayoría de los suelos ubicados en la zona norte del río Tipitapa son suelos vertisoles puede influir el agrietamientos de estos suelos arcillosos que se expanden o se comprimen afectando los valores de recarga.

Las pruebas de infiltración dan un valor de referencia, pero el comportamiento de la textura y la granulometría de los estratos analizados en los perfiles litológicos, no se presenta uniforme, lo que influye en la variación de la recarga.

Los datos de recarga natural, fueron ajustados como se muestra en la tabla 5.4, muestras los valores de recarga, para calibrar los datos de niveles freáticos (Figura 5.13).

Tabla 5.4 Recarga calculada y la recarga usada en el modelo:

ZONA DE RECARGA	TEXTURA DE SUELO	RECARGA POTENCIAL CALCULADA (mm)	RECARGA DE CALIBRACION (mm)
ZDR1	Franco arcilloso a arcilloso	64	50
ZDR2	Arcilloso a francoarcilloso	90	116
ZDR3	Arcilloso a arcilloarenoso	74	43
ZDR4	Franco arcilloso a arcilloso	129	120

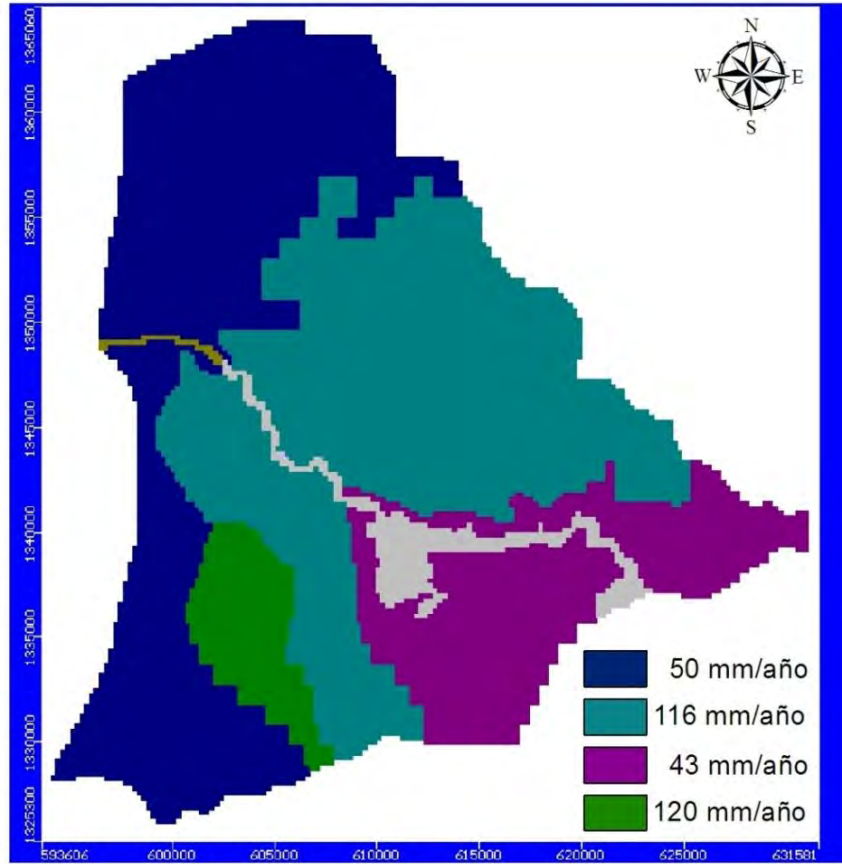


Figura 5.13. Zonas de recarga utilizadas en la calibración del modelo

5.2.3 Conductividad hidráulica

Los valores finales de calibración del modelo son los reflejados en la Tabla 5.5

Tabla 5.5 Valores de Conductividad Hidráulica para la calibración del modelo

NUMERO DE CAPA	FORMACION GEOLOGICA	VALORES DE CONDUCTIVIDAD CALCULADA (m/d)	VALORES DE CONDUCTIVIDAD INICIALES (m/d)	VALORES DE CONDUCTIVIDAD CALIBRADOS (m/d)
1	Cuaternario aluvial, residual y volcanico	10-40	25	10
		40-70	55	40
		70-100	85	92
		100-220	150	100
2	Formacion Las Sierras	<5	2.5	1.1
		5-10	7.5	6.1
		10-15	12.5	15
		15-30	22.5	20
		30-70	50	68

En el mapa de conductividad hidráulica, Figura 5.14, está representada la primera capa, correspondiente a la capa cuaternaria. Los valores de conductividad vertical fueron tomados en 1/10 de la conductividad horizontal, es decir indicando que la

conductividad hidráulica vertical (K_z) es diez veces menor que la horizontal (K_x , K_y) influenciados por las condiciones anisotrópicas del acuífero.

La capa superior limo arcillosa se calibró con valores de 10 -100 m/día (Tabla 5.6).

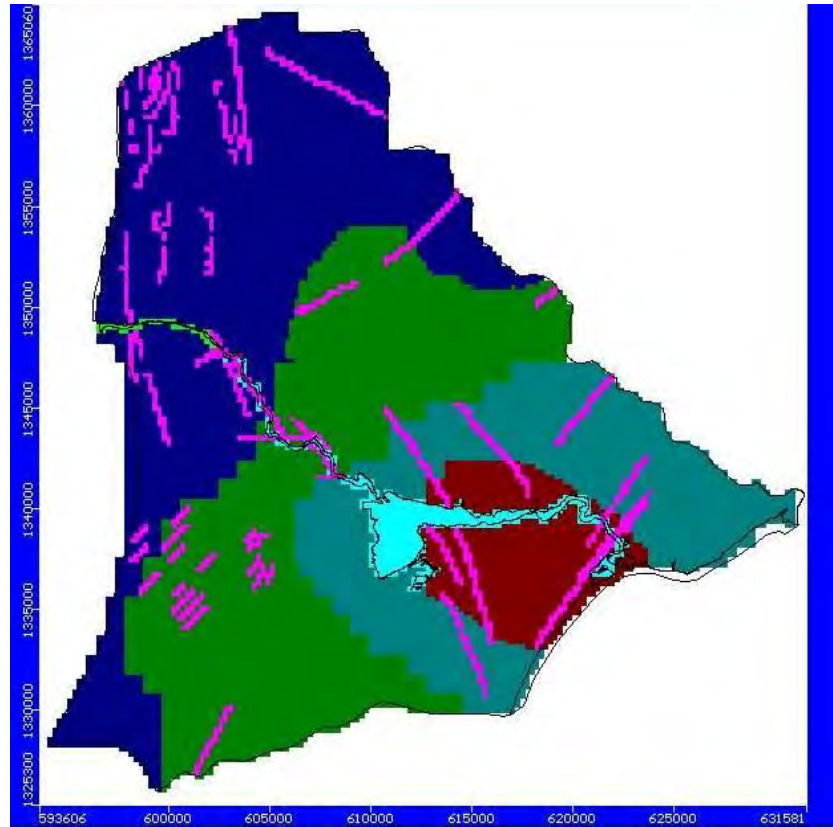


Figura 5.14 Conductividades hidráulicas calibradas de la capa somera

Tabla 5.6 Conductividades verticales y horizontales de la capa somera

Propiedades	K_x (m/d)	K_y (m/d)	K_z (m/d)	Color
1	40	40	4	Azul oscuro
2	10	10	0.1	Verde
3	92	92	9.2	Cian
4	100	100	10	Rojo oscuro
5	0.3	0.3	0.03	Verde brillante
6	1.12	1.12	0.112	Cian claro
7	0.05	0.05	0.005	Magenta

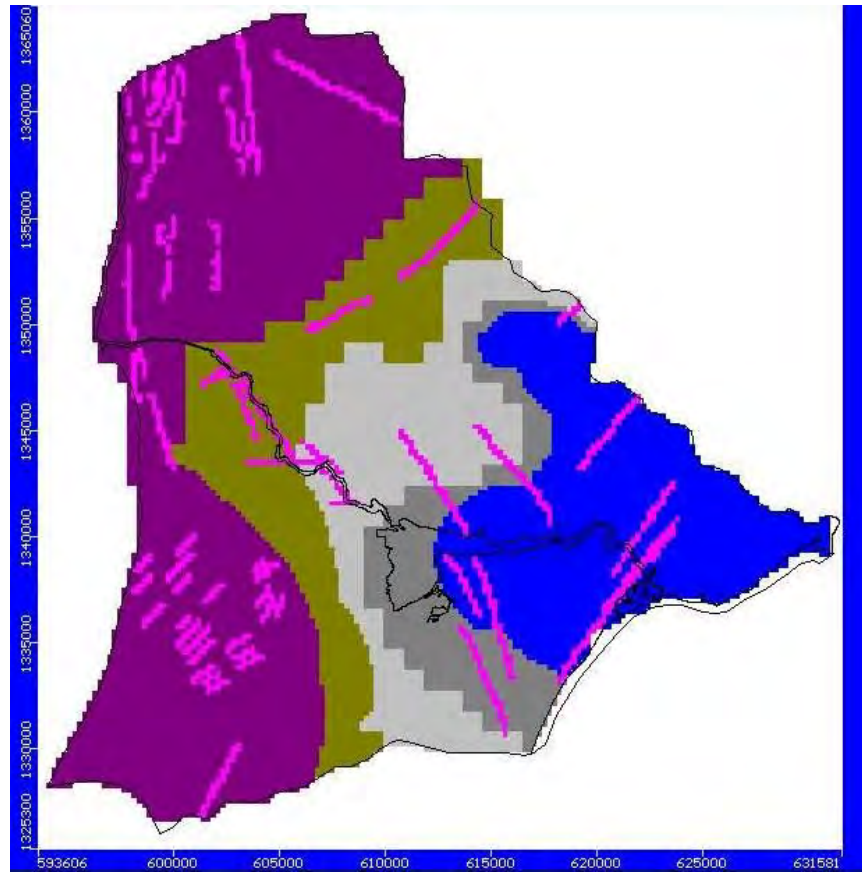


Figura 5.15 Conductividades hidráulicas calibradas de la capa profunda

Tabla 5.7 Conductividades verticales y horizontales de la capa profunda

Propiedades	Kx (m/d)	Ky (m/d)	Kz (m/d)	Color
1	1.1	1.1	0.11	Purple
2	6.1	6.1	0.61	Olive Green
3	15	15	1.5	Grey
4	30	30	3	Dark Grey
5	68	68	6.8	Blue
6	0.05	0.05	0.005	Pink

En el mapa de conductividad hidráulica, Figura 5.15, está representada la segunda capa, correspondiente a la capa terciaria. La capa inferior se calibró con valores de 1.1 -68 m/día (Tabla 5.7).

5.2.4 Resultados de la calibración

5.2.4.1 Superficie piezométrica

Los pozos de observación de la redes de monitoreo esta formadas por pozos excavados y perforados pero solo se tomaron los pozos perforados ya que profundizan mas en el acuífero y nos muestra un mejor comportamiento del flujo subterráneo y sus propiedades hidráulicas. El total de pozos perforados de las redes de monitoreo son 13 y está en su mayoría en la zona norte del río Tipitapa, por lo tanto muestra más confianza en el modelo. Mientras la parte sur del río Tipitapa presenta menos pozos de observación y mayor incertidumbre para los resultados del modelo en esta zona (Figura 5.16).

Las equipotenciales obtenidas en el 2003-2011 fueron en comparación con los mapas construidos con las mediciones de campo están muy bien calibradas en la parte norte del río Tipitapa mientras que en la parte sur la escases de datos de pozos de las redes de monitores provocan líneas con menos definición y un poco subestimadas (Figura 5.17).

Sin embargo, se definen claramente las zonas de recarga al acuífero en la área norte, los límites de la cordillera Chontaleña donde se destacan Cerro Las Luz y el Cerro San Jacinto, mientras que el área sur del acuífero se destaca el Cerro El Coyotepe (Figura 5.17).

Los flujos de descarga del acuífero se mueven hacia Lago Xolotlán, la parte media del río, la laguna de Tisma y posteriormente flujo hacia el Lago Cocibolca. (Figura 5.17)

En la zona sur del río los flujos aunque hay menos pozos de observación siempre muestran una similitud a los flujos de la piezometría de Krasny para 1995 (Figura 2.14), con movimientos de la zona alta para descargar hacia la Laguna de Tisma y el Lago Cocibolca.



Figura 5.16 Pozos de observación para el período de monitoreo (2003-2011).

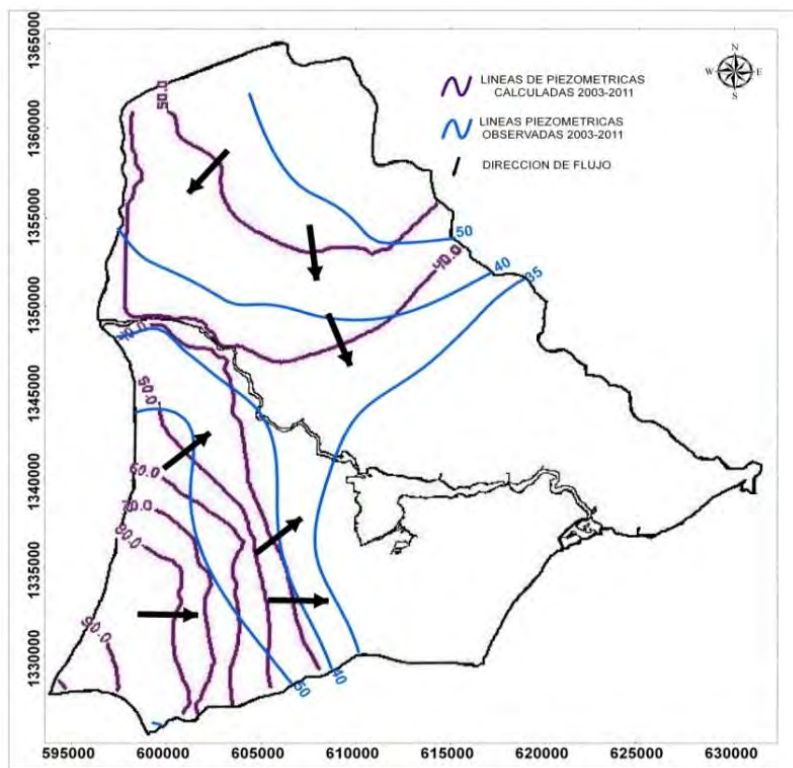


Figura 5.17 Líneas piezométricas calculadas para el período (2003-2011)

5.2.4.2 Análisis de los errores del período 2003-2011

Para la período 2003-2011 el error medio es de 0.45 m (Figura 5.18).esto indica un mejor ajuste de las cargas observadas y calculadas, los datos no muestra grandes errores (Anexo B, Tabla 3B) mostrando una leve tendencia a la sobreestimación de los niveles observados en el campo, al presentar pozos con mas nivel piezométricos observado que los calculados, se puede observar en la tabla 3B en la capa del acuífero somero cuaternario influye más en el error medio total con 0.63 m (Tabla 5.8), mientras el error medio absoluto de 1.90 m (Figura 5.18).el cual es el promedio de la diferencia de la media de las cargas observadas y calculadas están varían en ese rango, la capa 2 del acuífero profundo terciario presenta una mayor variación de 2.135 m (Tabla 5.8) entra las cargas influyendo más en la variación total del acuífero, pero se lograron ajustar las cargas con una desviación estándar de 0.66 m(Figura 5.18)., el error residual medio cuadrático de los datos totales muestra un ajuste es 2.34 m Figura 5.18), indica que la capa donde mejor ajuste se consiguió fue la capa 1 acuífero somero cuaternario con 1.402 m, aumentando el error la capa 2 del acuífero profundo terciario en 2.574 m más de un metro con respecto a la otra capa (Tabla 5.8) y el error normalizado obtenido indica que el total de los datos de carga solamente difieren aproximadamente el 7.46 % de los valores extremos observados (Figura 5.18).

Tabla 5.8 Errores medio, absolutos y medio cuadrático del período 2003-2011

Error(m)	Capa 1 Acuífero Somero Cuaternario	Capa 2 Acuífero Profundo Terciario	Acuífero total
EM	0.637	0.380	0.4591
EMA	1.402	2.135	1.9093
ERMC	1.713	2.574	2.3431

EM: Error medio; EMA: Error medio absoluto; ERMC:Error residual medio cuadrático

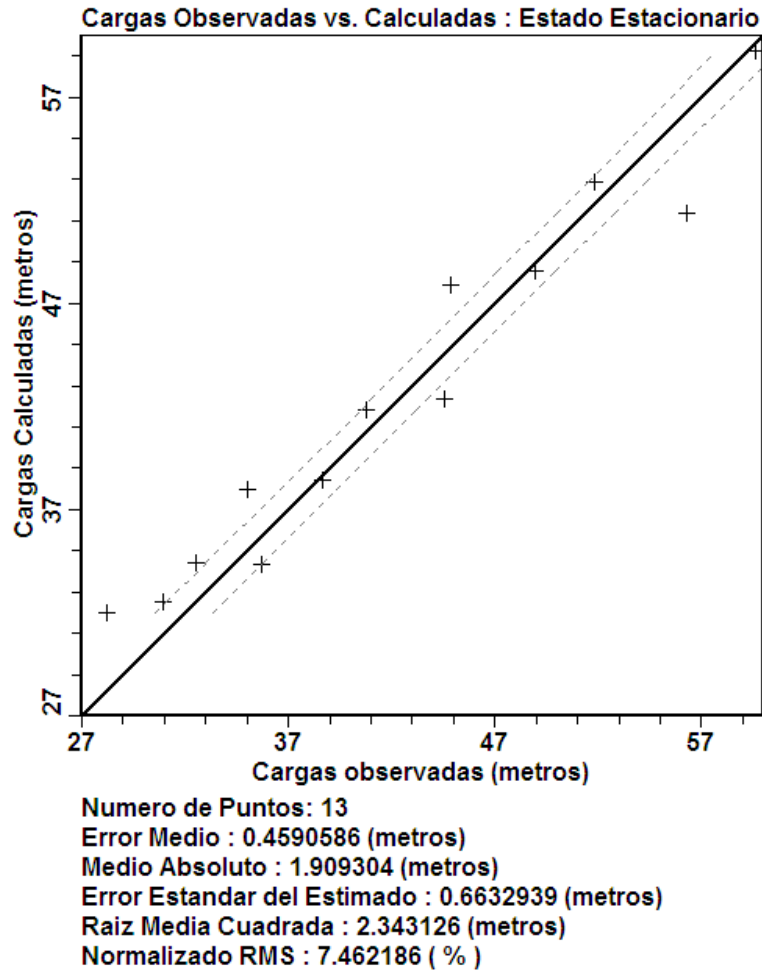


Figura 5.18 Cargas calculadas vs. observadas para el período (2003-2011).

5.2.4.3 Entradas del Balance hídrico subterráneo

Se puede apreciar que la recarga principal es por precipitación un 77% (59.84 MMC) del total del caudal de entrada y en forma secundaria por percolación en el lecho del río 33% (17.32 MMC) (Tabla 5.9).

El bombeo actual, no produce efecto de entrada de agua del Lago Xolotlán

5.2.4.4 Salidas del Balance hídrico subterráneo

De los resultados del balance se obtiene que el flujo que descarga del acuífero hacia el Lago Cocibolca de 77.16 MMC (Tabla 5.9).

El acuífero se descarga principalmente por el río Tipitapa como flujo base, en un 68% (52.92 MMC), en segundo lugar hacia el Lago Cocibolca 27%, como flujo base la parte del río que se comporta como dren 4% y el resto por extracción de los pozos.

Del balance de los componentes referidos, se obtiene que el potencial de agua subterránea calculado por el Modelo Visual Modflow, ande en el orden de 77 MMC/año.

Tabla 5.9 Balance Hídrico Subterráneo 2003-2011 del acuífero interlagos de Tisma

Componente del Balance Hídrico	Entrada MMC/año 2003-2011	Salida MMC/año 2003-2011
Cargas constantes	0.00	20.52
Pozos	0.00	0.27
Recarga	59.84	0.00
Río	17.32	52.92
Drain	0.00	3.46
Total	77.16	77.16

5.3 Verificación del modelo

En el proceso de verificación se opera el modelo con los parámetros determinados en la etapa de calibración y se verifica la reproducción de datos históricos.

La verificación del modelo matemático con los parámetros determinados en la etapa de calibración consistió en la reproducción de los niveles estáticos de períodos con datos históricos.

Para efectos de verificación del modelo se trabajó con el año 2009 de diferente recarga hídrica del acuífero.

Los datos utilizados (conductividad hidráulica, coeficientes de almacenamiento, cargas constantes, pozos de extracción) para la calibración del período 2003-2011, fueron usados en la verificación del modelo, los cambios fueron únicamente en las condiciones de recarga y los pozos de observación que fueron mediciones observadas en el año 2009. La recarga se calculo de acuerdo al método de analítico Schosinsky – Losilla, utilizando la evapotranspiración y precipitación del año 2009(Tabla 5.10).

Tabla 5.10 Recarga hídrica para el año 2009 del acuífero interlagos de Tisma

Zona de Recarga	ETP (mm/A)	P (mm/A)	Pi (mm/A)	Pi (%)	Recarga Promedio (mm)
ZRD1	1601	796	620	77	40
ZRD2	1601	796	623	78	72
ZRD3	1601	796	621	78	34
ZRD4	1601	796	697	87	80

Zra

5.3.1 Niveles piezométricos

Durante el 2009 se realizo un monitoreo de los niveles piezométricos de 84 pozos perforados en el acuífero interlagos de Tisma los que se distribuyen espacialmente en toda el área permitiendo obtener niveles piezométricos tanto en la parte norte y

sur del río Tipitapa. En la simulación de este período los valores de conductividad hidráulica obtenidos en la calibración del período 2003-2011 se mantienen solo variando la recarga correspondiente al 2009 con los niveles de este período (Figura 5.19).

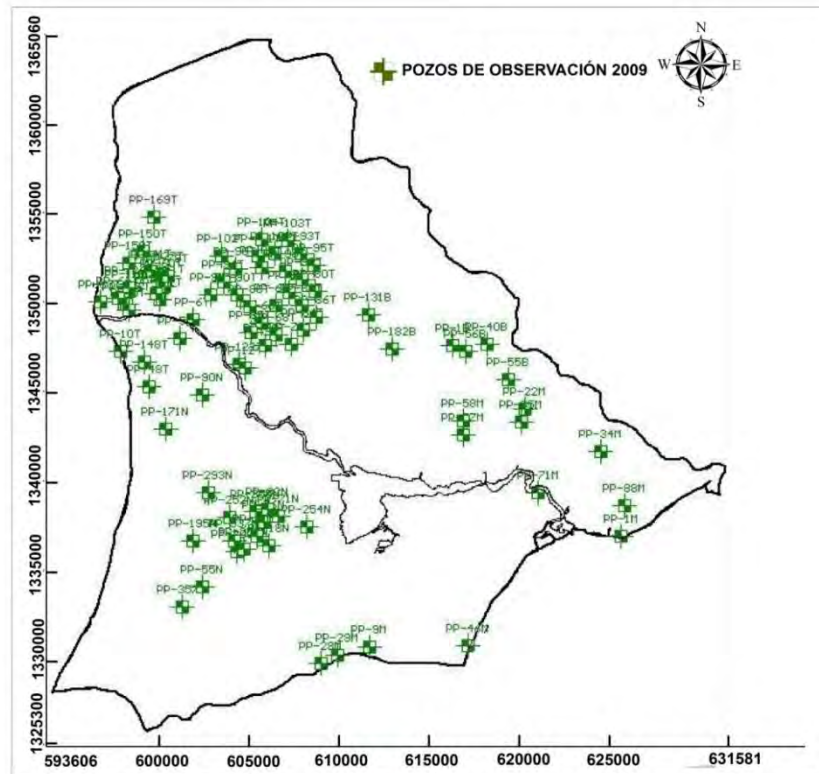


Figura 5.19 Pozos de observación para el período de monitoreo 2009

Los errores obtenidos de los niveles piezométricos observados versus calculados para la época de 2009, están reflejados en la Figura 5.20. En estos se puede visualizar la diferencia en los márgenes de errores, mediante la comparación entre los niveles calculados y observados para los años de explotación 2009 y el período calibrado 2003-2011.

Al hacer cambios solo en la recarga hídrica, los errores oscilan medios absolutos oscilan entre 2.66 y 1.9 del período 2009 y el 2003-2011 respectivamente (Tabla 5.12). Para el período 2009 la capa del acuífero somero se observa 2.87 m de dispersión de las cargas hidráulicas un poco mayor que la del acuífero profundo que es de 2.64 m muestran una leve sobrevaloración de las cargas hidráulicas observadas. En cuanto al error medio cuadrático se valoran los errores mayores que se presentan en las cargas hidráulicas que varía entre 3.30-3.38 m entre las capas lo que no es muy significativa pero nos muestra un mayor grado de dispersión entre los datos de las cargas hidráulicas (Tabla 5.11).

Tabla 5.11 Errores medio, absolutos y medio cuadrático para el año 2009

Error(m)	Capa 1 Acuífero Somero Cuaternario	Capa 2 Acuífero Profundo Terciario	Acuífero total
Nº pozo	8	76	84
EM	1.032	-0.026	0.4591
EMA	2.871	2.644	1.9093
ERMC	3.306	3.383	2.3431

EM: Error medio; EMA: Error medio absoluto; ERMC:Error residual medio cuadrático

Tabla 5.12 Errores del período 2003-2011 vs año 2009

EPOCA SIMULADA	ERROR MEDIO(m)	ERROR MEDIO ABSOLUTO(m)	ERROR ESTÁNDAR ESTIMADO(m)	RAIZ CUADRADA MEDIA(m)	NORMALIZADO RMS(%)
2003-2011	0.46	1.9	0.66	2.34	7.46
2009	0.07	2.66	0.37	3.37	7.18

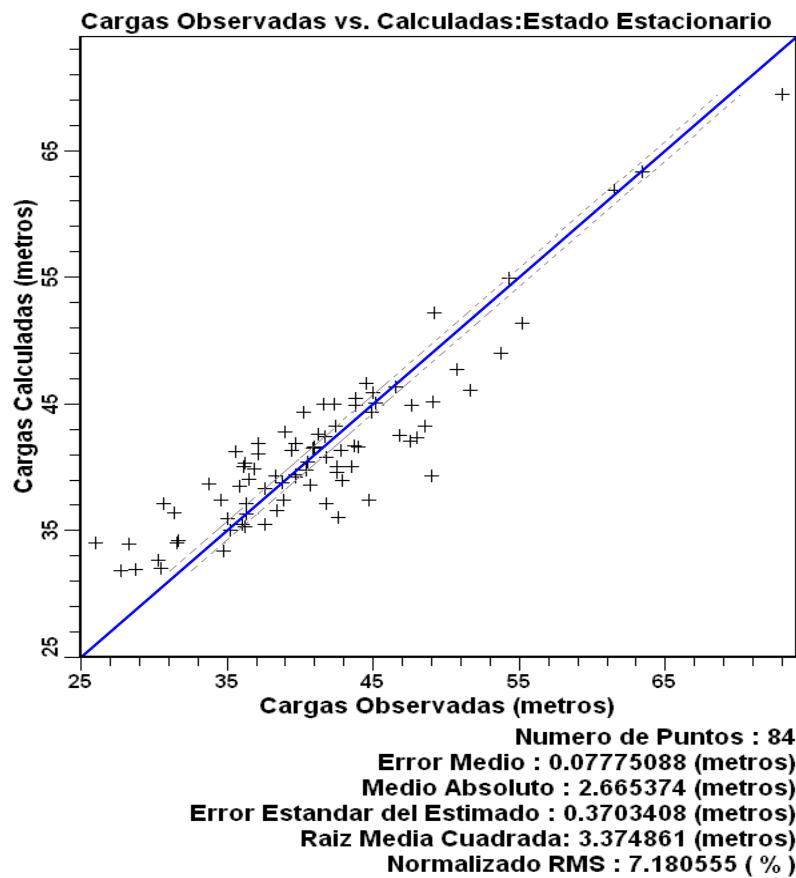


Figura 5.20 Verificación de las cargas hidráulicas del año 2009

5.4 Análisis de sensibilidad del modelo

5.4.1 Análisis de sensibilidad de la recarga hídrica

El análisis de sensibilidad para la recarga se basó en el error del método del Balance Hídrico de Suelos, se simuló entonces en un rango de $\pm 25\%$ a partir de la recarga de calibración (Figura 3B-4, 3B-5 y 3B-6). La Tabla 3B.2, (Anexo B), muestra los valores de Recarga utilizada para el análisis de Sensibilidad del Modelo.

Se evaluaron 5 valores porcentuales de 25%, 10%, 0%, -10% y -25% de la recarga hídrica subterránea para cada zona de recarga, donde se determinó que cuando la recarga hídrica se disminuye cerca del 25 % de la norma del período 2003-2011 se da el incremento de la cuña de transición entre Lago Xolotlán y el acuífero interlagos con una magnitud de 0.01 MMCA (unos $1.915 \text{ m}^3/\text{día}$) (Tabla 3B.2) lo que se presenta en la zona de recarga uno, lo que muestra que al disminuir los niveles de recarga en esta zona provoca una disminución de los niveles del acuífero con respecto al nivel del Lago Xolotlán y disminuye la capacidad de dispersión de las aguas subterráneas del acuífero (Figura 5.21 y 5.22)

El peligro de intrusión de la cuña entre las aguas del lago y el acuífero interlagos se ve disminuida por la mayor velocidad de movimiento del flujo subterráneo de las recargas locales a través del medio poroso en dirección al lago y las formaciones consolidadas de material tobáceo prevaleciente en toda la ribera del Lago Xolotlán.

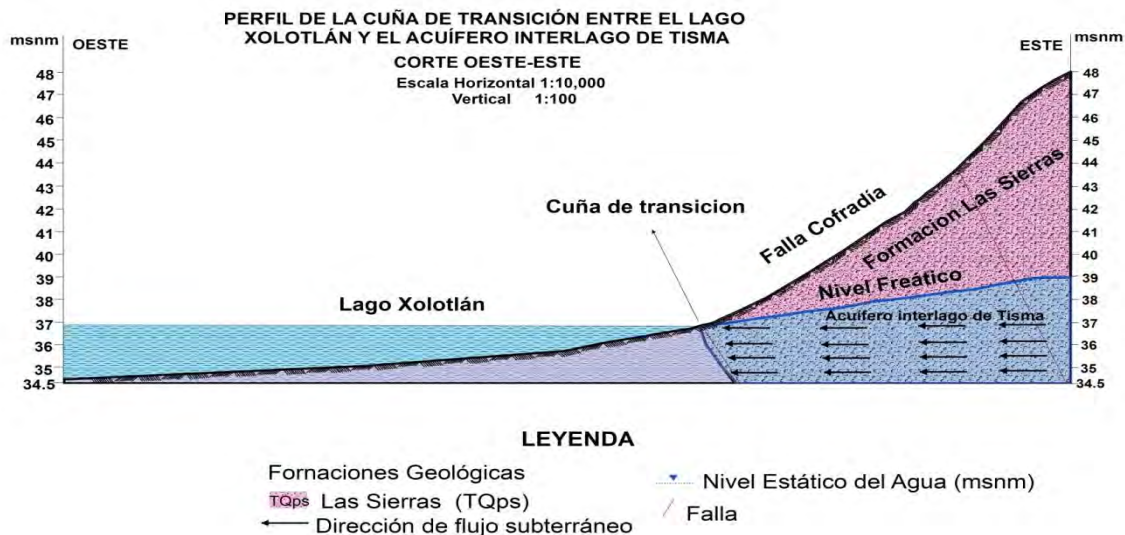


Figura 5.21 Perfil de la cuña de transición entre el Lago Xolotlán y el acuífero interlagos

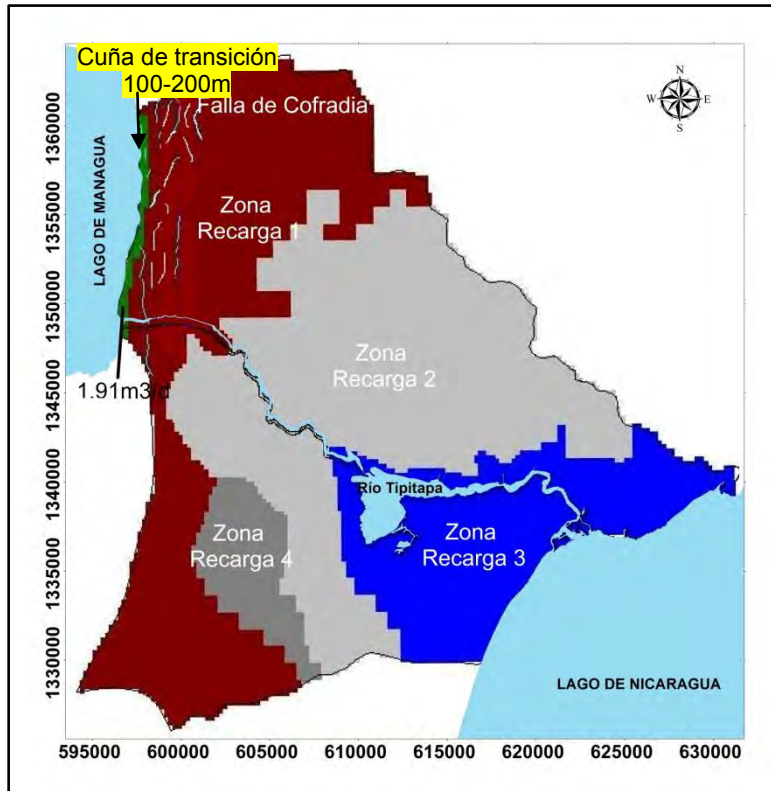


Figura 5.22 Análisis de sensibilidad de la zona de recarga hídrica 1 del acuífero interlagos de Tisma

5.4.2 Análisis de sensibilidad de la conductividad hidráulica

La simulación, para el análisis de sensibilidad de la conductividad hidráulica, El resultado obtenido se resume en la Tabla 5.13

Tabla 5.13 Resultado del análisis de sensibilidad

Parametros de comparacion	Valores de Calibracion Estado Estacionario	Recarga Alta (mm)	Recarga Baja(mm)	Conductivida d Baja	Conductividad Alta	Recarga Alta Conductividad Alta	Recarga Baja Conductividad Baja
Error Medio (m)	0.48	2.17	-1.32	2.91	-2.59	-1.45	0.92
Medio Absoluto (m)	1.9	2.62	2.76	3.21	4.08	3.28	2.4
Error Estándar del Estimado (m)	0.66	0.61	0.92	0.66	1.32	1.11	0.73
Raíz Media Cuadrada (m)	2.34	3.05	3.47	3.71	5.26	4.14	2.72
Normalizado RMS (%)	7.45	9.71	11.05	11.83	16.77	13.19	8.66

La mayor sensibilidad del modelo es la conductividad hidráulica, ya que aunque se trabajó con los valores de recarga hídrica para lograr el ajuste de niveles observados, mostro más incidencia la conductividad hidráulica.

5.5. Simulaciones

Después de la calibración y el análisis de sensibilidad de el modelo, se simularon en total 9 escenario desde el año 2003 al año 2011 para visualizar los efectos de los escenarios en las recargas sobre el flujo de las agua subterráneas entre los dos lagos de manera consecutiva año a año (Tabla 5.14).

Tabla 5.14 Errores medio, absolutos y medio cuadrático de la simulación de los años secos y húmedos del 2003-2011

Precipitacion	Normal	Seco	Normal	Seco	Húmedo	Húmedo	Seco	Húmedo	Húmedo
Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
EM(m)	0.510	-0.381	0.802	-1.299	1.013	1.466	0.074	2.212	2.116
EMA(m)	2.021	2.105	2.121	2.647	2.155	2.386	2.666	2.699	2.728
ERMC(m)	2.437	2.686	2.480	3.303	2.491	2.805	3.376	3.513	3.353

EM: Error medio; EMA: Error medio absoluto; ERMC:Error residual medio cuadrático

Se observa la tabla 5.14 que muestra los errores de las diferencia de cargas observadas y calculadas entre los años del 2003 al 2011 el error medio donde hay una subestimación de las carga hidráulicas observadas ya que se observa con signo negativo presentándose en período donde las precipitaciones son bajas caracterizadas por un período seco y por el efecto climático del Niño. A pesar que el año 2009 es un período de disminución en las precipitaciones este viene precedido de 2 años (2007 y 2008) de intensa actividad meteorológica del fenómeno de la Niña por lo tanto los niveles de las cargas observadas no han disminuidos tanto con respecto a las cargas calculadas, esto se observa también en el nivel de los Lagos Xolotlán y Cocibolca que ese año, estos mantuvieron un nivel record de sus aguas por acumulación de agua superficial y sedimentos de los años 2007 y 2008.

El error medio absoluto nos muestra que la variaciones de niveles entre la cargas hidráulicas en el acuífero interlagos de Tisma para estos años variaron entre los 2.02-2.7 m mientras que el error residual medio cuadrático nos muestras los máximas variaciones entre estos años en las cargas de 2.4-3.5 m.

5.5.1 Análisis de la recarga hídrica de los años del periodo 2003-2011

En la disminución o incremento de recarga hídrica influenciada por los efectos cambio climáticos en las precipitaciones causan variación en los balances hídricos del acuífero interlagos de Tisma:

Se observa un caudal mínimo en las aportaciones del acuífero hacia el Lago Cocibolca de 15.62 (2011) a un máximo caudal de 22.81 MMC/A(2007) (Tabla 3B.3, Anexo B).

Se presenta una cuña de transición entre el acuífero y el Lago Xolotlán en los años 2010 y 2011 de 0.01, 0.02 y 0.05 MMC/A. (Tabla 3B.3, Anexo B).

El volumen de agua que sale del acuífero interlagos hacia el río Tipitapa se incrementa de 38.32 MMC(2004) a 51.80 MMC (Tabla 3B.3, Anexo B).

5.5.2 Balance Hídrico por años húmedos y secos en el periodo 2003-2011

Se realizaron la simulación de todos los años del período 2003-2011. Para visualizar el comportamiento del acuífero en el trascurso de los años: así como pasa de un año seco a uno con comportamiento húmedo la Tabla 5.15 muestra los balances hídricos obtenidos para todas las épocas del 2003-2011, puede ver la evolución del acuífero cuando hay incrementos o disminución en la recarga y los niveles de los lagos por efecto del Niño o la Niña.

Se evaluaron zonas de interés en el área del río para analizar la interacción entre el río y el acuífero.

5.5.2.1 Entradas en el periodo 2003-2011

La recarga principal para la época de simulación 2003-2011, se realiza directamente por precipitación (59.87 MMC/A), y a través del lecho del río se infiltran hacia el acuífero (17.32 MMC/A) promedio del período (Tabla 5.15).

Para los años 2010 y 2011 se presenta las máximas recargas al acuífero de 76.74 MMC/A y 73.69 MMC/A lo que es un incremento de 16.87 y 13.82 MMC/A que representa un incremento del 28 y 23% con respecto al período 2003-2011 ya estos años se caracteriza por ser años húmedos y presentan las máximas precipitaciones del período y de incremento en el nivel de los Lagos Xolotlán y Cocibolca (Tabla 5.15).

La recarga aumenta en 13.85 MMC, que representa un aumento del 23% de la recarga del período 2003-2011, como consecuencia del aumento de la precipitación por ser un año muy lluvioso, lo que incrementa recarga natural. Durante el período antes mencionado se encuentra la recarga mínima y máxima la que corresponde a los años 2009 que se comporto como año seco y 2010 que presento un comportamiento de año húmedo presentan valores de 41.68 y 76.74 MMC/A respectivamente(Tabla 5.15).

Se puede observar en la Tabla que se presenta una cuña de transición entre el Lago Xolotlán y el acuífero interlagos de Tisma en los años 2009, 2010 y 2011 la que se puede cuantificar 0.02, 0.01 y 0.05 MMC/A respectivamente. Durante los años 2010 y 2011 se presentaron las máximas precipitaciones lo que se traduce

en máximas recargas y los niveles de los lagos Xolotlán y Cocibolca durante este período, en el año 2009 se presenta bajas precipitaciones pero los niveles de los lagos son altos ya que durante el 2007 y 2008 fueron años con altas precipitaciones lo que permitieron que el Lago Xolotlán mantuviera un nivel de sus aguas que permita el flujo superficial (Tabla 5.15).

La infiltración promedio en el período 2003-2011 desde el río al acuífero es de 17.32 MMC/A alcanzando un máximo en el 19.70 MMC/A en el 2009, debido incremento de los niveles del Lago Xolotlán en el 2009.

Para el año 2009, por el contrario, aumenta la infiltración del río al acuífero ya que los niveles piezométricos del agua se profundizan por la disminución de la recarga de infiltración.

La disponibilidad de agua promedio para el período 2003-2011 se calculó en 77.20 MMC promedio. Aunque en el período se presentó una máxima disponibilidad del acuífero de 91.69 MMC/A durante el año 2010.

5.5.2.2 Salidas en el periodo 2003-2011

La descarga del acuífero interlagos de Tisma al río Tipitapa durante el período 2003-2011 es de 52.91 MMC/A los que se realizan en cuatros zonas del lago y el río: el Lago Xolotlán, la parte media del río Tipitapa, la Laguna de Tisma y entre la Laguna de Tisma hacia la desembocadura al Lago Cocibolca donde se presentan caudales de 3.46 MMC/A, 9.38 MMC/A, 36.27 MMC/A y 6.45 MMC/A respectivamente, lo que representa un comportamiento efluente del acuífero hacia el río Tipitapa (Figura 5.22).

La descarga del acuífero al Lago Cocibolca se estima en 20.53 MMC/año para el período 2003-2011. Alcanzando una máxima de 28.88 MMC/A durante el año 2007.

El potencial total del acuífero en las condiciones actuales del 2009, es de 65.90 MMC/anales (Tabla 5.15).

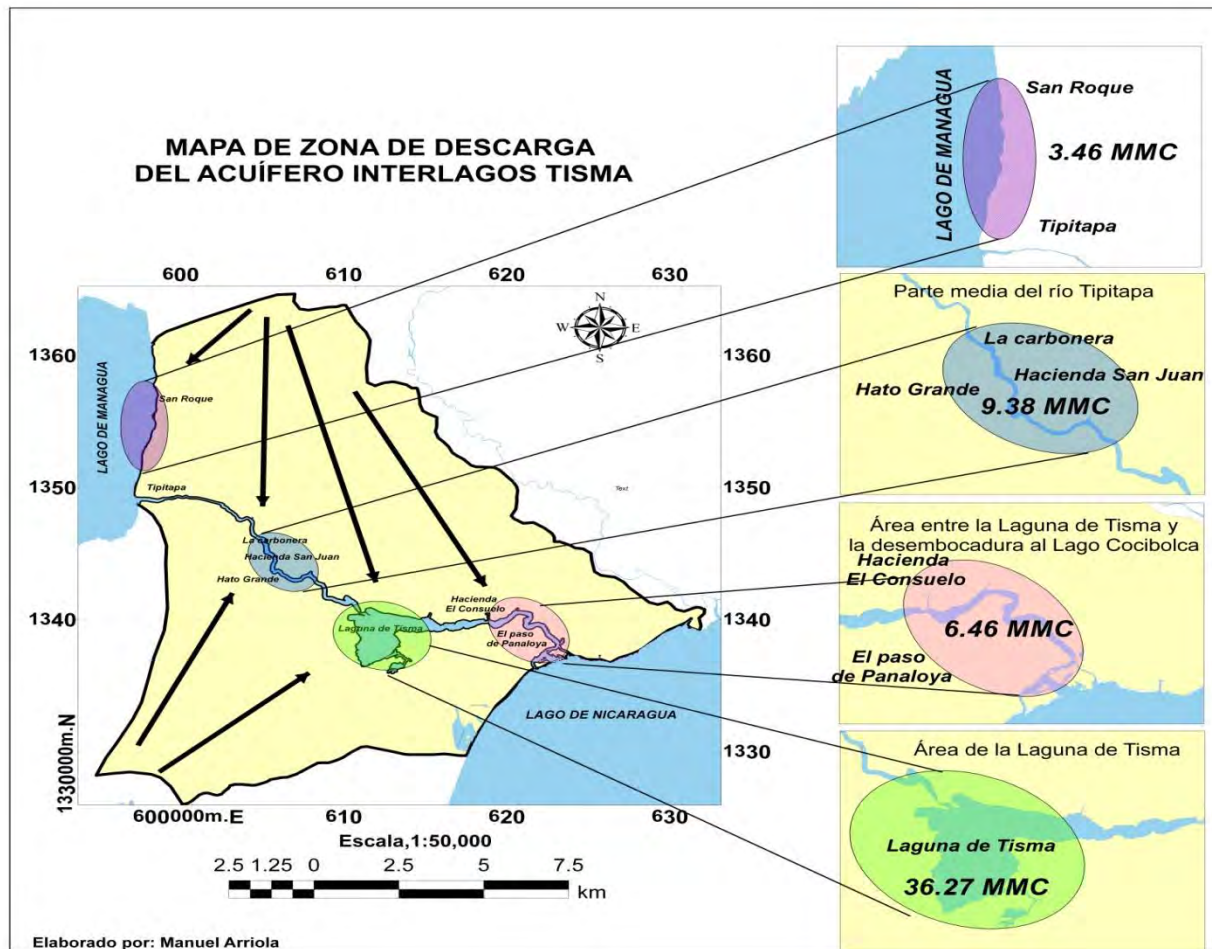
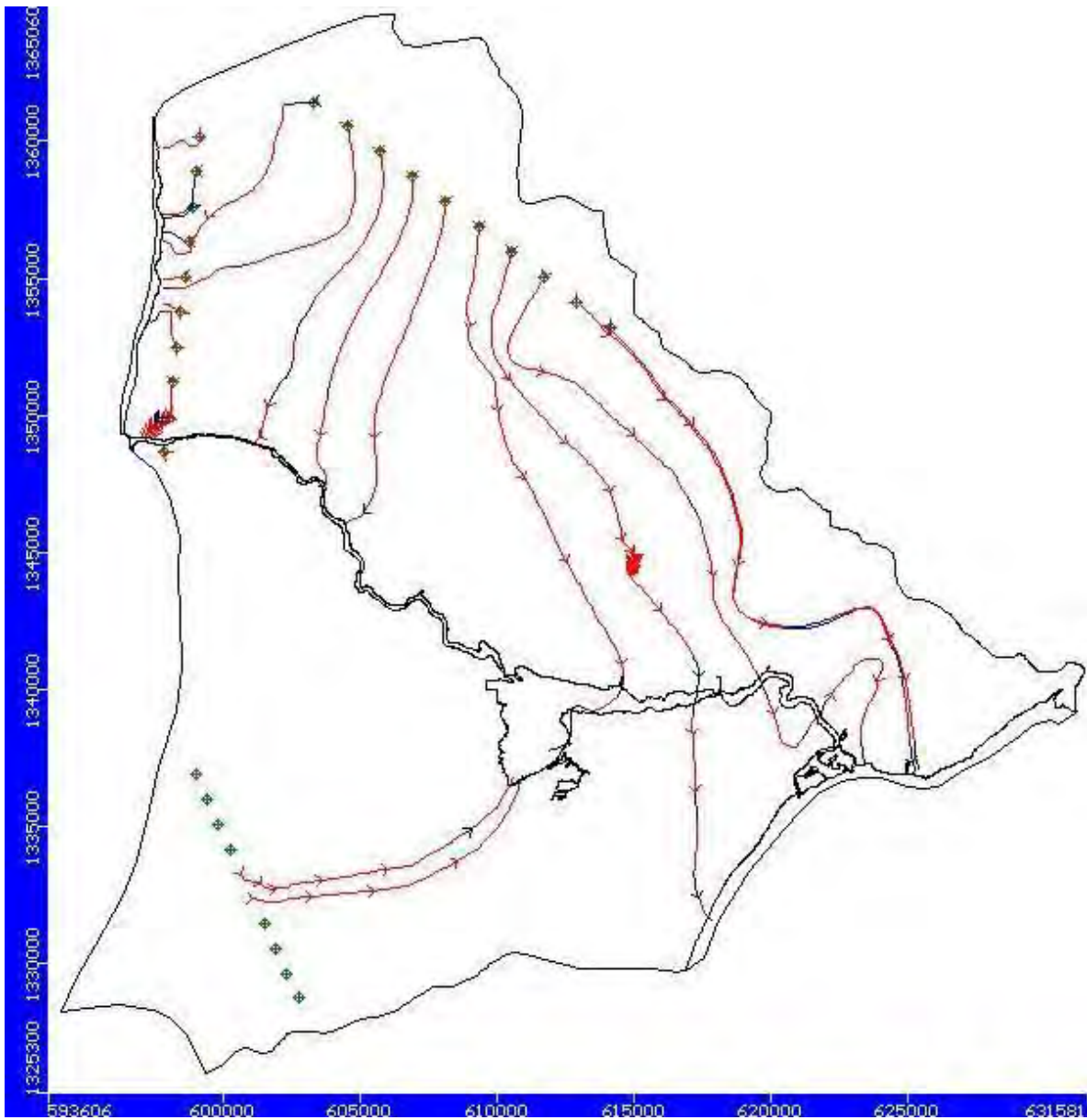


Figura 5.23 Zonas y caudales de descargas del acuífero interlagos de Tisma



Figuras 5.24 Simulación del flujo subterráneo para el período 2003-2011

Tabla 5.15 Balance hídrico subterráneo para los años del periodo 2003-2011

Año	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2003-2011	
	Entrada MMC/año 2003	Salida MMC/año 2003	Entrada MMC/año 2004	Salida MMC/año 2004	Entrada MMC/año 2005	Salida MMC/año 2005	Entrada MMC/año 2006	Salida MMC/año 2006	Entrada MMC/año 2007	Salida MMC/año 2007	Entrada MMC/año 2008	Salida MMC/año 2008	Entrada MMC/año 2009	Salida MMC/año 2009	Entrada MMC/año 2010	Salida MMC/año 2010	Entrada MMC/año 2011	Salida MMC/año 2011	Entrada MMC/año 2003-2011	Salida MMC/año 2003-2011
Cargas constantes	0.00	25.07	0.00	18.75	0.00	23.02	0.00	19.94	0.00	28.88	0.00	23.52	0.02	17.97	0.01	24.38	0.05	20.53	0.00	20.55
Pozos	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.27
Recarga	63.98	0.00	49.32	0.00	70.93	0.00	42.90	0.00	71.30	0.00	68.40	0.00	41.68	0.00	76.74	0.00	73.69	0.00	59.87	0.00
Rio	18.13	52.92	18.26	45.57	15.37	58.80	20.89	41.11	18.59	56.52	16.22	56.72	19.70	40.73	14.95	62.27	13.67	61.86	17.32	52.91
Drain	0.00	3.85	0.00	2.99	0.00	4.21	0.00	2.47	0.00	4.24	0.00	4.13	0.00	2.42	0.00	4.77	0.00	4.75	0.00	3.47
Total	82.11	82.10	67.58	67.58	86.30	86.30	63.79	63.79	89.90	89.90	84.62	84.63	61.39	61.39	91.69	91.69	87.42	87.41	77.19	77.20

6. CONCLUSIONES

Entre los lagos Xolotlán y Cocibolca la conectividad hidráulica subterránea está condicionada por los afloramientos de tobas y los flujos proveniente de la zona de recarga del acuífero evitando la intrusión de los flujos provenientes del lago Xolotlán.

El flujo de agua subterránea del acuífero interlagos es alimentado por recargas locales de la zonas de mayor elevación norte y sur del mismo, descargando posteriormente en el Lago Xolotlán, la parte media del río Tipitapa, desembocadura del Río Tipitapa al Lago Cocibolca y Laguna de Tisma.

La falla Cofradía y los afloramientos de tobas de 20 a 30 metros de espesor, en la zona noroeste paralelas a la ribera este del Lago Xolotlán provocan una desviación de los flujos subterráneos provenientes de las recargas locales de esta zona del acuífero hacia el Lago Xolotlán y el Río Tipitapa.

La laguna de Tisma es la zona de mayor descarga del acuífero interlagos debido a las conductividades hidráulicas y topografía del terreno.

Entre el Lago Xolotlán y la falla Cofradía se presenta un área de descarga donde la interacción entre dos cuerpos de agua, varía de 100 a 200 metros dentro de la costa del lago; pero que no representa una conexión hidráulica de flujo entre el lago Xolotlán y el acuífero interlagos de Tisma.

La cuña de transición conecta los flujos subterráneos poroso del cuaternario y la intrusión del lago a través del medio facturado a lo largo de la ribera de este.

La cuña de transición se presenta comúnmente en años afectados por el efecto meteorológico de la Niña, que incide en el incremento súbito del nivel del lago Xolotlán.

La cuña de transición que se presenta entre el Lago Xolotlán y el acuífero interlagos de Tisma se cuantifica entre 0.01-0.05 MMCA para años húmedos.

7. RECOMENDACIONES

La profundidad del fallamiento de Cofradía y Río Tipitapa debe ser determinada para valorar su incidencia el flujo profundo del acuífero; por lo que se recomienda el uso de mediciones geoelectricas para tal fin.

Aplicación de sondeos geoelectricos en los límites del acuífero y sobre el río para ayudar a un mejor conocimiento del Basamento Hidrogeológico.

Densificación la red de monitoreo con pozos perforados tanto al norte y sur del acuífero para tener información del profundidad y elevación del agua subterránea carente actualmente en la zona de estudio.

Reforestación de la zona de recarga del acuífero y la ribera del río que permita la disminución de la erosión de suelo, así como el arrastre de sedimentos y contaminantes químicos producto de la agricultura extensiva y el incremento de la recarga al acuífero.

Es necesario evaluar el impacto de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales en la zona de la laguna de Tisma debido al incremento de las áreas de cultivo de arroz y maní, los que vierten grandes cantidades de insecticidas residuales por prácticas agrícolas indebidas.

Perforación e instalación de piezómetros en las zonas de descarga del acuífero interlagos para realizar muestreos de agua e isótopos para valorar la el origen de las agua subterráneas.

Tratamientos de las aguas residuales de las ciudades presentes en la zona interlagos, como Tipitapa y Tisma, las que posteriormente son vertidas al río o se infiltran en el suelo contaminando el acuífero.

Realización de un plan de manejo de la cuenca que permita el ordenamiento de los recursos, el desarrollo sostenible y la calidad de las aguas del Río Tipitapa y del acuífero interlagos de Tisma.

8. BIBLIOGRAFÍA

ALTAMIRANO, M 2002, Estudio de la microcuenca y diseño de Plan de Acción Participativo para potenciar la disponibilidad y calidad de agua en la comunidad de Colonia Roque, municipio de Tipitapa. Departamento de Managua 2002..

ARAGUAS, L. 2002 Relación entre el Lago de Managua (Nicaragua) y las aguas subterráneas de su entorno.

CATASTRO E INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES DE NICARAGUA. (1971)*Levantamiento de Suelos de la Región Pacífica de Nicaragua, Parte 3, Génesis y Clasificación de Suelos. Managua, Nicaragua*

CIRA/UNAN, 2009. Los Recursos Hídricos de Nicaragua Katherine Vammen e Iris Hurtado Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

DONATO, L, 2002. “Aplicación de Visual MODFLOW para el modelamiento numérico del flujo de agua subterránea en el Acuífero Morroa (Sucre – Córdoba)” Bogotá, Colombia, mayo de 2002

FAO-Aquastat, 2003, Water Resources, Development and Management Service, Information System on Water and Agriculture, Land and Water, General Summary Latin America and the Caribbean. www.fao.org/AG/agl/aglw/aquastat/regions/lac/index3.stm

FLORES. Y, 2004 Criterios Hidrogeológicos para la Formulación del Plan de Gestión en el Acuífero del Valle de Sebaco

FENZEL, N, 1989. Nicaragua: Geografía, Clima, Geología y Hidrogeología. Belem, UFPA/ INETER/INAN, 1988.

ENACAL 2003. Aspectos ambientales del acuífero de Managua, Biblioteca ENACAL

ENACAL, 2007. ABC SOBRE EL RECURSO AGUA Y SU SITUACIÓN EN NICARAGUA Segunda edición Managua Diciembre, 2006

GTH-NI, 2002. Grupo de trabajo de Humedales-Nicaragua Humedales de Nicaragua, Proyecto para la Consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano y GTZ.

IRENA, 1981. El agua subterránea en el área de Tipitapa-Las Banderas-San Juan-San Isidro, Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente (IRENA)

INIDE, 2006, “Cifras Oficiales Censos Nacionales”, 2005, población, vivienda, hogar VIII Censo de Población y IV de Vivienda Nicaragua, Mayo 2006,

INETER, 1984. Estudio de suelos de la zona de Tipitapa-Malacatoya

INETER, 1990. Unidad de Estudios Edafológicos.

INETER, 1995. Mapa Geológico Minero de la República de Nicaragua, a esc. 1:50,000.

INETER, 2000. Estudio Hidrológicos e Hidrogeológicos en la Región del Pacífico de Nicaragua

INETER, 2001. Water balance of Lake Xolotlán, Summary Report, IAEA Project, NIC/8/010.

INETER 2007. Mapas Topográficos WGS84 de los Japoneses. esc. 1:50,000

INETER, 2009. Estudio caracterización hidrogeológica e isotópica del Lago Nicaragua.

INETER, 2010. Identification and assessment of hydrological flows between the lakes of Managua and Nicaragua, Applying Nuclear Techniques for the Development of a Management Plan for the Watershed of the Great Lakes. Name of OIEA-Experto Hidrogeólogo Sergio Iriarte Díaz

INETER, 2011. Informe preliminar Proyecto NIC 08/012, Estudio Caracterización Hidrogeología e Isotópica del Acuífero Tipitapa-Malacatoya en zona del Estrecho Interlagos

INETER, 2012. Informe de afloros de la Estación Los Termales 2003-2012. Dirección de Hidrología Superficial, INETER.

JICA, 1993. Proyecto de abastecimiento de agua para la Ciudad de Managua.

KRASNY, J & GUNTER .1995, INETER. Estudio Hidrogeológico e Hidroquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua. Dirección de Recursos Hídricos, Dirección de Hidrogeología

PANCORBO, F.2009, Calidad del agua potable Tendencia agresiva e incrustante. Barcelona, España.

PROCONSULT Ingenieros S, A. 1984, Proyecto Agroindustrial Tipitapa-Malacatoya (Timal), Enero, 1984

PORRAS, J.1985, Calidad y contaminación de las agua subterráneas en España, IGME.

MC DONALD y HARBAUGH, 1986. A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model, Scientific Pub. Co., P.O.Box 23401, Washington, D, C. 20026-3041

MAG-FOR, 2010. Mapas de uso actual y potencial de los suelos de la zona del pacifico de Nicaragua.

MAG-FOR, 1984. Método de los Cilindros concéntricos para determinación de los coeficientes de infiltración.

MARENA, 2001. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), 2001. Informe del estado ambiental en Nicaragua, 2001. Geo-Nicaragua.

NACIONES UNIDAS, 1975. Investigaciones de agua subterráneas en la región del Pacífico de Nicaragua-Evaluación económica para el desarrollo de los recursos de agua subterráneas en el área Managua-Granada.-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Nueva York.

TÉLLEZ, R. 2011, Tectónica activa de la cuenca de Managua: Paleosismicidad de la falla Cofradía. Tesis doctoral en ciencias de la Tierra, Barcelona, España.

SCHOSINSKY, G & LOSILLA M. 2000, Método analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual Revista Geológica de América Central, 23:43-55,2000.

SCHOSINSKY, G. 2006, Cálculo de la Recarga Potencial de Acuíferos mediante un Balance Hídrico de Suelos Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, 2006.

www.climayambiente.blogspot.com

www.oas.org/sanjuan/spanish/documentos/adt/informacion/agua.html

Anexo A

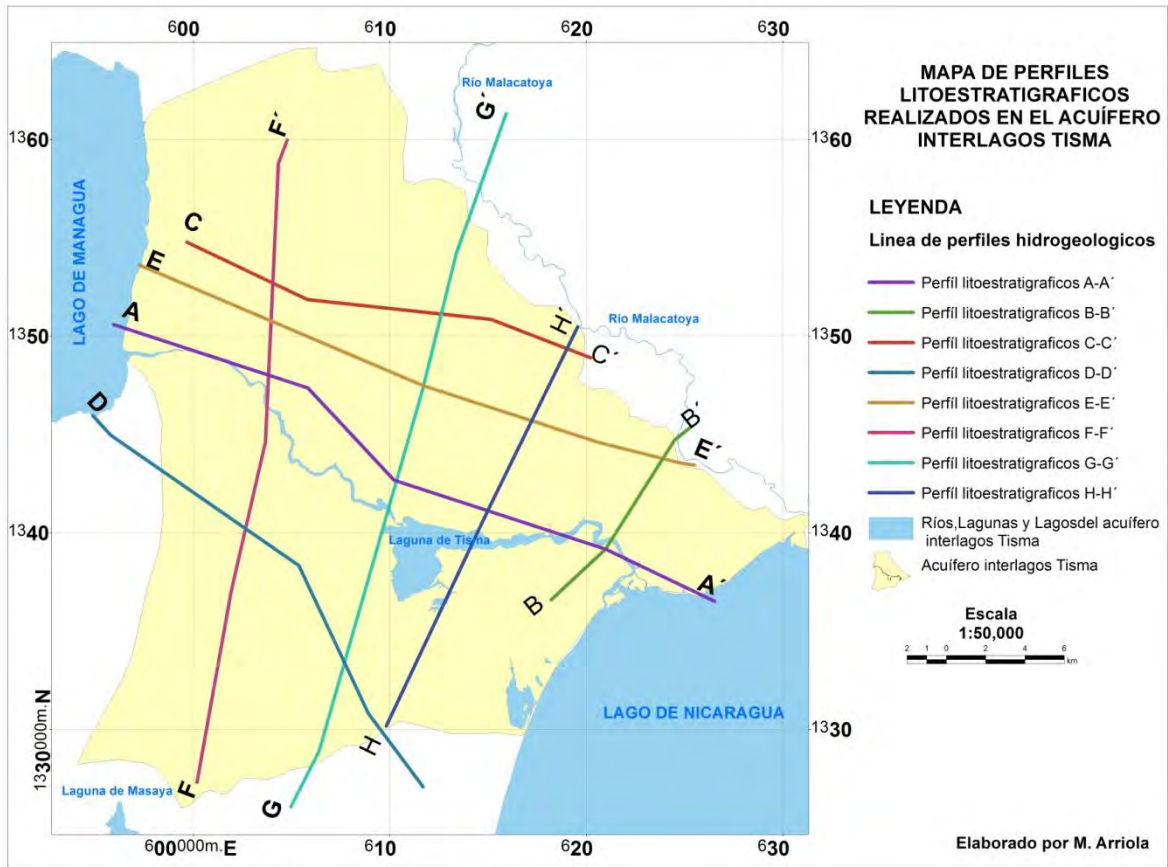
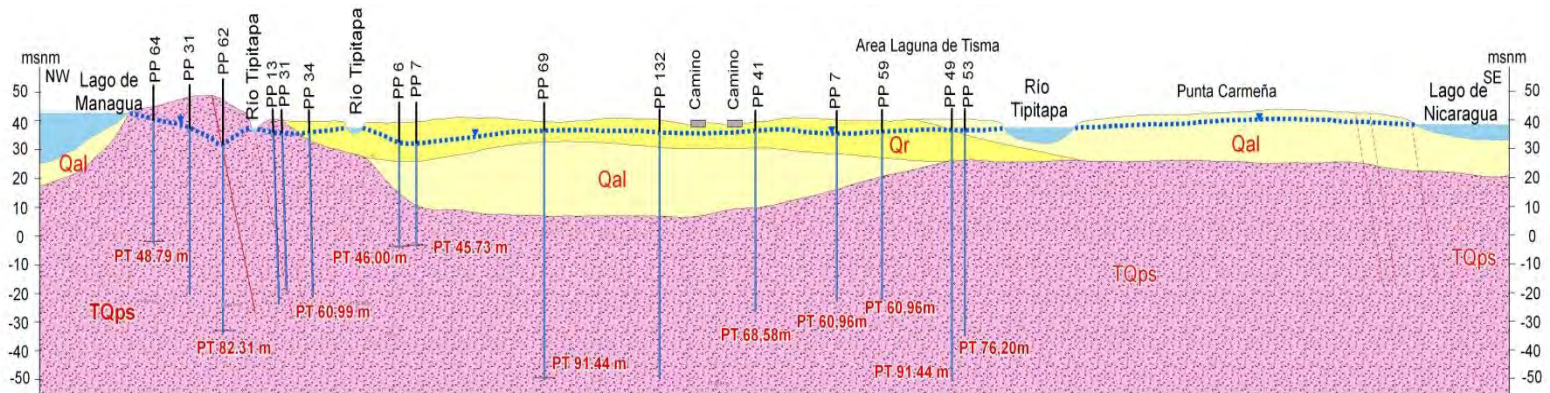


Figura 1A Ubicación de perfiles litoestratigraficos en el acuífero Tisma

PERFIL HIDROGEOLÓGICO A-A'
CORTE TRANSVERSAL NW-SE
Escala Horizontal 1:50,000
Vertical 1:1,000



LEYENDA

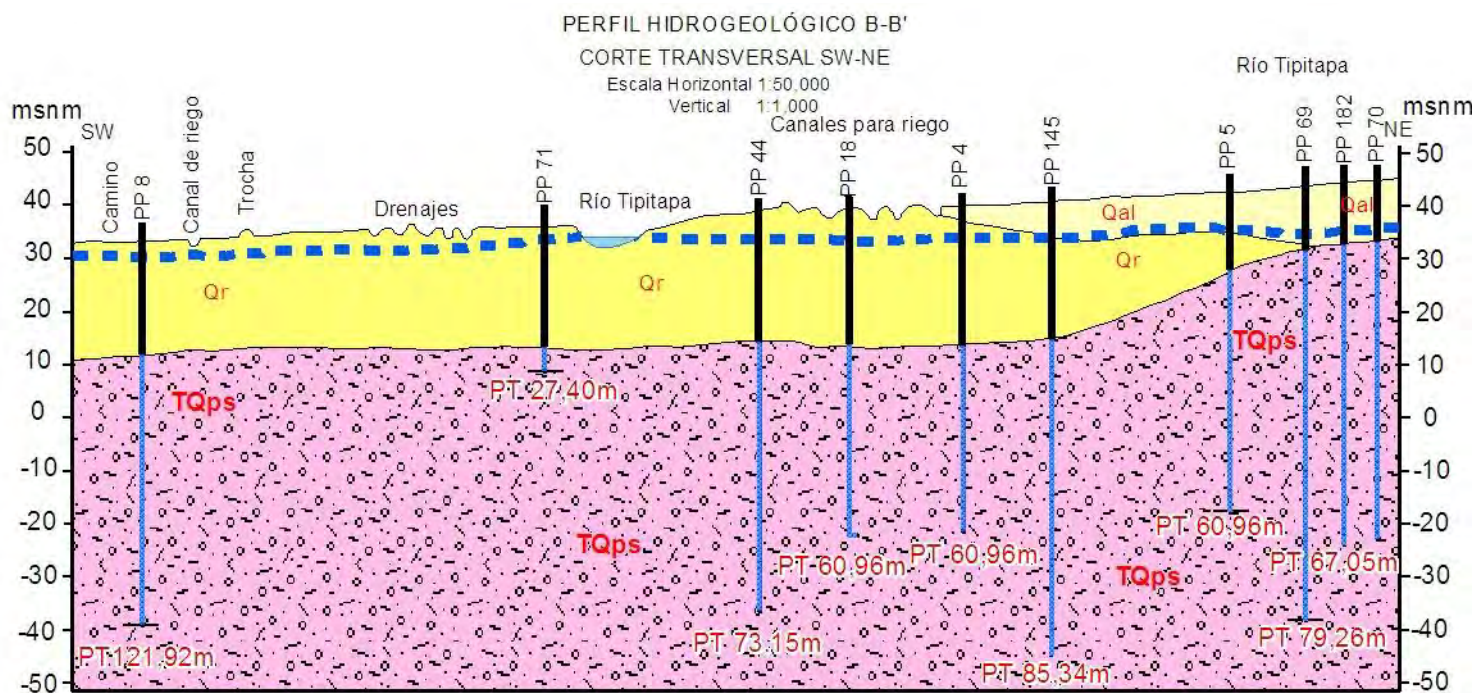
Fornaciones Geológicas

- Cuaternario aluvial (Qal)
- Cuaternario residual (Qr)
- Las Sierras (TQps)

- Nivel Estático del Agua (msnm)
- PP 6** Número de Pozo
- Pozo Perforado
- PT** Profundidad Total del Pozo

- Falla
- Falla cubierta
- Buzamiento

Figura 2A.1 Perfil hidrogeológico A-A del acuífero interlagos de Tisma



LEYENDA

Fornaciones Geológicas

- Qal Cuaternario aluvial (Qal)
- Qr Cuaternario residual (Qr)
- TQps Las Sierras (TQps)

- - ▽ - - Nivel Estático del Agua (msnm)

PP 6 Número de Pozo

↑ Pozo Perforado

PT Profundidad Total del Pozo

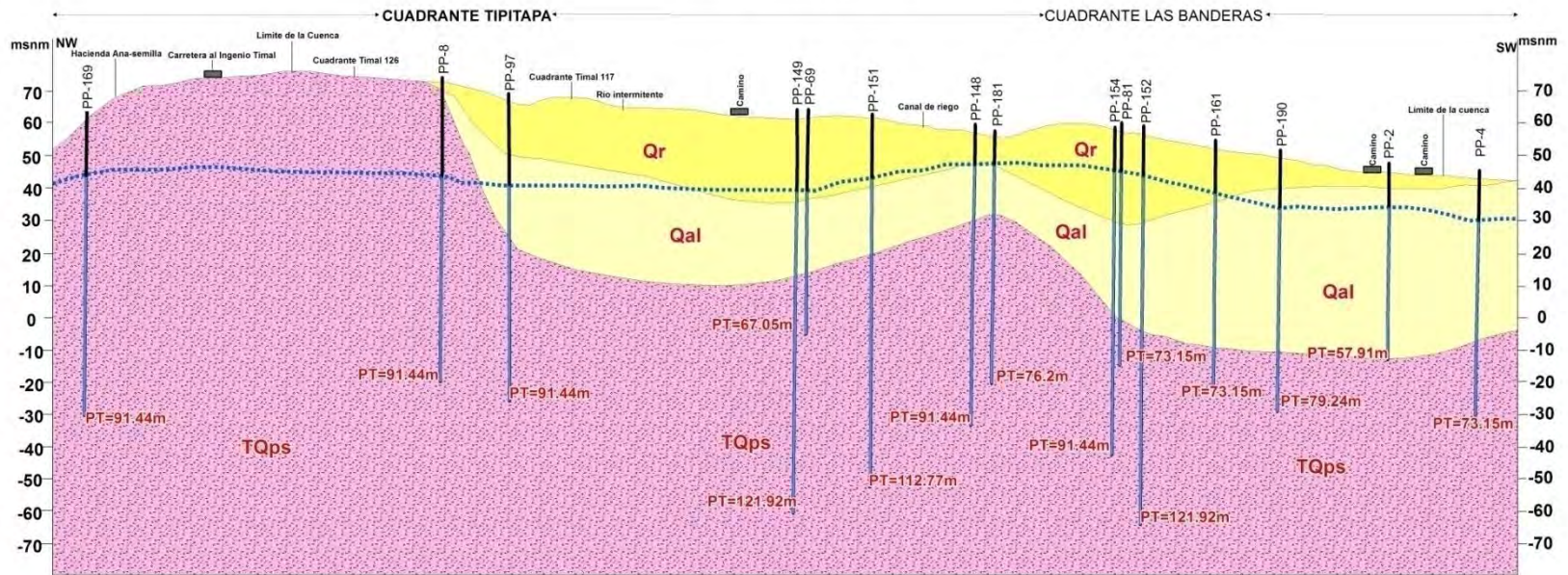
/ Falla

- - - Falla cubierta

↘ Buzamiento

Figura 2A.2 Perfil hidrogeológico B-B del acuífero interlagos de Tisma

PERFIL HIDROGEOLÓGICO C-C'
CORTE TRANSVERSAL NW-SE
Escala Horizontal 1:50,000
Vertical 1:1,000



LEYENDA

- Fornaciones Geológicas
- Qal Cuaternario aluvial (Qal)
 - Qr Cuaternario residual (Qr)
 - TQps Las Sierras (TQps)

- ▲ Nivel Estático del Agua (msnm)
- PP 6 Número de Pozo
- ↓ Pozo Perforado
- PT Profundidad Total del Pozo

- / Falla
- / Falla cubierta
- / Buzamiento

Figura 2A.3 Perfil hidrogeológico C-C' del acuífero interlagos de Tisma

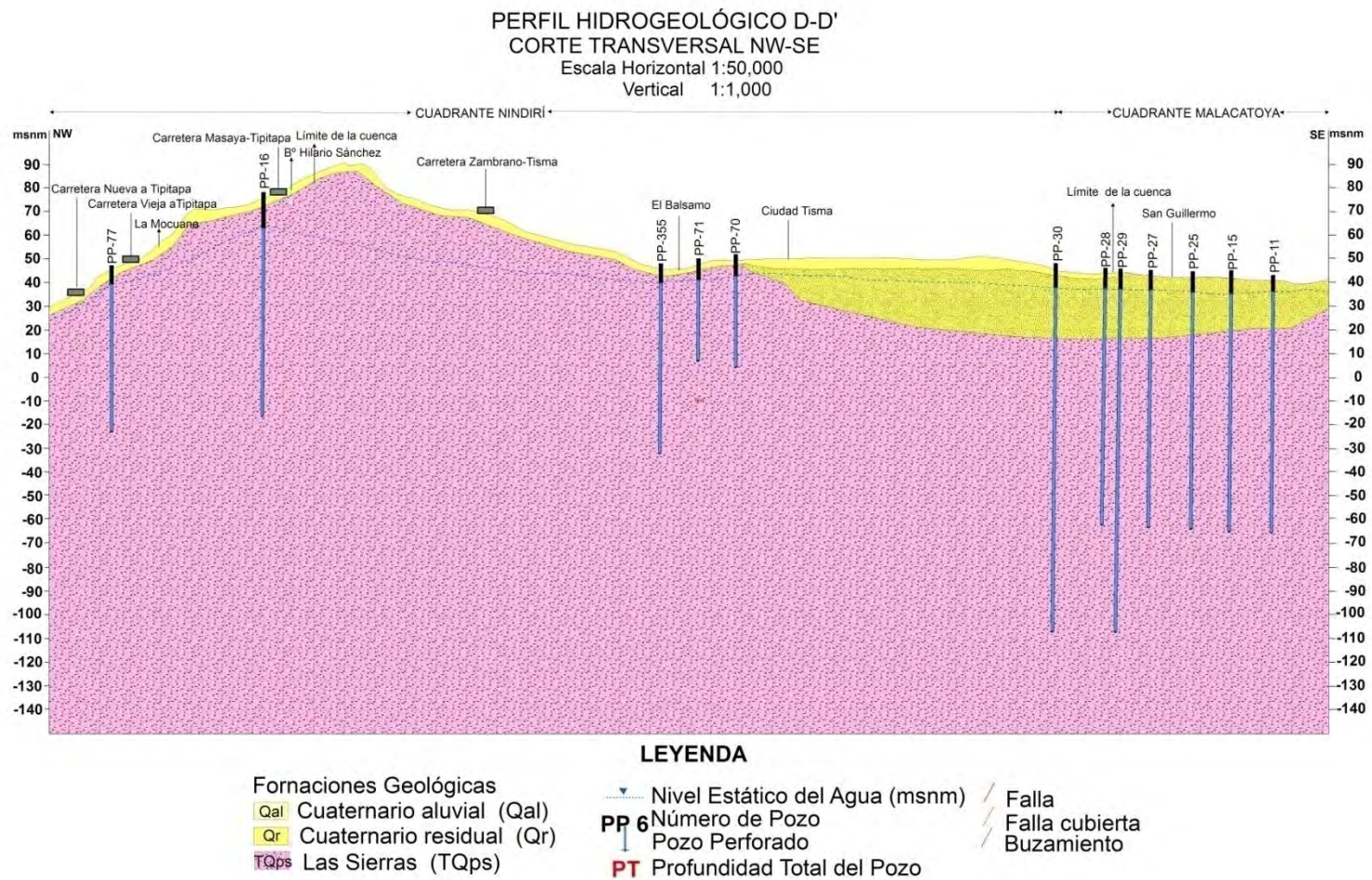
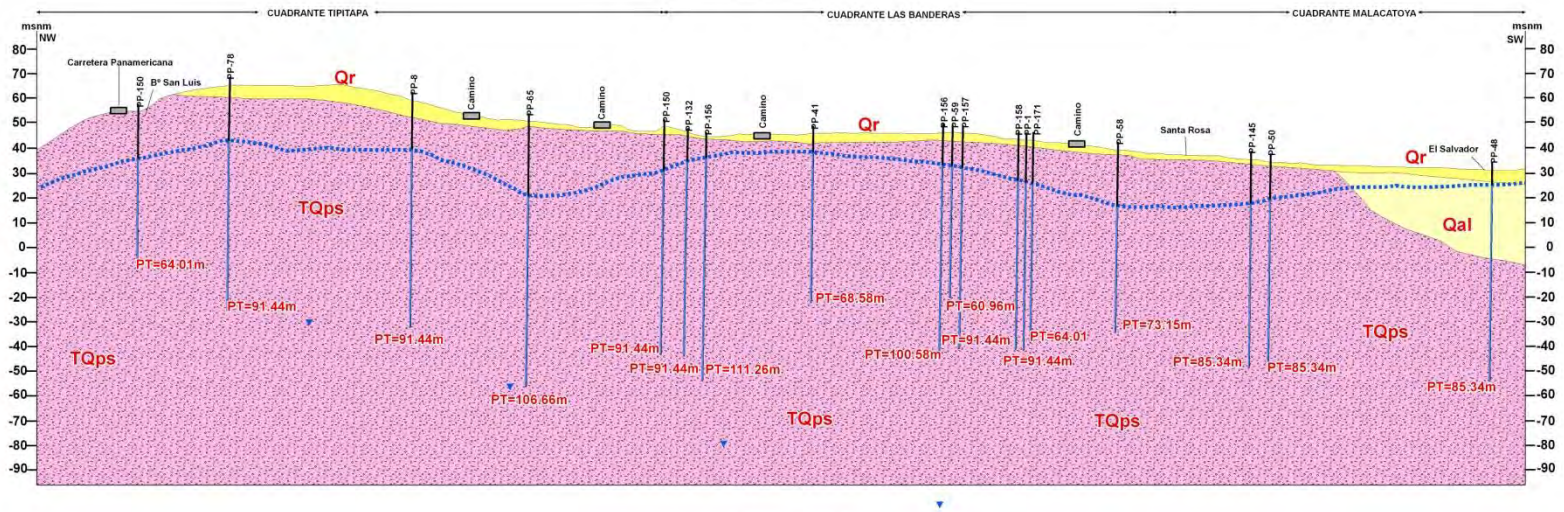


Figura 2A.4 Perfil hidrogeológico D-D' del acuífero interlagos de Tisma

PERFIL HIDROGEOLÓGICO E-E'
CORTE TRANSVERSAL NW-SE
Escala Horizontal 1:50,000
Vertical 1:1,000



LEYENDA

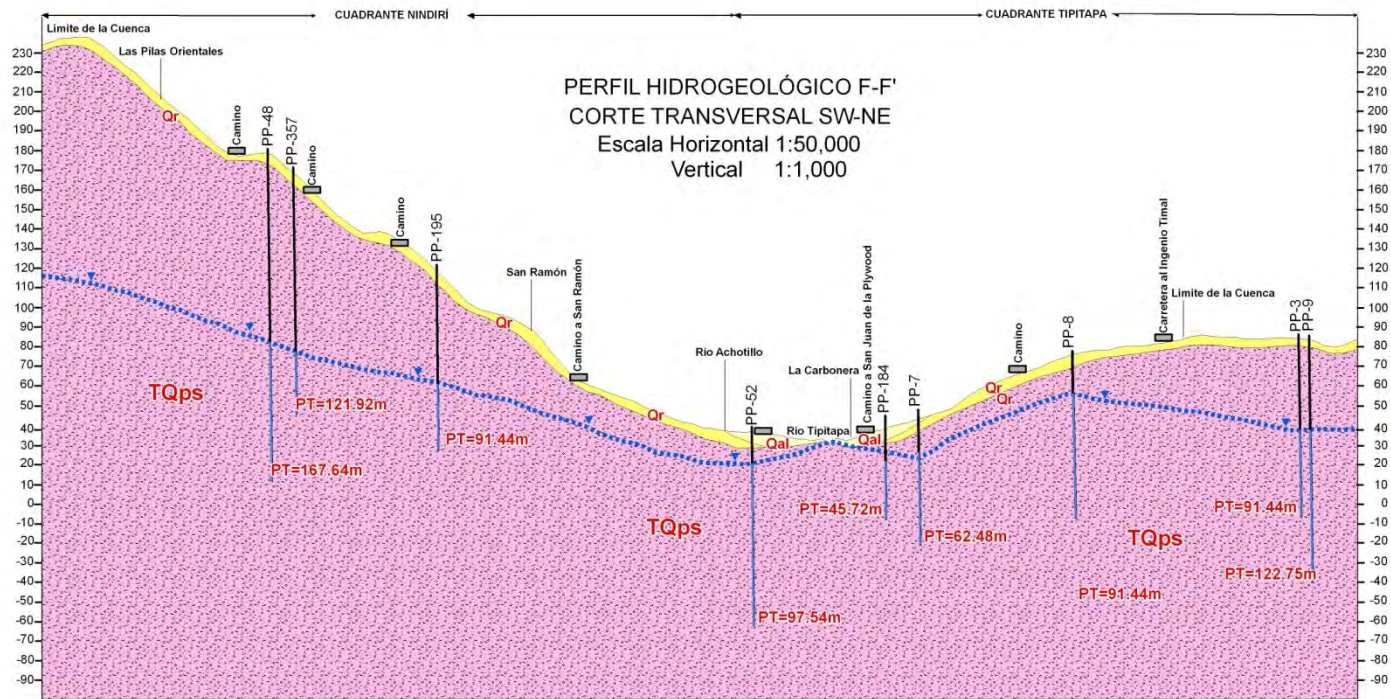
Fornaciones Geológicas

- Qal Cuaternario aluvial (Qal)
- Qr Cuaternario residual (Qr)
- TQps Las Sierras (TQps)

- Nivel Estático del Agua (msnm)
- PP 6** Número de Pozo
- Pozo Perforado
- PT** Profundidad Total del Pozo

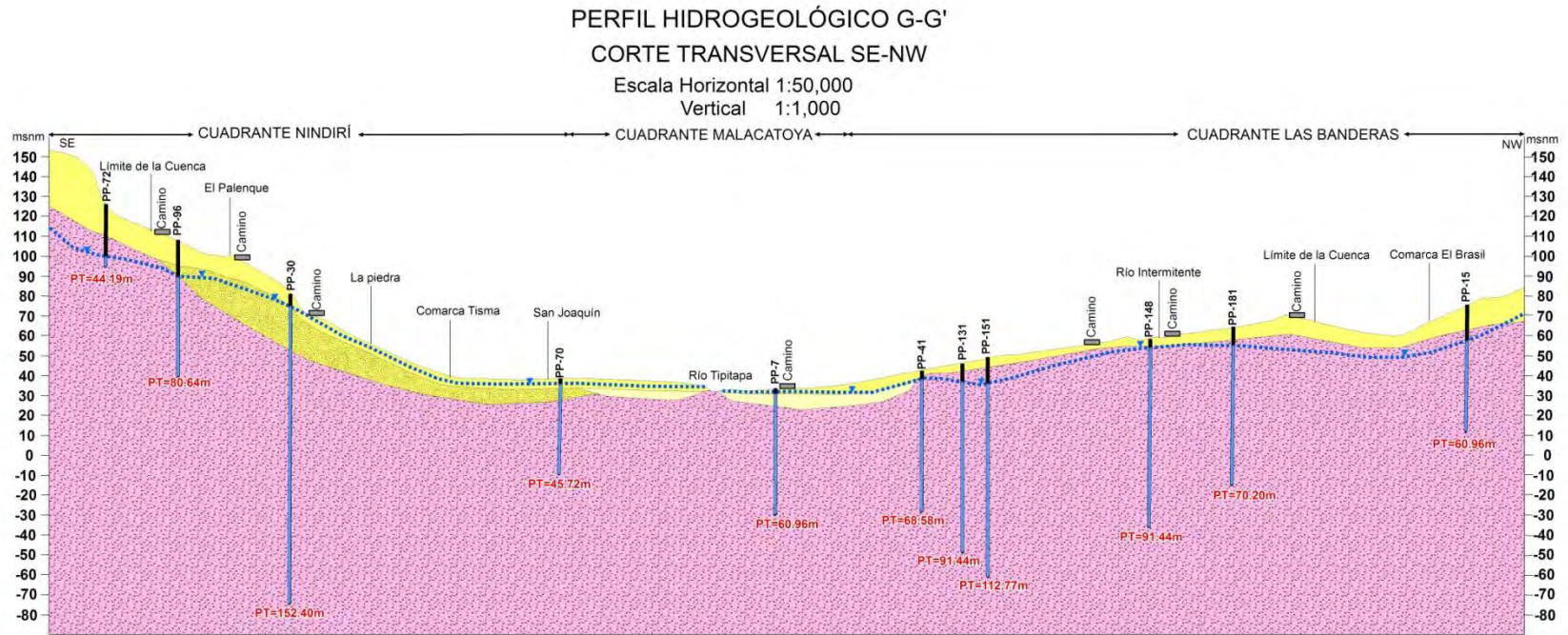
- Falla
- Falla cubierta
- Buzamiento

Figura 2A.5 Perfil hidrogeológico E-E' del acuífero interlagos de Tisma



- LEYENDA**
- | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Fornaciones Geológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Qal Cuaternario aluvial (Qal) Qr Cuaternario residual (Qr) TQps Las Sierras (TQps) | <ul style="list-style-type: none"> ▬ Nivel Estático del Agua (msnm) PP 6 Número de Pozo ┆ Pozo Perforado PT Profundidad Total del Pozo | <ul style="list-style-type: none"> ↘ Falla ↘ Falla cubierta ↘ Buzamiento |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|

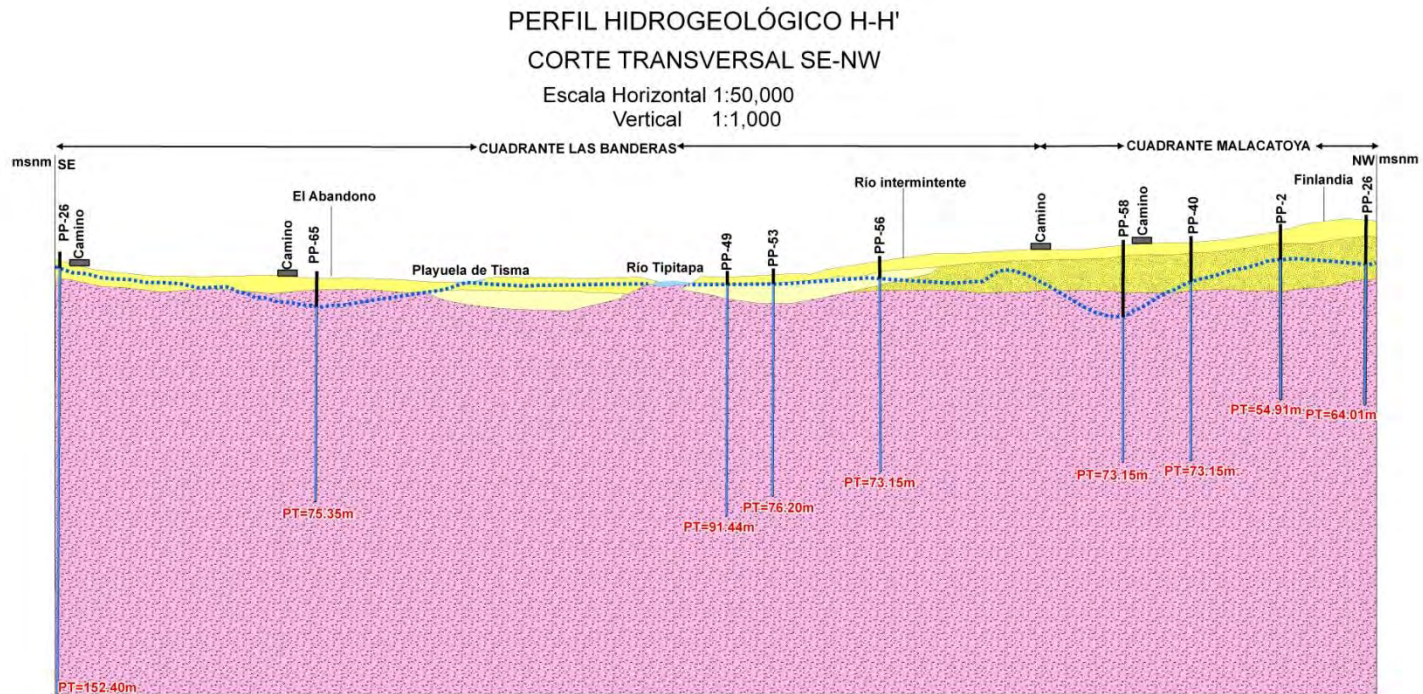
Figura 2A.6 Perfil hidrogeológico F-F del acuífero interlagos de Tisma



LEYENDA

- | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Fornaciones Geológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Qal Cuaternario aluvial (Qal) Qr Cuaternario residual (Qr) TQps Las Sierras (TQps) | <ul style="list-style-type: none"> Nivel Estático del Agua (msnm) PP 6 Número de Pozo Pozo Perforado PT Profundidad Total del Pozo | <ul style="list-style-type: none"> Falla Falla cubierta Buzamiento |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

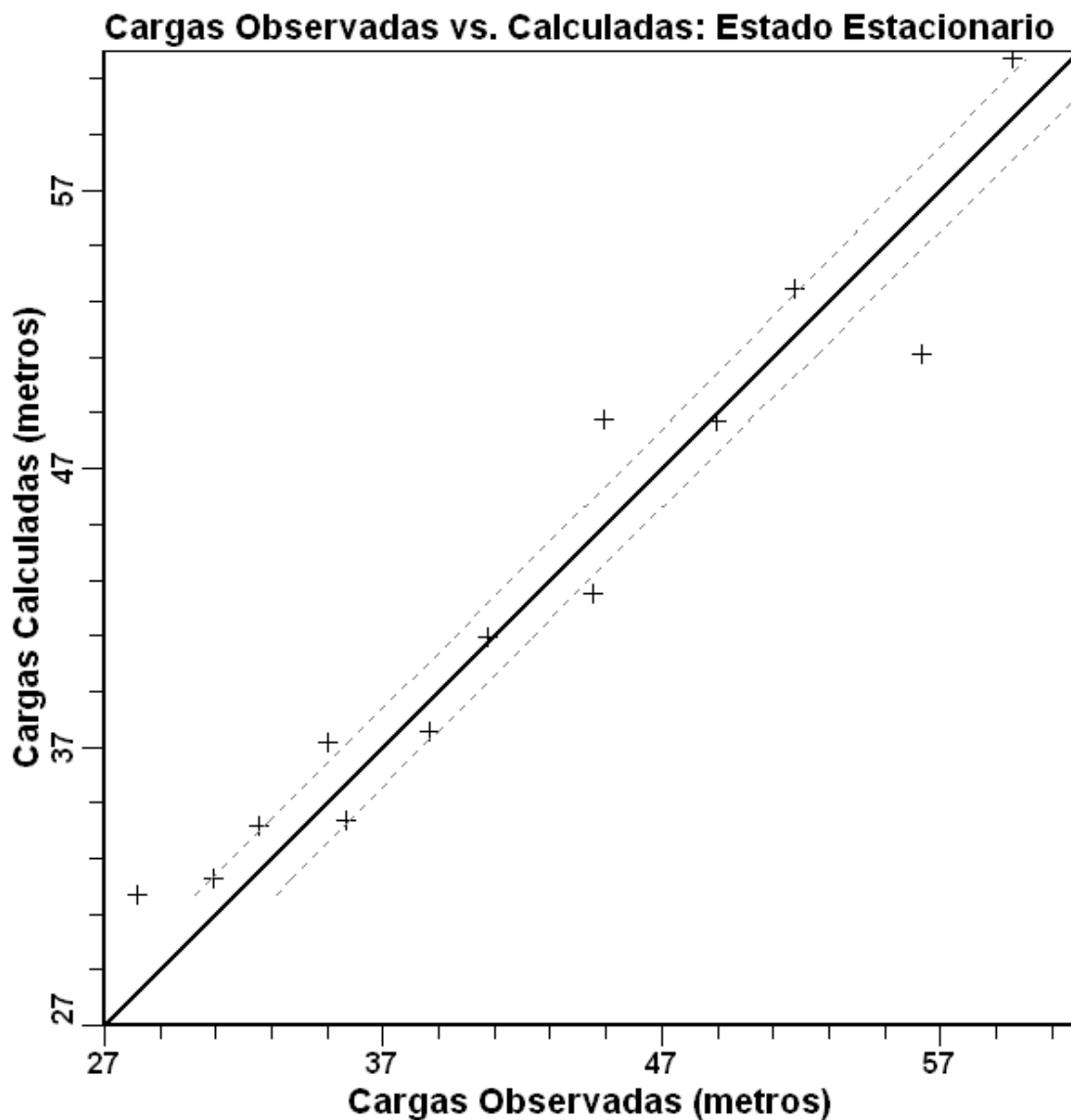
Figura 2A.7 Perfil hidrogeológico G-G del acuífero interlagos de Tisma



LEYENDA

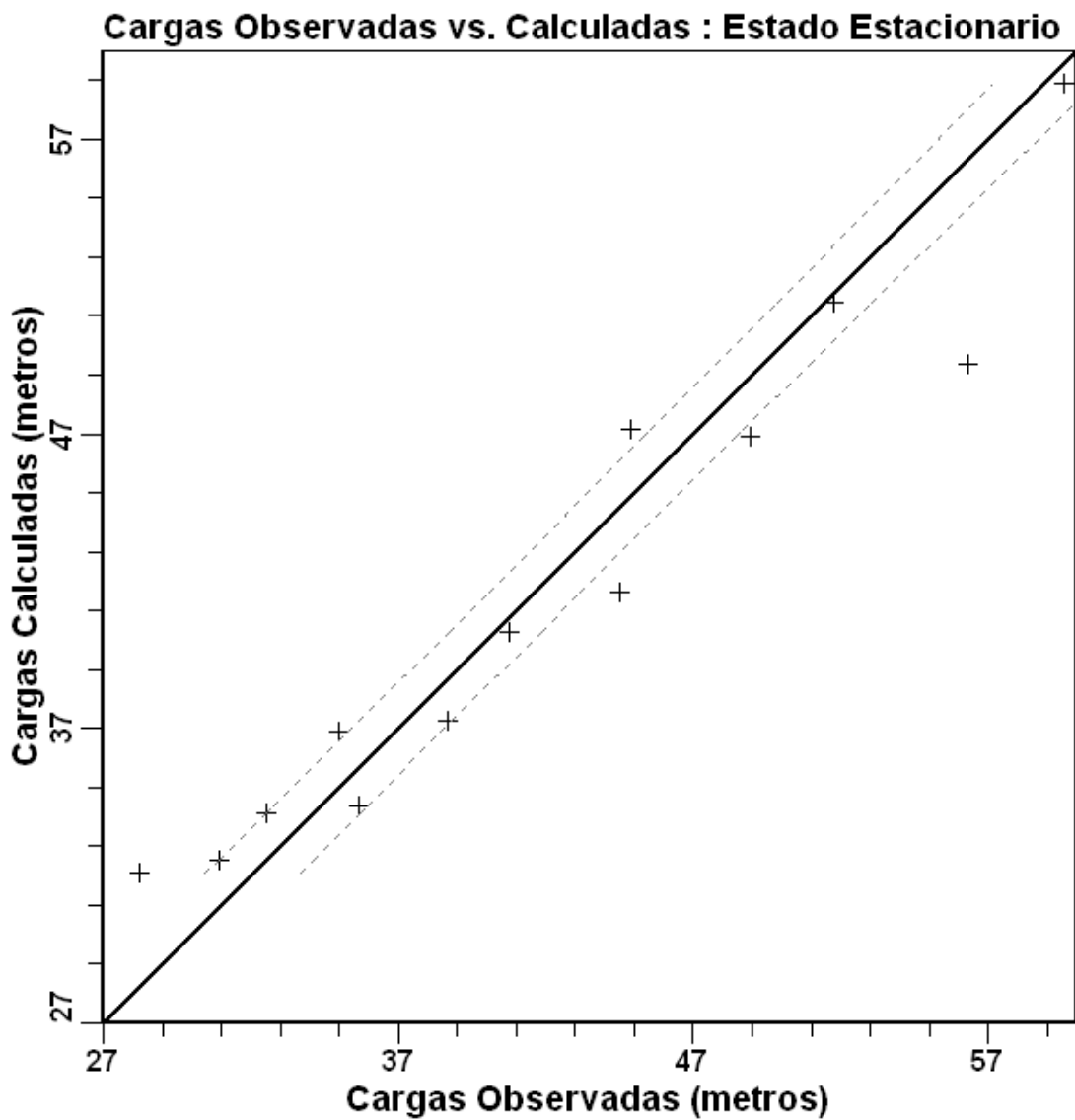
- | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------|
| Formaciones Geológicas | | Nivel Estático del Agua (msnm) | Falla |
| Qal Cuaternario aluvial (Qal) | PP 6 Número de Pozo | Falla cubierta | Buzamiento |
| Qr Cuaternario residual (Qr) | Pozo Perforado | PT Profundidad Total del Pozo | |
| TQps Las Sierras (TQps) | | | |

Figura 2A.8 Perfil hidrogeológico H-H' del acuífero interlagos de Tisma



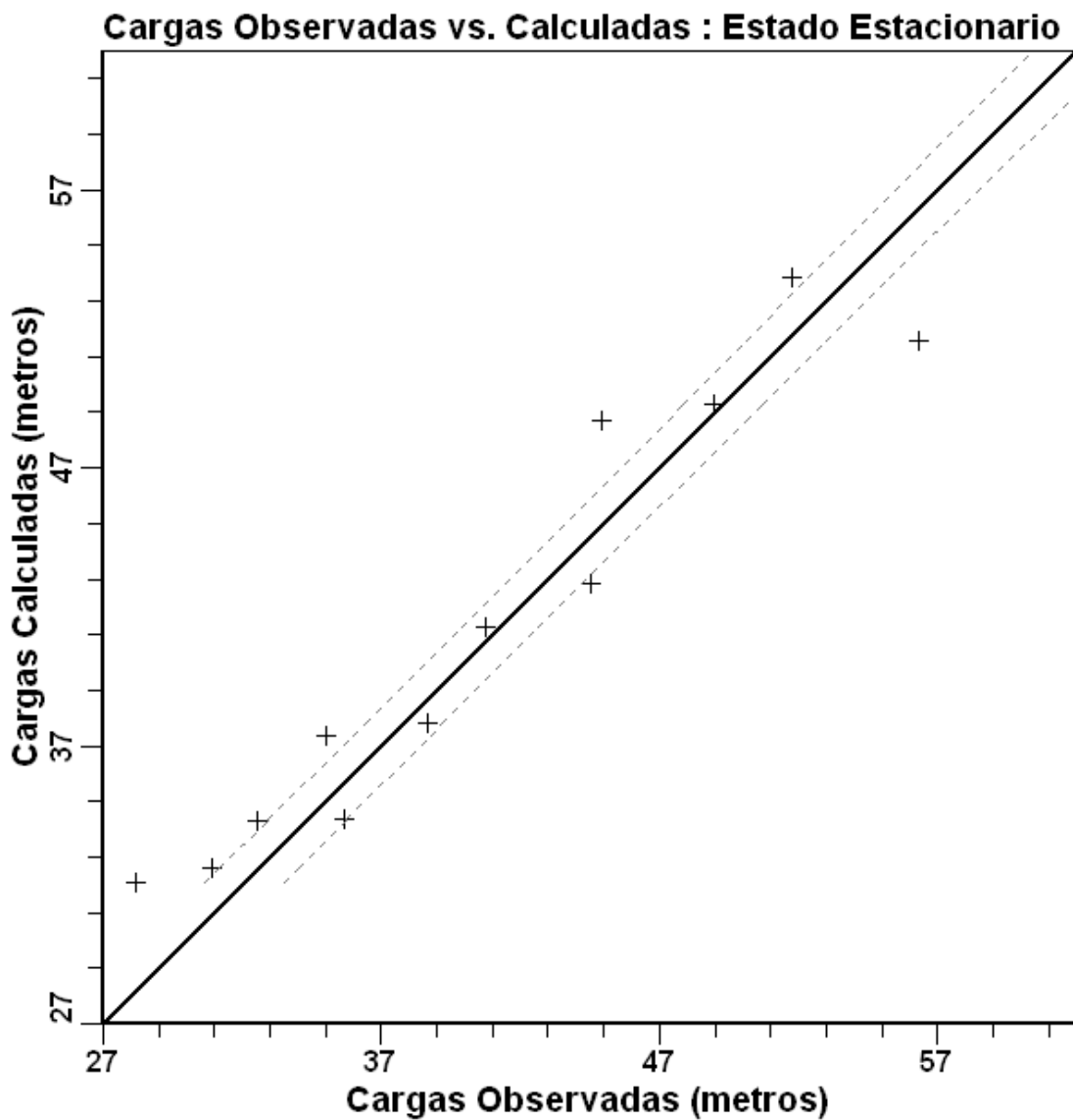
Numero de puntos: 13
Error Medio : 0.5097279 (metros)
Medio Absoluto: 2.020556 (metros)
Error Estandar del Estimado : 0.6879601 (metros)
Raiz Media Cuadrada : 2.437066 (metros)
Normalizado RMS : 7.761357 (%)

Figura 3.A1 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2003



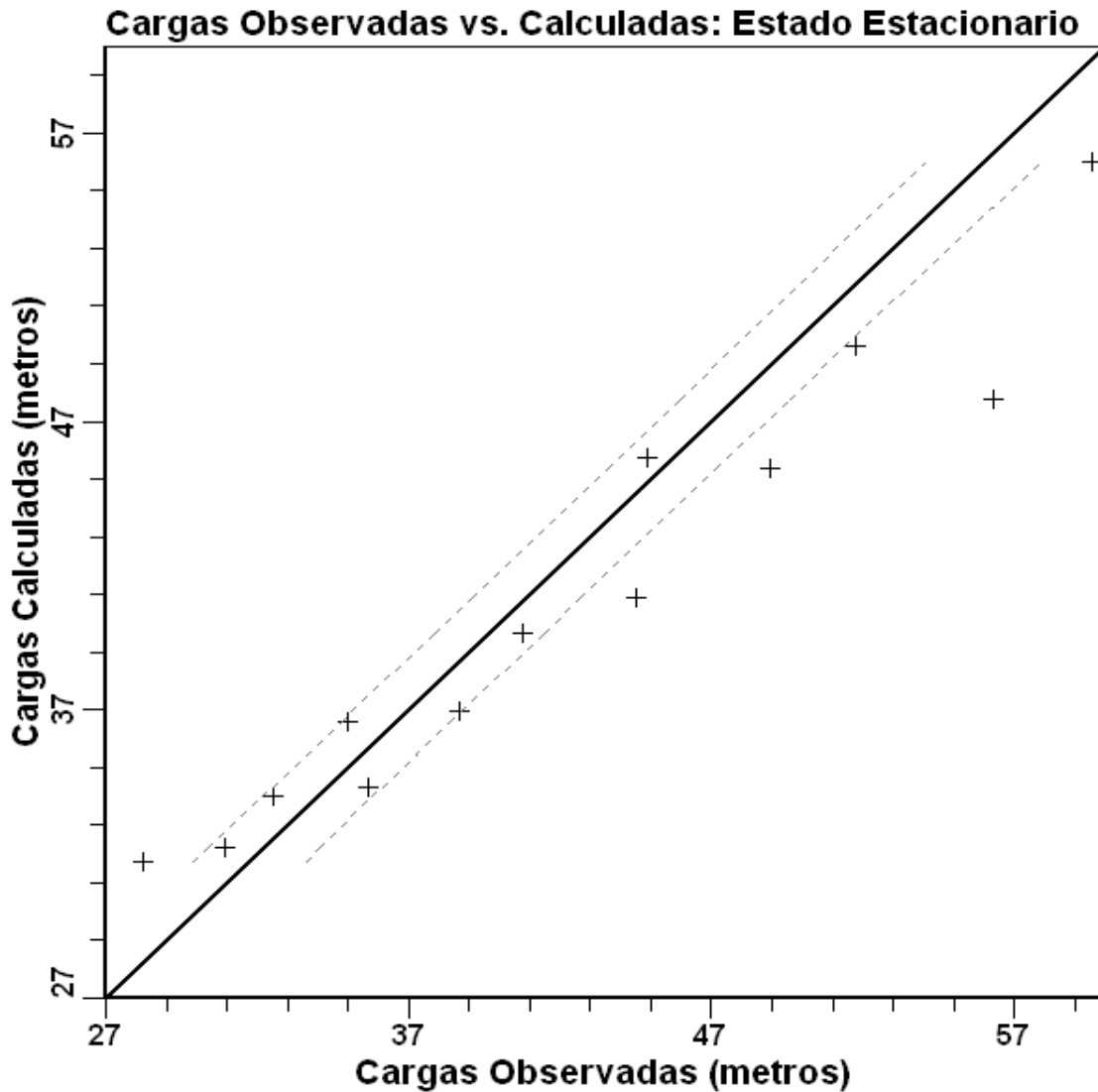
Numero de Puntos: 13
Error Medio : -0.3812962 (metros)
Medio Absoluto : 2.105262 (metros)
Error Estandar de Estimado : 0.7675202 (metros)
Raiz Media Cuadrada: 2.68597 (metros)
Normalizado RMS : 8.554044 (%)

Figura 3A.2 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2004

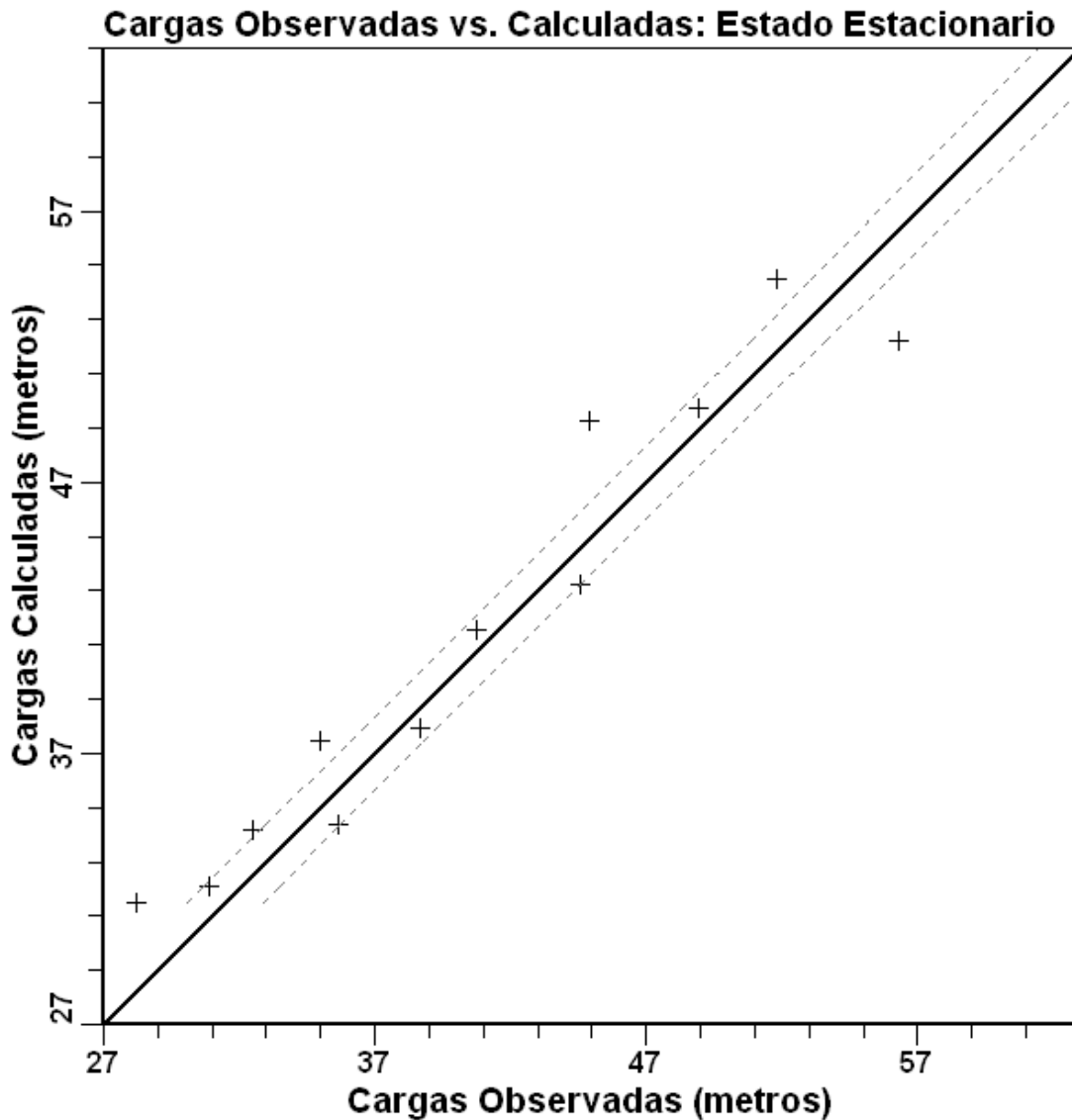


Numero de Puntos: 13
Error Medio : 0.8021752 (meters)
Medio Absoluto : 2.120973 (meters)
Error Estandar de Estimado : 0.6775324 (meters)
Raiz Media Cuadrada : 2.48034 (meters)
Normalizado RMS : 7.899172 (%)

Figura 3A.3 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2005



Numero de Puntos : 13
Error Medio : -1.298568 (metros)
Medio absoluto : 2.647136 (metros)
Error Estandar del Estimado : 0.8767165 (metros)
Raiz Media Cuadrada : 3.303008 (metros)
Normalizado RMS : 10.51913 (%)
Figura 3A.4 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2006



Numero de Puntos : 13
Error Medio : 1.012772 (metros)
Medio absoluto : 2.155374 (metros)
Error Estandar del Estimado : 0.6569053 (metros)
Raiz Media Cuadrada : 2.490783 (metros)
Normalizado RMS : 7.932431 (%)

Figura 3A.5 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2007

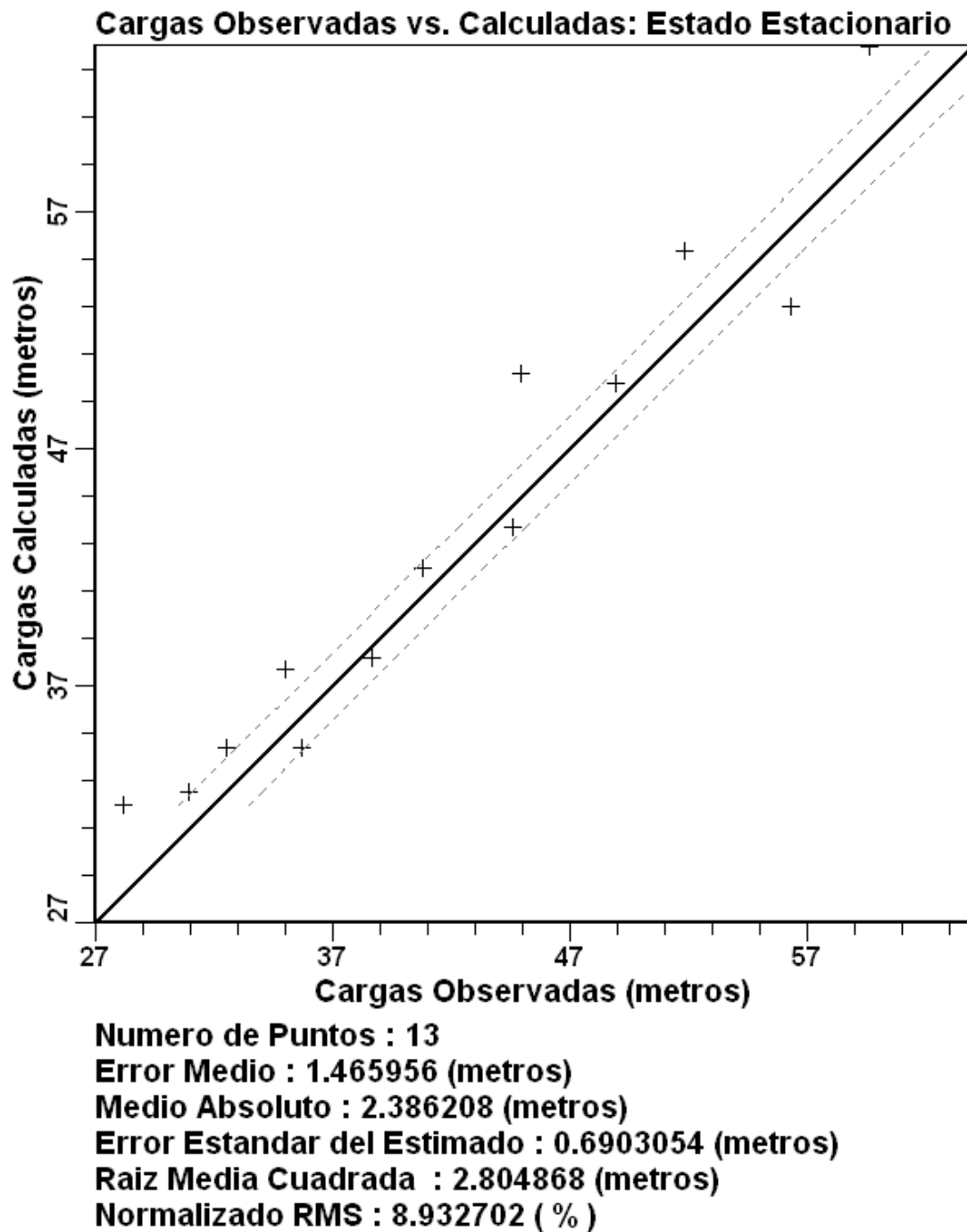


Figura 3A.6 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2008

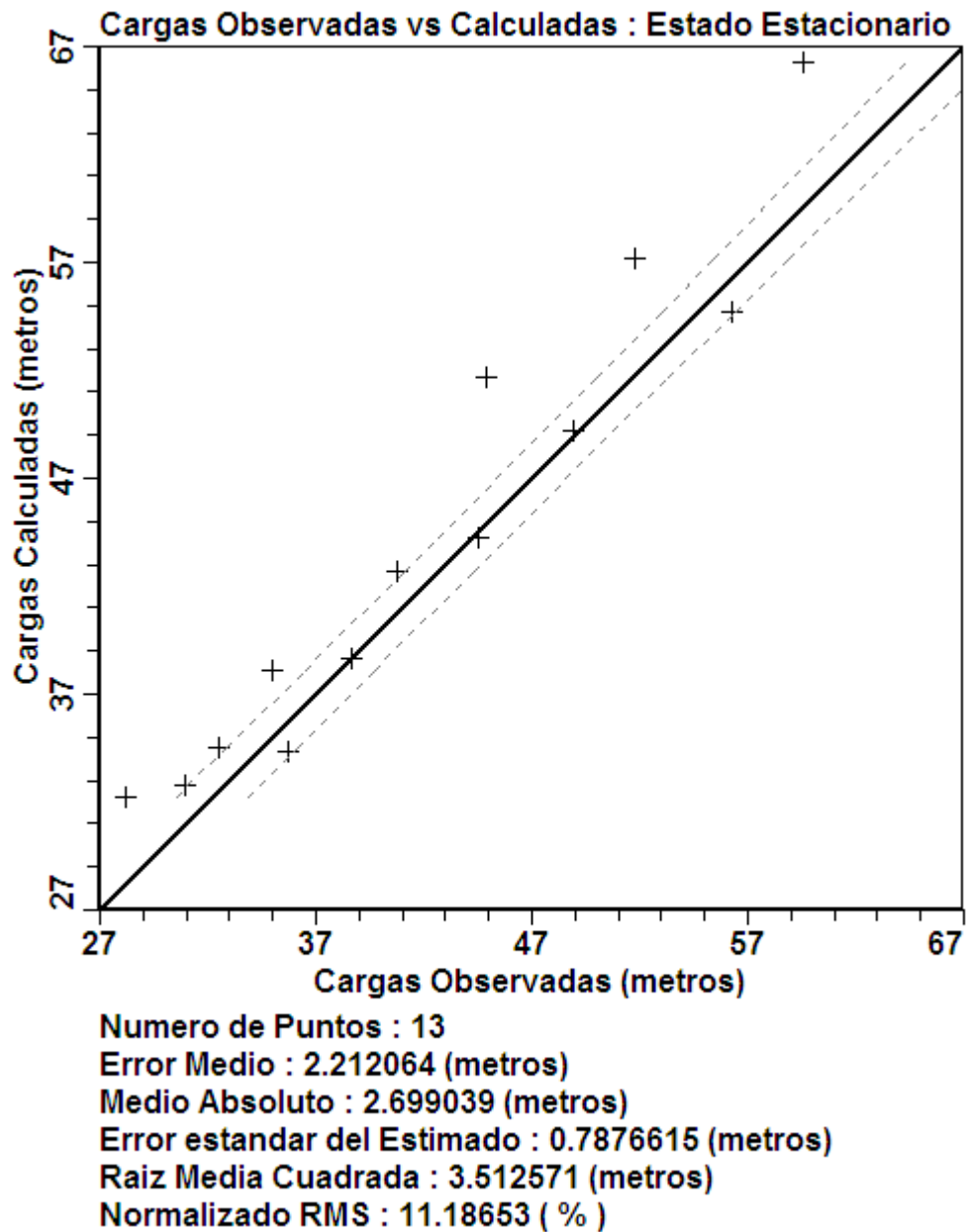
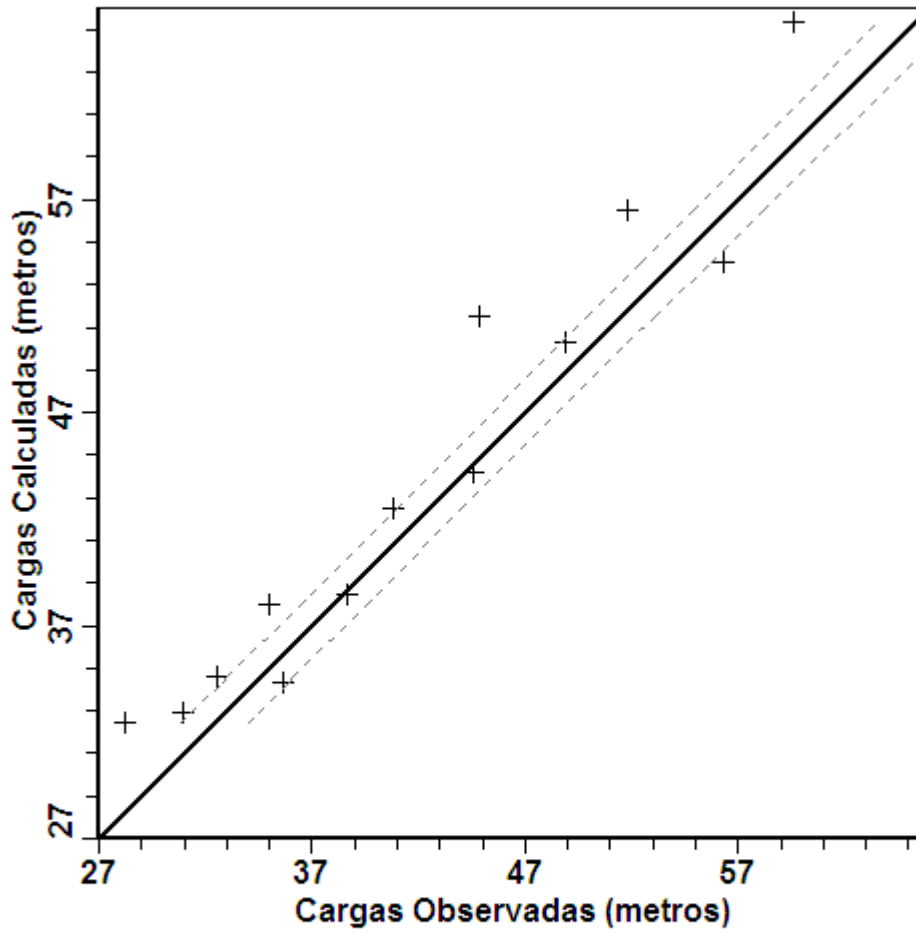


Figura 3A.7 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2010

Cargas Observadas vs Calculadas : Estado Estacionario



Numero de Puntos : 13
Error Medio : 2.116428 (meters)
Medio Absoluto : 2.727672 (meters)
Error Estandar del Estimado : 0.7507717 (meters)
Raiz Media Cuadrada : 3.353083 (meters)
Normalizado RMS : 10.67861 (%)

Figura 3A.8 Simulación de las cargas hidráulicas del año 2011

Anexo B

Tabla 1B.1 Parámetros morfométricas de las microcuencas, Laguna de Tisma

N°	Tributarios	A (Km ²)	P (Km)	L (Km)	Li (Km)	Hmax (msnm)	Hmin (msnm)	Tc (Hrs)	Dd (km/km ²)	Kc	Ff	S media (m/m)
1	San Juan	90.92	59.46	27.81	123.8	380	32.0	0.72	1.36	1.76	0.12	0.013
2	Jiquelite	49.71	37.81	17.5	81.6	66	31.0	1.01	1.64	1.51	0.16	0.002
3	Estero el Caballo	68.93	40.46	17.42	59.4	90	32.0	0.83	0.86	1.37	0.23	0.003
4	El Tabaco	23.19	22.21	7.63	18.7	80	45.0	0.39	0.81	1.30	0.40	0.005
5	Las Lagunitas	23.94	21.47	9.71	30.1	40	31.0	0.87	1.26	1.24	0.25	0.001
6	El Achiotillo	12.4	15.93	6.74	13.4	78	32.0	0.30	1.08	1.28	0.27	0.007
P= Perímetro de la cuenca		L= Longitud del río principal			Ff= Factor de forma			Hm= Altitud mínima				
A= Área de la cuenca		Li= Longitud total de ríos			Dd= Densidad de drenaje			Kc= Coeficiente de compacidad				
HM= Altitud máxima		Tc= Tiempo de concentración			S = pendiente del cauce							

Tabla 1B.2 Uso potencial de suelo de la acuífero interlagos de Tisma

Uso potencial de suelo de la acuífero Tisma	Cultivos apropiados	Área (km ²)	Porcentaje del área %
Ganadería extensiva y/o cultivos especiales bajo riego	Pasto, arroz, caña de azúcar, maíz, algodón.	439.40	57
Agricultura intensiva de uso amplio, clima caliente	Maní, soya, frijol, maní, mango, pasto.	170.84	23
Agricultura intensiva de uso limitado, clima caliente con canículas prolongadas	Pasto, maíz, soya, frijoles, caña de azúcar, tomate, sandía, melón,	75.87	10
Ganadería intensiva, clima caliente con canículas prolongadas	Arroz, pastos tolerantes a la alcalinidad y salinidad, vida silvestre.	27.51	4
Ganadería intensiva, clima caliente	Arroz, pastos tolerantes a la alcalinidad y salinidad, vida silvestre.	19.89	3
Agricultura extensiva con manejo agroforestal, clima caliente	Plantas forestales de uso múltiple	17.52	2
Ganadería intensiva, clima fresco	Pasto	6.61	1

Tabla 1B.3 Transmisividad del acuífero interlagos de Tisma

Código INETER	Elevación (msnm)	Profundidad (m)	Descripción y espesor capa permeable (m)	Tiempo de Bombeo (hr)	Espesor de capa permeable (m)	T (m ² /d)	Cuadrante topográfico
PP-31	54	61	Sin registro	24	56	100	Tipitapa
PP-8	61	91	Cantera ,arena y poca pomez	5	73	106	Tipitapa
PP-3	80	91	Cantera ,Arena y poca pomez	-	52	186	Tipitapa
PP-15	80	61	Cantera con intercalaciones de arcilla	-	46	193	Las Banderas
PP-13	48	64	Cantera con intercalaciones de arcilla,60.96m	14	52	233	Tipitapa
PP-59	49	61	Cantera,arenas medias y gruesas con pomez semi compactas con limo	-	53	247	Las Banderas
PP-30	49	152	Cantera,arena media a gruesa gris angulosa	8	144	264	Malacatoya
PP-34	42	62	Cantera,arenas gruesas y finas semi compactas con limo	24	49	286	Tipitapa
PP-29	48	152	Cantera, arena gris de granos angulosos	8	150	300	Malacatoya
PP-28	51	152	Cantera, arena fina con grava	5	146	327	Malacatoya
PP-18	41	61	Sin registro	8	55	335	Malacatoya
PP-151	59	113	Sin registro	24	93	422	Las Banderas
PP-149	62	122	Sin registro	24	101	446	Las Banderas
PP-7	37	61	Sin registro	-	60	508	Malacatoya
PP-158	48	91	Arenas gruesas a muy gruesas, angulares multicolor	24	72	616	Las Banderas
PP-132	48	91	Arenas medias a gruesas, multicolor	24	82	670	Las Banderas
PP-131	63	91	Arenas gruesas a muy gruesas, angularse gris	6	73	684	Las Banderas
PP-157	51	91	Sin registro	22	75	715	Las Banderas
PP-41	48	69	Arenas gruesas a muy gruesas con intercalaciones de arcilla	-	60	778	Las Banderas
PP-148	57	91	Sin registro	72	78	779	Las Banderas
PP-3	42	64	Arcillas compactas, gravillas y limos con sedimentos de cales	-	49	783	Las Banderas
PP-44	34	73	Arenas medias con gravillas e intercalaciones de arcilla, gris	2	66	785	Malacatoya
PP-70	40	67	Arenas gruesas con gravas e intercalaciones de arcilla,gris	3	53	803	Las Banderas
PP-154	55	91	Sin registro	24	72	850	Las Banderas
PP-25	46	107	Sin registro	8	103	857	Malacatoya
PP-150	52	91	Sin registro	24	75	899	Las Banderas
PP-156	54	101	Sin registro	24	83	905	Las Banderas
PP-153	54	111	Sin registro	24	97	970	Las Banderas
PP-4	38	61	Arenas medias a gruesas con intercalaciones de arcilla	8	35	1034	Malacatoya
PP-161	50	73	Sin registro	-	58	1077	Las Banderas
PP-90	50	79	Arenas medias a gruesas multicolor con intercalaciones de arcilla	8	62	1103	Las Banderas
PP-182	40	67	Arena fina a gruesa con intercalaciones de arcilla	8	23	1115	Las Banderas
PP-145	43	85	Arenas medias a gruesas con intercalaciones de arcilla y limo	6	75	1121	Las Banderas
PP-171	0	85	Arenas medias a gruesas con intercalaciones de arcilla y limo	9	67	1189	Las Banderas
PP-152	0	122	Sin registro	24	103	1200	Las Banderas
PP-53	41	76	Sin registro	-	72	1412	Malacatoya
PP-1	58	91	Sin registro	-	82	1600	Las Banderas
PP-9	42	61	Sin registro	51	53	1604	Malacatoya
PP-15	47	107	Arenas media y finas con pomez con intercalaciones de arcilla	8	100	1675	Malacatoya
PP-2	45	58	Arenas gruesa con intercalaciones de arcilla	8	48	1792	Las Banderas
PP-27	51	107	Arena fina con limos	5	105	2093	Malacatoya
PP-155	50	91	Sin registro	20	73	2303	Las Banderas
PP-49	39	91	Sin registro	24	73	2306	Malacatoya
PP-159	52	61	Sin registro	-	49	2599	Las Banderas

Tabla 1B.4 Conductividades hidráulicas de la capa superior 1(Cuaternario)

Código de Pozo	Espesor de la lámina de agua (m)	T (m ² /día)	K (m/día)	K (m/sec)
PP-7	20.01	507.96	25.39	2.94E-04
PP-34	4.00	285.64	71.41	8.27E-04
PP-41	27.00	778.17	28.82	3.34E-04
PP-49	10.00	2306.34	230.63	2.67E-03
PP-53	10.00	1411.94	141.19	1.63E-03
PP-59	16.01	246.70	15.41	1.78E-04
PP-132	28.01	670.28	23.93	2.77E-04
PP-4	20.00	1034.33	51.71	5.98E-04
PP-18	20.01	335.31	16.76	1.94E-04
PP-44	20.00	785.28	39.26	4.54E-04
PP-145	20.00	1120.52	56.02	6.48E-04
PP-2	46.00	1792.35	38.96	4.51E-04
PP-90	43.00	1102.65	25.64	2.97E-04
PP-148	17.00	779.28	45.84	5.31E-04
PP-149	30.00	445.76	14.86	1.72E-04
PP-151	25.00	421.44	16.86	1.95E-04
PP-152	50.00	1200.00	24.00	2.78E-04
PP-154	44.00	850.08	19.32	2.24E-04
PP-155	43.00	2303.18	53.56	6.20E-04
PP-159	46.00	2598.50	56.49	6.54E-04
PP-161	11.00	1076.90	97.90	1.13E-03
PP-11	2.00	96.62	48.31	5.59E-04
PP-25	5.00	856.00	171.20	1.98E-03
PP-27	8.00	2092.30	261.54	3.03E-03
PP-28	14.00	299.97	21.43	2.48E-04
PP-29	14.00	298.70	21.34	2.47E-04
PP-30	5.00	263.12	52.62	6.09E-04

Tabla 1B.5 Conductividades hidráulicas de la capa inferior 2 (Terciario).

Código de Pozo	Espesor de la lámina de agua (m)	T (m ² /día)	K (m/día)	K (m/sec)
7	40.00	507.96	13.72	1.59E-04
13	59.00	233.48	4.02	4.65E-05
31	55.00	100.00	1.88	2.18E-05
34	53.00	285.64	5.49	6.35E-05
49	77.00	2306.34	29.95	3.47E-04
53	62.00	1411.94	22.77	2.64E-04
132	59.00	670.28	11.55	1.34E-04
4	36.00	1034.33	28.73	3.33E-04
18	36.00	335.31	9.31	1.08E-04
44	50.00	785.28	15.70	1.82E-04
70	57.00	803.37	14.09	1.63E-04
182	57.00	1115.17	19.56	2.26E-04
90	19.00	1102.52	56.67	6.56E-04
148	64.00	779.28	12.36	1.43E-04
149	74.00	445.72	6.02	6.97E-05
152	60.00	1200.00	20.00	2.31E-04
154	48.00	850.08	24.29	2.81E-04
155	28.00	2290.18	82.26	9.52E-04
161	11.00	1076.90	23.41	2.71E-04
11	99.00	96.62	0.98	1.13E-05
15	98.00	1673.84	17.08	1.98E-04
25	94.00	856.00	9.11	1.05E-04
27	93.00	2092.30	22.50	2.60E-04
28	87.00	299.97	3.45	3.99E-05
29	134.00	298.70	2.23	2.58E-05
30	142.00	263.12	1.85	2.14E-05
1	50.00	1600.00	32.00	3.70E-04
41	60.00	778.17	12.97	1.50E-04
59	60.00	246.70	4.11	4.76E-05
132	80.00	670.28	8.38	9.70E-05
145	66.00	1120.52	16.98	1.97E-04
150	73.00	898.85	12.31	1.43E-04
153	100.00	970.50	9.70	1.12E-04
156	87.00	905.30	10.41	1.20E-04
157	77.00	715.10	9.29	1.07E-04
158	72.00	615.96	8.56	9.90E-05
171	70.00	1188.90	16.98	1.97E-04
3	52.00	186.27	3.58	4.15E-05
8	74.00	105.56	1.43	1.65E-05
7	53.00	507.96	9.58	1.11E-04
15	45.00	193.37	4.30	4.97E-05
131	80.00	684.28	8.55	9.90E-05
151	90.00	421.54	4.68	5.42E-05
2	47.00	1792.35	38.14	4.41E-04
3	47.00	783.49	16.67	1.93E-04
49	87.00	2306.34	26.51	3.07E-04

Tabla 2B.1 Balance hídrico de suelo Finca El Pantanal

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 1 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 14 de Octubre del 2009
Localización: Tipitapa, Finca El Pantanal
Textura de Suelo: Franco arcilloso

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]	211,86	
Kp [0.01%]	0,10	
Kv [0.01%]	0,18	
Kfc [0.01%]	0,67441	
I [0.01%]	0,95441	
DS (g/cm ³):	1,30	
PR (mm)	500,00	
HSi (mm)	150,00	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12	

	por peso (%)	(mm)
CC	26,00	169,00
PM	14,00	91,00
(CC-PM)	12,00	78,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	12,97	135,07	135,36	116,59	120,27	180,55	181,70	48,35	2,01	932,87
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,62	6,45	6,47	5,57	5,75	8,63	8,68	2,31	0,10	44,56
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1572,99
HSi (mm)	99,18	91,69	91,04	91,00	91,00	135,10	168,17	169,00	169,00	169,00	169,00	150,00	
C1	0,10	0,01	0,00	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,78	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,48	0,52	1,00	1,00	0,00	0,00	
HD (mm)	8,18	0,69	0,04	12,97	135,07	179,46	193,76	198,27	258,55	259,70	126,35	61,01	
ETR (mm)	7,49	0,65	0,04	12,97	90,96	102,29	115,63	119,83	143,24	141,69	65,39	52,82	853,02
HSf (mm)	91,69	91,04	91,00	91,00	135,10	168,17	169,00	169,00	169,00	169,00	151,96	99,18	
DCC (mm)	77,31	77,96	78,00	78,00	33,90	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	17,04	69,82	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,45	37,31	40,01	0,00	0,00	77,89
NR (mm)	212,66	223,56	260,75	254,64	124,86	52,05	40,86	38,03	0,00	0,00	82,43	152,07	1441,90

Tabla 2B.2 Balance hídrico de suelo Matadero Procensa

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 2 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 16 de Octubre del 2009
Localización: Tipitapa, Matadero Prosera
Textura de Suelo: Arcilloso

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]	114,97		
Kp [0.01%]	0,18		
Kv [0.01%]	0,21		
Kfc [0.01%]	0,52611		
I [0.01%]	0,91611		
DS (g/cm³):	1,20		
PR (mm)	500,00		
HSi (mm)	180,00		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12		
		por peso (%)	(mm)
		CC	33,00 198,00
		PM	18,00 108,00
		(CC-PM)	15,00 90,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	12,45	129,65	129,93	111,91	115,45	173,30	174,41	46,41	1,93	895,44
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	1,14	11,87	11,90	10,25	10,57	15,87	15,97	4,25	0,18	81,99
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	126,45	111,81	108,71	108,00	108,00	146,68	186,98	190,74	191,89	198,00	198,00	180,00	
C1	0,21	0,04	0,01	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,38	0,45	1,00	1,00	0,06	0,00	
HD (mm)	18,45	3,81	0,71	12,45	129,65	168,61	190,89	198,19	257,19	264,41	136,41	73,93	
ETR (mm)	14,64	3,09	0,71	12,45	90,96	89,63	108,15	114,30	143,24	141,69	69,48	55,48	843,84
HSf (mm)	111,81	108,71	108,00	108,00	146,68	186,98	190,74	191,89	198,00	198,00	174,93	126,45	
DCC (mm)	86,19	89,29	90,00	90,00	51,32	11,02	7,26	6,11	0,00	0,00	23,07	71,55	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,95	32,72	0,00	0,00	56,67
NR (mm)	214,39	232,44	272,08	267,16	142,28	74,90	55,60	49,67	0,00	0,00	84,37	151,15	1544,04

Tabla 2B.3 Balance hídrico de suelo Finca La Tejera

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 3 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 13 de Octubre del 2009
Localización: Tipitapa, Finca La Tejera
Textura de Suelo: Arcilloso

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 Iluvia

fc [mm/d]	58,80
Kp [0.01%]	0,25
Kv [0.01%]	0,18
Kfc [0.01%]	0,35574
I [0.01%]	0,78574
DS (g/cm ³):	1,20
PR (mm)	500,00
HSi (mm)	180,00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12

por peso	
(%)	(mm)
CC	31,00 186,00
PM	18,00 108,00
(CC-PM)	13,00 78,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	10,68	111,20	111,44	95,99	99,02	148,64	149,59	39,81	1,65	768,01
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	2,91	30,32	30,39	26,17	27,00	40,53	40,79	10,85	0,45	209,42
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	117,88	108,83	108,05	108,00	108,00	128,23	162,92	180,65	186,00	186,00	186,00	180,00	
C1	0,13	0,01	0,00	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	1,00	1,00	0,00	0,00	
HD (mm)	9,88	0,83	0,05	10,68	111,20	131,67	150,90	171,67	226,64	227,59	117,81	73,65	
ETR (mm)	9,05	0,78	0,05	10,68	90,96	76,76	78,25	92,91	143,24	141,69	65,39	63,77	773,53
HSf (mm)	108,83	108,05	108,00	108,00	128,23	162,92	180,65	186,00	186,00	186,00	160,42	117,88	
DCC (mm)	77,17	77,95	78,00	78,00	57,77	23,08	5,35	0,00	0,00	0,00	25,58	68,12	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	5,40	7,90	0,00	0,00	14,06
NR (mm)	210,96	223,41	260,74	256,93	148,73	99,84	83,59	64,95	0,00	0,00	90,97	139,42	1579,55

Tabla 2B.4 Balance hídrico de suelo Finca La Fe

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 4 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 15 de Octubre del 2009
Localización: Tipitapa, finca La Fé
Textura de Suelo: Arcilloso

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 Iluvia

fc [mm/d]	72,00
Kp [0.01%]	0,20
Kv [0.01%]	0,21
Kfc [0.01%]	0,40778
I [0.01%]	0,81778
DS (g/cm ³):	1,20
PR (mm)	500,00
HSi (mm)	180,00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12

	por peso (%)	(mm)
CC	33,00	198,00
PM	18,00	108,00
(CC-PM)	15,00	90,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	11,12	115,73	115,98	99,90	103,06	154,70	155,69	41,43	1,72	799,33
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	2,48	25,79	25,84	22,26	22,96	34,47	34,69	9,23	0,38	178,11
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	126,40	111,80	108,71	108,00	108,00	132,77	171,99	187,21	189,93	198,00	198,00	180,00	
C1	0,20	0,04	0,01	0,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,27	1,00	1,00	0,01	0,00	
HD (mm)	18,40	3,80	0,71	11,12	115,73	140,75	163,89	182,27	236,63	245,69	131,43	73,72	
ETR (mm)	14,60	3,09	0,71	11,12	90,96	76,76	84,68	100,34	143,24	141,69	65,86	55,32	788,37
HSf (mm)	111,80	108,71	108,00	108,00	132,77	171,99	187,21	189,93	198,00	198,00	173,57	126,40	
DCC (mm)	86,20	89,29	90,00	90,00	65,23	26,01	10,79	8,07	0,00	0,00	24,43	71,60	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,39	14,00	0,00	0,00	17,39
NR (mm)	214,44	232,45	272,08	268,50	156,19	102,76	82,60	65,59	0,00	0,00	89,35	151,36	1635,32

Tabla 2B.5 Balance hídrico de suelo Timal Cuadrante 137

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 5 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 10 de Febrero del 2010
Localización: Finca 137, Timal, cuadrante 137
Textura de Suelo: Arcilloso

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]	73,50
Kp [0.01%]	0,20
Kv [0.01%]	0,21
Kfc [0.01%]	0,41306
I [0.01%]	0,82306
DS (g/cm ³):	1,20
PR (mm)	500,00
HSi (mm)	180,00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12

por peso	
(%)	(mm)
CC	33,00 198,00
PM	18,00 108,00
(CC-PM)	15,00 90,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	11,19	116,48	116,73	100,54	103,72	155,70	156,69	41,70	1,73	804,48
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	2,41	25,04	25,10	21,62	22,30	33,47	33,69	8,96	0,37	172,95
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	126,40	111,80	108,71	108,00	108,00	133,52	173,49	187,49	190,05	198,00	198,00	180,00	
C1	0,20	0,04	0,01	0,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,28	1,00	1,00	0,01	0,00	
HD (mm)	18,40	3,80	0,71	11,19	116,48	142,25	166,03	183,21	237,75	246,69	131,70	73,73	
ETR (mm)	14,60	3,09	0,71	11,19	90,96	76,76	86,54	101,17	143,24	141,69	66,06	55,33	791,33
HSf (mm)	111,80	108,71	108,00	108,00	133,52	173,49	187,49	190,05	198,00	198,00	173,64	126,40	
DCC (mm)	86,20	89,29	90,00	90,00	64,48	24,51	10,51	7,95	0,00	0,00	24,36	71,60	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,51	15,00	0,00	0,00	19,51
NR (mm)	214,44	232,45	272,08	268,42	155,45	101,27	80,46	64,64	0,00	0,00	89,08	151,34	1629,64

Tabla 2B.6 Balance hídrico de suelo Finca La División

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: Prueba N° 6 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 19 de Octubre del 2009
Localización: Tipitapa, Finca La División
Textura de Suelo: Arcilloso

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 Iluvia

fc [mm/d]

172,11

Kp [0.01%]

0,10

Kv [0.01%]

0,21

Kfc [0.01%]

0,62505

I [0.01%]

0,93505

DS (g/cm³):

1,20

PR (mm)

500,00

HSi (mm)

180,00

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

12

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

0,12

por peso

(%)

(mm)

CC

33,00

198,00

PM

18,00

108,00

(CC-PM)

15,00

90,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	12,71	132,33	132,62	114,22	117,83	176,89	178,01	47,37	1,97	913,95
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,88	9,19	9,21	7,93	8,18	12,29	12,36	3,29	0,14	63,48
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	126,46	111,81	108,71	108,00	108,00	149,36	187,77	191,14	192,23	198,00	198,00	180,00	
C1	0,21	0,04	0,01	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,42	0,48	1,00	1,00	0,07	0,00	
HD (mm)	18,46	3,81	0,71	12,71	132,33	173,98	193,99	200,98	261,12	268,01	137,37	73,97	
ETR (mm)	14,65	3,10	0,71	12,71	90,96	94,21	110,85	116,75	143,24	141,69	70,18	55,51	854,56
HSf (mm)	111,81	108,71	108,00	108,00	149,36	187,77	191,14	192,23	198,00	198,00	175,19	126,46	
DCC (mm)	86,19	89,29	90,00	90,00	48,64	10,23	6,86	5,77	0,00	0,00	22,81	71,54	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,88	36,32	0,00	0,00	64,20
NR (mm)	214,38	232,43	272,08	266,90	139,60	69,54	52,50	46,88	0,00	0,00	83,41	151,11	1528,83

Tabla 2B.7 Balance hídrico de suelo Finca Los Mangos

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 7 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 06 de febrero del 2010
Localización: Tipitapa, Finca Los Mangos
Textura de Suelo: Arcilloso

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]	74,50
Kp [0.01%]	0,20
Kv [0.01%]	0,21
Kfc [0.01%]	0,41651
I [0.01%]	0,82651
DS (g/cm ³):	1,20
PR (mm)	500,00
HSi (mm)	180,00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12

	por peso (%)	(mm)
CC	33,00	198,00
PM	18,00	108,00
(CC-PM)	15,00	90,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	11,24	116,97	117,22	100,97	104,16	156,35	157,35	41,87	1,74	807,86
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	2,36	24,55	24,61	21,19	21,86	32,82	33,03	8,79	0,36	169,57
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	126,40	111,80	108,71	108,00	108,00	134,00	174,47	187,68	190,12	198,00	198,00	180,00	
C1	0,20	0,04	0,01	0,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,29	1,00	1,00	0,01	0,00	
HD (mm)	18,40	3,80	0,71	11,24	116,97	143,23	167,43	183,83	238,48	247,35	131,87	73,74	
ETR (mm)	14,60	3,09	0,71	11,24	90,96	76,76	87,76	101,71	143,24	141,69	66,18	55,33	793,27
HSf (mm)	111,80	108,71	108,00	108,00	134,00	174,47	187,68	190,12	198,00	198,00	173,69	126,40	
DCC (mm)	86,20	89,29	90,00	90,00	64,00	23,53	10,32	7,88	0,00	0,00	24,31	71,60	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,24	15,66	0,00	0,00	20,90
NR (mm)	214,44	232,45	272,08	268,38	154,96	100,29	79,06	64,02	0,00	0,00	88,91	151,34	1625,92

Tabla 2B.8 Balance hídrico de suelo Timal Cuadrante 95

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 8 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 05 de Febrero del 2010
Localización: Tipitapa, Finca 95, Cuadrante 95
Textura de Suelo: Arcilloso

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]

101,36

Kp [0.01%]

0,20

Kv [0.01%]

0,21

Kfc [0.01%]

0,49457

I [0.01%]

0,90457

DS (g/cm³):

1,20

PR (mm)

500,00

HSi (mm)

180,00

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

12

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

0,12

por peso

(%)

(mm)

CC

33,00

198,00

PM

18,00

108,00

(CC-PM)

15,00

90,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	12,30	128,01	128,29	110,50	113,99	171,12	172,21	45,83	1,90	884,16
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	1,30	13,50	13,53	11,66	12,03	18,05	18,17	4,83	0,20	93,27
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	126,44	111,81	108,71	108,00	108,00	145,05	186,50	190,49	191,68	198,00	198,00	180,00	
C1	0,20	0,04	0,01	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,36	0,43	1,00	1,00	0,06	0,00	
HD (mm)	18,44	3,81	0,71	12,30	128,01	165,34	189,00	196,49	254,80	262,21	135,83	73,90	
ETR (mm)	14,64	3,09	0,71	12,30	90,96	86,85	106,51	112,80	143,24	141,69	69,06	55,46	837,31
HSf (mm)	111,81	108,71	108,00	108,00	145,05	186,50	190,49	191,68	198,00	198,00	174,77	126,44	
DCC (mm)	86,19	89,29	90,00	90,00	52,95	11,50	7,51	6,32	0,00	0,00	23,23	71,56	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,56	30,52	0,00	0,00	52,08
NR (mm)	214,40	232,44	272,08	267,32	143,91	78,17	57,49	51,37	0,00	0,00	84,95	151,17	1553,30

Tabla 2B.9 Balance hídrico de suelo Hacienda El Cascabel

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 9 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 04 de Febrero del 2010
Localización: Hacienda El Cascabel, en San Juan de la Plywood
Textura de Suelo: Franco arcilloso

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 Iluvia

fc [mm/d]	199,82	
Kp [0.01%]	0,10	
Kv [0.01%]	0,21	
Kfc [0.01%]	0,66064	
I [0.01%]	0,97064	
DS (g/cm ³):	1,30	
PR (mm)	600,00	
HSi (mm)	250,00	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12	

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	26,00	202,80
PM	14,00	109,20
(CC-PM)	12,00	93,60

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret (mm)	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	13,19	137,36	137,66	118,57	122,32	183,62	184,79	49,17	2,04	948,73
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,40	4,16	4,16	3,59	3,70	5,55	5,59	1,49	0,06	28,70
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	178,90	125,72	112,81	109,28	109,20	155,60	191,45	194,72	195,96	202,80	202,80	250,00	
C1	0,74	0,18	0,04	0,14	1,00	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	0,33	0,47	0,53	1,00	1,00	0,13	0,08	
HD (mm)	69,70	16,52	3,61	13,28	137,36	184,06	200,83	207,84	270,38	278,39	142,77	142,84	
ETR (mm)	53,18	12,90	3,53	13,28	90,96	101,81	115,31	121,07	143,24	141,69	73,77	73,14	943,89
HSf (mm)	125,72	112,81	109,28	109,20	155,60	191,45	194,72	195,96	202,80	202,80	178,20	178,90	
DCC (mm)	77,08	89,99	93,52	93,60	47,20	11,35	8,08	6,84	0,00	0,00	24,60	23,90	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,54	43,10	0,00	0,00	76,64
NR (mm)	166,74	223,33	272,78	269,93	138,16	63,05	49,27	43,62	0,00	0,00	81,61	85,83	1394,32

Tabla 2B.10 Balance hídrico de suelo Finca El Chilamate

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 10 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 08 de Febrero del 2010
Localización: Finca El Chilamate, Comarca Los Laureles
Textura de Suelo: Arcilloso

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]

112,12

Kp [0.01%]

0,18

Kv [0.01%]

0,21

Kfc [0.01%]

0,51986

I [0.01%]

0,90986

DS (g/cm³):

1,20

PR (mm)

500,00

HSi (mm)

180,00

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

12

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

0,12

por peso

(%)

(mm)

CC 33,00 198,00

PM 18,00 108,00

(CC-PM) 15,00 90,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	12,37	128,76	129,04	111,15	114,66	172,12	173,22	46,10	1,91	889,33
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	1,23	12,76	12,78	11,01	11,36	17,05	17,16	4,57	0,19	88,10
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	126,45	111,81	108,71	108,00	108,00	145,80	186,72	190,60	191,78	198,00	198,00	180,00	
C1	0,20	0,04	0,01	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,37	0,44	1,00	1,00	0,06	0,00	
HD (mm)	18,45	3,81	0,71	12,37	128,76	166,84	189,87	197,27	255,90	263,22	136,10	73,91	
ETR (mm)	14,64	3,09	0,71	12,37	90,96	88,12	107,26	113,49	143,24	141,69	69,25	55,47	840,30
HSf (mm)	111,81	108,71	108,00	108,00	145,80	186,72	190,60	191,78	198,00	198,00	174,84	126,45	
DCC (mm)	86,19	89,29	90,00	90,00	52,20	11,28	7,40	6,22	0,00	0,00	23,16	71,55	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,66	31,53	0,00	0,00	54,19
NR (mm)	214,39	232,44	272,08	267,24	143,16	76,67	56,63	50,59	0,00	0,00	84,69	151,16	1549,06

Tabla 2B.11 Balance hídrico de suelo Finca La Inca

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 11 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 09 de febrero del 2010
Localización: Finca La Inca, San Nicolás
Textura de Suelo: Arcilloso

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]	81,00
Kp [0.01%]	0,20
Kv [0.01%]	0,21
Kfc [0.01%]	0,43784
I [0.01%]	0,84784
DS (g/cm ³):	1,20
PR (mm)	500,00
HSi (mm)	180,00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12

por peso		
	(%)	(mm)
CC	33,00	198,00
PM	17,00	102,00
(CC-PM)	16,00	96,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	11,53	119,99	120,25	103,57	106,84	160,39	161,41	42,95	1,78	828,71
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	2,07	21,53	21,58	18,59	19,17	28,78	28,97	7,71	0,32	148,72
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	125,65	108,06	103,44	102,07	102,14	131,17	174,66	183,90	186,42	198,00	198,00	180,00	
C1	0,25	0,06	0,02	0,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,83	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,32	1,00	1,00	0,09	0,00	
HD (mm)	23,65	6,06	1,44	11,59	120,13	149,41	176,23	188,74	244,81	257,41	138,95	79,78	
ETR (mm)	17,60	4,61	1,37	11,45	90,96	76,76	94,33	104,32	143,24	141,69	70,96	56,13	813,42
HSf (mm)	108,06	103,44	102,07	102,14	131,17	174,66	183,90	186,42	198,00	198,00	170,00	125,65	
DCC (mm)	89,94	94,56	95,93	95,86	66,83	23,34	14,10	11,58	0,00	0,00	28,00	72,35	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,57	19,72	0,00	0,00	25,29
NR (mm)	215,19	236,19	277,35	274,02	157,79	100,10	76,26	65,12	0,00	0,00	87,83	151,29	1641,14

Tabla 2B.12 Balance hídrico de suelo Finca San Jorge

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: Prueba N° 12 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 27 de Abril del 2010
Localización: Finca San Jorge, Comarca Zambrano
Textura de Suelo: Arcilloso

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]

83,50

Kp [0.01%]

0,20

Kv [0.01%]

0,21

Kfc [0.01%]

0,44558

I [0.01%]

0,85558

DS (g/cm³):

1,20

PR (mm)

500,00

HSi (mm)

180,00

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

12

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

0,12

por peso

(%)

(mm)

CC

33,00

198,00

PM

17,00

102,00

(CC-PM)

16,00

96,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	11,63	121,08	121,34	104,52	107,82	161,85	162,88	43,34	1,80	836,27
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	1,96	20,44	20,48	17,64	18,20	27,32	27,50	7,32	0,30	141,17
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	125,66	108,06	103,44	102,07	102,15	132,26	176,85	184,48	186,70	198,00	198,00	180,00	
C1	0,25	0,06	0,02	0,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,83	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,34	1,00	1,00	0,09	0,00	
HD (mm)	23,66	6,06	1,44	11,70	121,23	151,61	179,36	190,29	246,55	258,88	139,34	79,80	
ETR (mm)	17,60	4,61	1,37	11,55	90,96	76,76	96,89	105,60	143,24	141,69	71,22	56,14	817,65
HSf (mm)	108,06	103,44	102,07	102,15	132,26	176,85	184,48	186,70	198,00	198,00	170,12	125,66	
DCC (mm)	89,94	94,56	95,93	95,85	65,74	21,15	13,52	11,30	0,00	0,00	27,88	72,34	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,31	21,19	0,00	0,00	28,50
NR (mm)	215,18	236,19	277,35	273,91	156,70	97,91	73,13	63,56	0,00	0,00	87,44	151,28	1632,65

Tabla 2B.13 Balance hídrico de suelo San Pedro

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 13 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 28 de abril del 2010
Localización: Finca San Pedro a 200 mts del pozo monitor, Malacatoya
Textura de Suelo: Arcilloso

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 HSi: 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]	72,00		
Kp [0.01%]	0,20		
Kv [0.01%]	0,21		
Kfc [0.01%]	0,40778		
I [0.01%]	0,81778		
DS (g/cm³):	1,20		
PR (mm)	500,00		
HSi (mm)	180,00		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12		
		por peso (%)	(mm)
		CC	33,00 198,00
		PM	18,00 108,00
		(CC-PM)	15,00 90,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	11,12	115,73	115,98	99,90	103,06	154,70	155,69	41,43	1,72	799,33
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	2,48	25,79	25,84	22,26	22,96	34,47	34,69	9,23	0,38	178,11
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	126,40	111,80	108,71	108,00	108,00	132,77	171,99	187,21	189,93	198,00	198,00	180,00	
C1	0,20	0,04	0,01	0,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,27	1,00	1,00	0,01	0,00	
HD (mm)	18,40	3,80	0,71	11,12	115,73	140,75	163,89	182,27	236,63	245,69	131,43	73,72	
ETR (mm)	14,60	3,09	0,71	11,12	90,96	76,76	84,68	100,34	143,24	141,69	65,86	55,32	788,37
HSf (mm)	111,80	108,71	108,00	108,00	132,77	171,99	187,21	189,93	198,00	198,00	173,57	126,40	
DCC (mm)	86,20	89,29	90,00	90,00	65,23	26,01	10,79	8,07	0,00	0,00	24,43	71,60	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,39	14,00	0,00	0,00	17,39
NR (mm)	214,44	232,45	272,08	268,50	156,19	102,76	82,60	65,59	0,00	0,00	89,35	151,36	1635,32

Tabla 2B.14 Balance hídrico de suelo Finca de UNI

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 14 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 29 de Abril del 2010
Localizacion: Finca de la UNI, Comarca San Blas
Textura de Suelo: Franco arcilloso

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 Iluvia

fc [mm/d]	261,78		
Kp [0.01%]	0,06		
Kv [0.01%]	0,18		
Kfc [0.01%]	0,72321		
I [0.01%]	0,96321		
DS (g/cm ³):	1,30		
PR (mm)	600,00		
HSi (mm)	200,00		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12		
		por peso (%)	(mm)
CC	26,00		202,80
PM	16,00		124,80
(CC-PM)	10,00		78,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	13,09	136,31	136,61	117,66	121,38	182,21	183,37	48,80	2,03	941,47
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,50	5,21	5,22	4,49	4,64	6,96	7,00	1,86	0,08	35,96
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	135,16	125,67	124,85	124,80	124,80	170,15	202,01	202,80	202,80	202,80	202,80	200,00	
C1	0,13	0,01	0,00	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,49	0,53	1,00	1,00	0,00	0,00	
HD (mm)	10,36	0,87	0,05	13,09	136,31	181,96	194,87	199,38	260,21	261,37	126,80	77,23	
ETR (mm)	9,48	0,82	0,05	13,09	90,96	104,75	116,75	120,95	143,24	141,69	65,39	66,87	874,05
HSf (mm)	125,67	124,85	124,80	124,80	170,15	202,01	202,80	202,80	202,80	202,80	186,21	135,16	
DCC (mm)	77,13	77,95	78,00	78,00	32,65	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	16,59	67,64	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,43	38,97	41,68	0,00	0,00	81,22
NR (mm)	210,48	223,37	260,74	254,52	123,61	49,56	39,74	36,91	0,00	0,00	81,98	135,85	1416,77

Tabla 2B.15 Balance hídrico de suelo Finca El Consuelo

**BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky**

Zona de Estudio: Prueba N° 15 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 30 de Abril del 2010
Localización: Las Lajas, Finca El Consuelo, Malacatoya
Textura de Suelo: Arcilloso

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]	90,50	
Kp [0.01%]	0,20	
Kv [0.01%]	0,21	
Kfc [0.01%]	0,46599	
I [0.01%]	0,87599	
DS (g/cm ³):	1,20	
PR (mm)	600,00	
HSi (mm)	180,00	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12	
		por peso (%) (mm)
		CC 33,00 237,60
		PM 18,00 129,60
		(CC-PM) 15,00 108,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	11,91	123,97	124,24	107,01	110,39	165,71	166,77	44,38	1,84	856,22
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	1,69	17,55	17,59	15,15	15,63	23,46	23,61	6,28	0,26	121,21
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	149,17	136,23	131,74	129,93	131,09	164,10	207,87	215,78	218,95	237,60	237,60	180,00	
C1	0,18	0,06	0,02	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,48	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,27	0,36	1,00	1,00	0,20	0,00	
HD (mm)	19,57	6,63	2,14	12,24	125,46	158,74	185,28	196,57	255,06	274,77	152,38	52,24	
ETR (mm)	12,94	4,49	1,81	10,74	90,96	80,47	99,10	107,22	143,24	141,69	78,47	32,67	803,81
HSf (mm)	136,23	131,74	129,93	131,09	164,10	207,87	215,78	218,95	237,60	237,60	203,51	149,17	
DCC (mm)	101,37	105,86	107,67	106,51	73,50	29,73	21,82	18,65	0,00	0,00	34,09	88,43	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	25,08	0,00	0,00	28,90
NR (mm)	231,27	247,62	288,66	285,38	164,46	102,77	79,21	69,29	0,00	0,00	86,40	190,83	1745,89

Tabla 2B.16 Balance hídrico de suelo Finca San Rafael

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 16 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 02 de Mayo del 2010
Localización: Finca San Rafael, Lugar El Palenque
Textura de Suelo: Franco arcilloso

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]	450,00
Kp [0.01%]	0,06
Kv [0.01%]	0,09
Kfc [0.01%]	0,83887
I [0.01%]	0,98887
DS (g/cm ³):	1,30
PR (mm)	600,00
HSi (mm)	180,00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12

	por peso (%)	(mm)
CC	24,00	187,20
PM	13,00	101,40
(CC-PM)	11,00	85,80

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	13,44	139,94	140,25	120,80	124,62	187,07	188,26	50,10	2,08	966,55
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,15	1,58	1,58	1,36	1,40	2,11	2,12	0,56	0,02	10,88
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	118,57	104,28	101,83	101,40	101,40	150,38	181,92	183,59	184,25	187,20	187,20	180,00	
C1	0,20	0,03	0,00	0,16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,52	0,57	1,00	1,00	0,06	0,00	
HD (mm)	17,17	2,88	0,43	13,44	139,94	189,23	201,32	206,81	269,92	274,06	135,90	80,68	
ETR (mm)	14,29	2,45	0,43	13,44	90,96	108,71	119,13	123,96	143,24	141,69	69,29	63,51	891,10
HSf (mm)	104,28	101,83	101,40	101,40	150,38	181,92	183,59	184,25	187,20	187,20	168,01	118,57	
DCC (mm)	82,92	85,37	85,80	85,80	36,82	5,28	3,61	2,95	0,00	0,00	19,19	68,63	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,88	46,57	0,00	0,00	87,45
NR (mm)	211,47	229,17	268,17	261,97	127,78	50,09	40,97	36,85	0,00	0,00	80,68	140,20	1447,34

Tabla 2B.17 Balance hídrico de suelo Finca África

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 17 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 03 de Mayo del 2010
Localización: Finca Africa, Comarca Santa Amalia
Textura de Suelo: Arcilloso

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]	420,00		
Kp [0.01%]	0,06		
Kv [0.01%]	0,10		
Kfc [0.01%]	0,82507		
I [0.01%]	0,98507		
DS (g/cm ³):	1,20		
PR (mm)	600,00		
HSi (mm)	200,00		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0,2, otros=0.12	0,12		

	por peso		
	(%)	(mm)	
CC	32,00	230,40	
PM	19,00	136,80	
(CC-PM)	13,00	93,60	

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	13,39	139,41	139,71	120,33	124,14	186,35	187,54	49,91	2,07	962,84
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,20	2,11	2,12	1,82	1,88	2,82	2,84	0,76	0,03	14,60
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	154,97	141,11	137,74	136,82	136,80	185,24	219,79	222,73	223,91	230,40	230,40	200,00	
C1	0,19	0,05	0,01	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,50	0,56	1,00	1,00	0,14	0,00	
HD (mm)	18,17	4,31	0,94	13,41	139,41	188,15	203,32	210,07	273,46	281,14	143,51	65,27	
ETR (mm)	13,87	3,36	0,92	13,41	90,96	105,16	117,40	122,95	143,24	141,69	74,28	47,10	874,35
HSf (mm)	141,11	137,74	136,82	136,80	185,24	219,79	222,73	223,91	230,40	230,40	206,03	154,97	
DCC (mm)	89,29	92,66	93,58	93,60	45,16	10,61	7,67	6,49	0,00	0,00	24,37	75,43	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,62	45,85	0,00	0,00	82,47
NR (mm)	218,27	235,54	275,45	269,80	136,12	58,96	46,77	41,39	0,00	0,00	80,88	163,40	1526,58

Tabla 2B.18 Balance hídrico de suelo Finca Santa María

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 18 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 18 de Octubre del 2009
Localización: Finca Santa María, a 1 kilómetro de la Playuela de Tisma
Textura de Suelo: Arcilloarenoso

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 Iluvia

fc [mm/d]	267,13
Kp [0.01%]	0,15
Kv [0.01%]	0,10
Kfc [0.01%]	0,72778
I [0.01%]	0,97778
DS (g/cm ³):	1,25
PR (mm)	700,00
HSi (mm)	200,00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12

	por peso (%)	(mm)
CC	29,00	253,75
PM	17,00	148,75
(CC-PM)	12,00	105,00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	13,29	138,37	138,68	119,44	123,22	184,97	186,15	49,54	2,06	955,72
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,30	3,14	3,15	2,71	2,80	4,20	4,23	1,13	0,05	21,71
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	167,77	154,83	150,60	148,99	150,06	197,48	234,62	239,44	241,60	253,75	253,75	200,00	
C1	0,18	0,06	0,02	0,13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,51	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,46	0,53	1,00	1,00	0,23	0,00	
HD (mm)	19,02	6,08	1,85	13,53	139,69	187,40	205,32	213,91	277,82	291,15	154,54	53,31	
ETR (mm)	12,94	4,24	1,61	12,22	90,96	101,53	114,63	121,06	143,24	141,69	80,18	34,29	858,58
HSf (mm)	154,83	150,60	148,99	150,06	197,48	234,62	239,44	241,60	253,75	253,75	223,10	167,77	
DCC (mm)	98,92	103,15	104,76	103,69	56,27	19,13	14,31	12,15	0,00	0,00	30,65	85,98	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,58	44,46	0,00	0,00	74,04
NR (mm)	228,82	245,16	285,95	281,08	147,24	71,11	56,18	48,95	0,00	0,00	81,24	186,77	1632,51

Tabla 2B.19 Balance hídrico de suelo Finca El Quemado

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Prueba N° 19 Acuífero Tipitapa-Malacatoya
Fecha: 7 de febrero del 2010
Localización: Finca El Quemado, Tipitapa
Textura de Suelo: Arcilloarenoso

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]	382,53
Kp [0.01%]	0,06
Kv [0.01%]	0,10
Kfc [0.01%]	0,80589
I [0.01%]	0,96589
DS (g/cm ³):	1,25
PR (mm)	500,00
HSi (mm)	180,00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	12
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12

	por peso (%)	(mm)
CC	30,00	187,50
PM	16,00	100,00
(CC-PM)	14,00	87,50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2,87	3,76	4,91	18,59	160,82	161,17	138,82	143,20	214,97	216,34	57,57	7,10	1130,11
Ret [mm]	2,87	3,76	4,91	5,00	19,30	19,34	16,66	17,18	25,80	25,96	6,91	5,00	152,68
Pi (mm)	0,00	0,00	0,00	13,13	136,69	136,99	117,99	121,72	182,72	183,89	48,93	2,03	944,09
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,46	4,83	4,84	4,17	4,30	6,45	6,49	1,73	0,07	33,34
ETP (mm)	142,84	146,25	182,80	189,61	181,92	153,52	156,49	157,86	143,24	141,69	130,78	135,08	1862,07
HSi (mm)	118,71	103,44	100,57	100,00	100,00	145,73	180,34	182,67	183,49	187,50	187,50	180,00	
C1	0,21	0,04	0,01	0,15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	
C2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,48	0,53	1,00	1,00	0,06	0,00	
HD (mm)	18,71	3,44	0,57	13,13	136,69	182,72	198,33	204,39	266,21	271,39	136,43	82,03	
ETR (mm)	15,28	2,87	0,57	13,13	90,96	102,37	115,66	120,90	143,24	141,69	69,61	63,32	879,61
HSf (mm)	103,44	100,57	100,00	100,00	145,73	180,34	182,67	183,49	187,50	187,50	166,82	118,71	
DCC (mm)	84,06	86,93	87,50	87,50	41,77	7,16	4,83	4,01	0,00	0,00	20,68	68,79	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,47	42,19	0,00	0,00	77,66
NR (mm)	211,63	230,31	269,73	263,98	132,73	58,30	45,66	40,96	0,00	0,00	81,85	140,54	1475,69

Tabla 2B.20 Composición Hidroquímica de las aguas subterráneas del acuífero de Tisma (Pozos Excavados)

COMPOSICION HIDROQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DEL ACUIFERO DE TISMA (POZOS EXCAVADOS)															
CÓDIGO	LOCALIZACIÓN-PROPIETARIO	FECHA ANÁLISIS	CATIONES [mg/l] [meq%]					ANIONES [mg/l] [meq%]					CARÁCTER HIDROQUÍMICO	CUADRANTE TOPOGRÁFICO	
			K	Na	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃			F
PE-1	FINCA EL HATILLO MARIANO VEGA	mar-68	20.000	30.000	14.000	37.000	0.000	0.000	200.000	57.000	0.000	0.000	0.000	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			10.615	27.056	23.975	38.355	0.000	0.000	67.111	32.889	0.000	0.000	0.000		
PE-2	LA CAMPANA ABRAHAM YORN	mar-68	11.900	11.000	16.000	62.000	0.000	0.000	248.000	42.000	3.000	1.200	0.300	HCO3-Ca	TIPITAPA
			5.853	9.194	25.392	59.561	0.000	0.000	76.260	22.208	1.170	0.362	0.0000		
PE-3	FCA FATIMA JOSÉ GUTIÉRREZ	ene-71	13.800	11.000	12.000	20.000	0.000	0.000	140.000	17.000	0.960	0.600	0.300	HCO3-Ca-Mg	TIPITAPA
			12.514	16.950	35.112	35.424	0.000	0.000	81.853	17.091	0.712	0.344	0.00005		
PE-5	SAN ILDEFONZO WILLIAM BAEZ	ene-72	7.800	22.000	49.000	110.000	0.000	12.000	171.000	111.000	6.000	266.000	0.000	Cl-Ca	TIPITAPA
			1.865	8.941	37.812	51.382	0.000	3.720	26.108	29.141	1.162	39.869	0.0000		
PE-6	BARRIO LAS DAMAS PABLO AGUIRRE	ago-69	8.300	17.000	18.000	44.000	0.000	0.000	195.000	38.000	1.000	25.000	0.200	HCO3-Ca-Mg	TIPITAPA
			4.581	15.942	32.052	47.426	0.000	0.000	68.145	22.834	0.443	8.577	0.000		
PE-7	EL EMPALME SAN BENITO DIONISIO CASTILLO	jul-73	16.000	42.000	18.000	44.000	0.000	0.000	220.000	27.000	43.000	37.000	0.600	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			6.915	30.844	25.100	37.141	0.000	0.000	61.575	12.994	15.264	10.166	0.00005		
PE-8	HACIENDA CANINO REAL PILAR ALTAMIRANO O SANDRO PALACIOS	ene-72	9.000	21.000	12.000	44.000	0.000	6.000	207.000	14.000	10.000	14.000	0.200	HCO3-Ca	TIPITAPA
			5.315	21.072	22.865	50.749	0.000	4.517	76.757	8.926	4.703	5.096	0.00002		
PE-9	HACIENDA STA LUCIA RODOLFO MURILLO	ene-72	5.400	16.000	24.000	66.000	0.000	6.000	220.000	14.000	6.000	110.700	0.000	HCO3-Ca	TIPITAPA
			2.260	11.379	32.410	53.951	0.000	3.270	59.054	6.462	2.043	29.171	0.0000		
PE-10	PENJAMO KM 341/2 CARRETERA NORTE	nov-69	8.800	29.000	12.000	40.000	0.000	15.000	201.000	16.000	10.000	3.000	0.500	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			5.031	28.171	22.135	44.663	0.000	11.092	73.198	10.019	4.619	1.073	0.0001		
PE-11	SAN BENITO I.A.N	nov-69	6.800	26.000	12.000	38.000	0.000	6.000	214.000	14.000	3.000	4.000	0.300	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			4.148	26.952	23.621	45.278	0.000	4.722	82.950	9.331	1.475	1.522	0.00004		
PE-22	PUNTA HUETE SAMSA	jul-73	154.000	683.000	26.000	26.000	0.000	9.000	1202.000	126.000	648.000	4.200	1.400	HCO3-Na	TIPITAPA
			10.626	80.081	5.789	3.504	0.000	0.808	53.117	9.574	36.318	0.182	0.000		
PE-25	LOS LIMONES O EL LIMONAL EL ESTADO	ago-69	7.000	12.000	22.000	54.000	0.000	0.000	250.000	33.000	2.000	10.800	0.100	HCO3-Ca	TIPITAPA
			3.434	10.003	34.823	51.740	0.000	0.000	78.154	17.739	0.793	3.314	0.00001		
PE-27	CASERIO HDA SN JUAN PEDRO BELLI CARLOS	ene-72	8.000	56.000	18.000	40.000	0.000	9.000	207.000	84.000	4.000	0.000	0.500	HCO3-Na-Ca	TIPITAPA
			3.342	39.755	24.264	32.639	0.000	4.876	55.231	38.539	1.354	0.000	0.00004		
PE-31	HACIENDA EL LIBANO ELIA ZOGAIB	may-75	12.000	62.000	16.000	40.000	0.000	0.000	342.000	17.000	50.000	2.600	0.000	HCO3-Na-Ca	TIPITAPA
			4.856	42.635	20.892	31.617	0.000	0.000	78.225	6.686	14.505	0.584	0.0000		
PE-32	FINCA RODEO GRANDE GLORIA SOLORZANO	may-75	15.000	40.000	16.000	66.000	0.000	0.000	281.000	31.000	48.000	19.200	0.200	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			5.693	25.795	19.592	48.921	0.000	0.000	67.869	12.875	14.704	4.552	0.0000		
PE-33	HACIENDA LA CAMPANA ABRAHAN GORNME	nov-74	11.000	20.000	14.000	64.000	0.000	0.000	281.000	21.000	2.000	3.600	0.000	HCO3-Ca	TIPITAPA
			5.113	15.795	20.995	58.097	0.000	0.000	86.948	11.173	0.785	1.094	0.00000		
PE-34	HACIENDA LA CAMPANA O EL SOMPOPO	nov-74	9.000	19.000	23.000	38.000	0.000	0.000	232.000	24.000	4.000	1.400	0.200	HCO3-Ca-Mg	TIPITAPA
			4.744	17.018	39.117	39.121	0.000	0.000	82.941	14.754	1.814	0.491	0.00002		
PE-35	HACIENDA EL DESPERDICIO JOSÉ LUIS GUTIERREZ	dic-74	14.000	19.000	16.000	48.000	0.000	0.000	256.000	14.000	5.000	1.800	0.000	HCO3-Ca-Mg	TIPITAPA
			7.305	16.845	26.936	48.915	0.000	0.000	88.833	8.353	2.201	0.613	0.0000		
PE-16	ZAMBRANO - JOAQUIN MURILLO	mar-68	19.000	34.00	46.000	106.000	0.000	22.000	289.000	120.00	8.000	155.000	0.100	HCO3-Ca-Mg	NINDIRI
			4.396	13.366	34.339	47.899	0.000	6.360	41.149	29.380	1.445	21.666	0.0000		
PE-17	LA ESPERANZA - NICOLÁS BOLAÑOS	ene-72	18.000	48.000	7.000	30.000	0.000	12.000	207.000	17.00	13.000	5.600	0.200	HCO3-Na-Ca	NINDIRI
			9.959	45.126	12.496	32.418	0.000	8.623	73.253	10.344	5.835	1.945	0.0000		
PE-18	FINCA LA CONCHITA - JOSÉ PÉREZ	jul-73	16.000	341.00	20.000	226.000	0.000	0.000	98.000	287.00	878.000	10.000	1.200	SO4-Na	NINDIRI
			1.453	52.610	5.859	40.078	0.000	0.000	5.715	28.778	64.935	0.572	0.0000		
PE-19	EL RIITO - LUIS JARQUIN	mar-68	15.000	25.000	13.000	42.000	0.000	15.000	208.000	35.00	3.000	0.000	0.100	HCO3-Ca-Na	NINDIRI
			8.266	23.411	23.116	45.207	0.000	10.070	68.773	19.899	1.258	0.000	0.0000		
PE-20	FINCA TISMA - FAMILIA GARAY	ene-72	20.000	85.00	37.000	84.000	0.000	3.000	189.000	83.00	2.000	372.300	0.400	HCO3-Ca-Na	NINDIRI
			4.465	32.248	26.655	36.631	0.000	0.863	26.777	20.220	0.359	51.781	0.0000		

COMPOSICIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO DE TISMA (POZOS EXCAVADOS)															
CÓDIGO	LOCALIZACIÓN-PROPIETARIO	FECHA ANÁLISIS	CATIONES [mg/lit] [meq%]					ANIONES [mg/lit] [meq%]						CARÁCTER HIDROQUÍMICO	CUADRANTE TOPOGRÁFICO
			K	Na	Mg ⁺	Ca ⁺	Fe ⁺	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	F		
PE-21	LAS CUATRO ESQUINQS - JACINTA GAITÁN	mar-72	15.000	30.000	12.000	28.000	0.000	9.000	189.000	14.00	8.000	7.600	0.000	HCO3-Ca-Na	NINDIRI
			9.411	31.984	24.293	34.312	0.000	7.340	75.917	9.670	4.076	2.997	0.0000		
PE-22	FINCA LA REFORMA - PABLO URVINA	jul-73	10.000	13.00	7.000	58.000	0.000	0.000	220.000	17.00	5.000	9.000	0.500	HCO3-Ca	NINDIRI
			5.954	13.152	13.447	67.447	0.000	0.000	83.205	11.056	2.398	3.342	0.0001		
PE-24	SANTA ELENA - DAVID STADTHAGEN	mar-68	19.000	60.000	10.000	26.000	0.000	9.000	225.000	50.00	3.000	0.000	0.000	HCO3-Na-Ca	NINDIRI
			9.314	49.977	15.816	24.893	0.000	5.487	67.556	25.814	1.142	0.000	0.0000		
PE-25	FINCA EL CIELO - MARTHA PÉREZ	mar-68	18.000	54.000	3.000	20.000	0.000	0.000	158.000	54.000	2.000	0.000	0.010	HCO3-Na	NINDIRI
			11.356	57.891	6.107	24.645	0.000	0.000	62.354	36.645	1.001	0.000	0.00000		
PE-26	FINCA BELEN - PASTOR GONZALEZ	ene-72	18.000	38.000	7.000	22.000	0.000	3.000	195.000	14.000	5.000	5.800	0.000	HCO3-Na-Ca	NINDIRI
			12.152	43.592	15.248	29.008	0.000	2.568	82.209	10.149	2.673	2.400	0.0000		
PE-30	HACIENDA EL PORVENIR - ENRIQUE DREYFUS	ene-72	12.400	35.000	11.000	38.000	0.000	9.000	207.000	14.000	6.000	25.200	0.000	HCO3-Ca-Na	NINDIRI
			6.829	32.752	19.546	40.873	0.000	6.487	73.483	8.546	2.701	8.782	0.0000		
PE-72	SAN RAMÓN- NO TIENE	nov-79	14.000	35.000	13.000	47.000	0.000	0.000	228.000	17.000	0.300	1.900	0.320	HCO3-Ca-Na	NINDIRI
			6.756	28.701	20.242	44.300	0.000	0.000	87.869	11.266	0.147	0.719	0.0000		
PE-1	BELLA VISTA/ ULISES MEJIA,ELSA REYES	jun-68	5.000	111.00	41.000	46.000	0.000	41.000	462.000	83.000	0.500	6.000	0.120	HCO3-Na-Mg	MALACATOYA
			1.203	45.367	31.820	21.610	0.000	11.987	66.523	20.550	0.091	0.848	0.0000		
PE-2	SAN JOSE / PONCIANO MUÑOZ	ene-72	67.000	840.00	104.000	76.000	0.000	30.000	592.000	1127.000	134.000	336.200	0.700	Cl-Na	MALACATOYA
			3.387	72.148	16.962	7.503	0.000	1.971	19.154	62.699	5.499	10.678	0.0000		
PE-3	LA GALERIA / PONCIANO MUÑOZ	jun-68	31.000	70.00	94.000	60.000	0.000	102.000	532.000	128.000	28.000	4.000	0.190	HCO3-Mg	MALACATOYA
			5.434	20.852	53.170	20.544	0.000	20.739	53.272	22.040	3.556	0.393	0.0000		
PE-4	LOS COCOS / ARMANDO VIALES	jun-68	83.000	558.00	35.000	46.000	0.000	55.000	509.000	736.000	78.000	0.000	0.100	Cl-Na	MALACATOYA
			6.726	76.841	9.152	7.281	0.000	5.626	25.640	63.751	4.983	0.000	0.0000		
PE-5	LA ZORRA / JOSE MEJIA	ene-72	11.200	152.00	34.000	66.000	0.000	9.000	372.000	121.000	0.500	195.300	0.700	HCO3-Na	MALACATOYA
			2.204	50.834	21.591	25.371	0.000	2.311	47.047	26.314	0.080	24.248	0.0000		
PE-6	USAGAY / EMILIO CHAMORRO BENARD	ene-72	20.000	156.00	47.000	88.000	0.000	12.000	262.000	237.000	8.000	248.000	0.300	Cl-Na-Ca	MALACATOYA
			3.286	43.555	24.918	28.241	0.000	2.572	27.652	43.010	1.071	25.695	0.0000		
PE-7	SANTA JULIA / LUIS URBINA	ago-69	15.000	228.00	54.000	52.000	0.000	30.000	470.000	263.000	25.000	50.000	0.100	HCO3-Na	MALACATOYA
			2.212	57.123	25.690	14.975	0.000	5.725	44.175	42.505	2.980	4.614	0.0000		
PE-8	EI SUMIDERO / EMILIO CHAMORRO BENARD	jun-68	14.000	149.00	36.000	86.000	0.000	6.000	492.000	180.000	19.000	40.000	0.570	HCO3-Na-Ca	MALACATOYA
			2.539	45.924	21.069	30.467	0.000	1.389	56.096	35.290	2.748	4.477	0.0000		
PE-9	EL HATILLO / JAVIER SANCHEZ	jun-68	3.000	312.00	48.000	56.000	0.000	6.000	403.000	474.000	18.000	10.000	0.380	Cl-Na	MALACATOYA
			0.376	66.485	19.422	13.716	0.000	0.965	31.911	64.539	1.808	0.777	0.0000		
PE-10	EL HATILLO / JAVIER SANCHEZ	ene-72	20.000	138.00	5.000	16.000	0.000	12.000	360.000	34.000	13.000	5.800	0.400	HCO3-Na	MALACATOYA
			6.625	77.679	5.344	10.352	0.000	5.240	77.418	12.572	3.546	1.224	0.0000		
PE-11	EL GUAYABO / MODESTO SANDINO	jun-68	67.000	73.00	12.000	30.000	0.000	48.000	241.000	69.000	19.000	19.000	0.500	HCO3-Na-K	MALACATOYA
			23.235	43.017	13.427	20.320	0.000	19.498	48.214	23.736	4.821	3.732	0.0000		
PE-15	VIRGINIA, JAVIER SANCHEZ	jun-68	30.000	81.00	11.000	28.000	0.000	16.000	279.000	55.000	2.000	8.000	1.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			11.636	53.386	13.766	21.212	0.000	7.801	66.995	22.709	0.609	1.886	0.0001		
PE-16	SAN JOSE / NICOLAS MORALES, ALEJANDRO ARGUELLO	ene-72	15.000	31.00	11.000	32.000	0.000	9.000	201.000	17.000	0.500	10.800	0.100	HCO3-Ca-Na	MALACATOYA
			9.054	31.796	21.424	37.726	0.000	7.036	77.384	11.254	0.244	4.082	0.0000		
PE-18	SAN JOSE , MANUEL CALLEJAS	ene-72	15.000	784.00	14.000	98.000	0.000	39.000	964.000	636.00	11.000	331.500	0.800	Cl-Na	MALACATOYA
			0.947	84.115	2.852	12.086	0.000	3.198	38.931	44.165	0.563	13.143	0.0000		
PE-19	LAS TAPIAS/ DOMINGO MORALES	nov-71	18.000	115.00	5.000	8.000	0.000	15.000	227.000	34.000	48.000	0.400	0.300	HCO3-Na	MALACATOYA
			7.342	79.705	6.580	6.373	0.000	8.075	60.182	15.500	16.140	0.104	0.0000		
PE-20	LA VIRGEN/ SANDRO PALACIO	ene-72	27.000	200.00	44.000	98.000	0.000	9.000	500.000	246.000	14.000	138.600	0.100	HCO3-Na-Ca	MALACATOYA
			3.856	48.534	20.275	27.335	0.000	1.669	45.658	38.627	1.621	12.425	0.0000		
PE-21	SAN ANTONIO/ SANDRO PALACIO	ene-72	27.000	428.00	293.000	36.000	0.000	0.000	598.000	878.000	516.000	9.300	0.000	Cl-Mg	MALACATOYA
			1.525	41.089	53.413	3.973	0.000	0.000	21.578	54.477	23.615	0.329	0.0000		
PE-22	HACIENDA SAN PEDRO, LOS CAPULINES/ SANDRO PALACIO	ago-69	10.000	136.00	70.000	82.000	0.000	21.000	573.000	97.000	139.000	20.400	0.600	HCO3-Na-Mg	MALACATOYA
			1.595	36.851	36.016	25.539	0.000	4.357	58.544	17.041	18.012	2.046	0.0000		

COMPOSICIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO DE TISMA (POZOS EXCAVADOS)															
CÓDIGO	LOCALIZACIÓN-PROPIETARIO	FECHA ANÁLISIS	CATIONES [mg/lit] [meq%]					ANIONES [mg/lit] [meq%]					CARÁCTER HIDROQUÍMICO	CUADRANTE TOPOGRÁFICO	
			K	Na	Mg ⁺	Ca ⁺	Fe ⁺	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃			F
PE-24	HACIENDA SAN JUAN, LA GLORIA/ EL ESTADO	may-75	15.000	550.00	14.000	14.000	0.000	57.000	982.000	176.000	137.000	15.500	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			1.468	91.438	4.420	2.675	0.000	7.282	61.786	19.041	10.933	0.957	0.0000		
PE-37	HACIENDA SAN ISIDRO/ EL ESTADO	ene-75	8.000	152.000	4.000	2.000	0.000	12.000	311.000	42.000	24.000	0.400	0.200	HCO3-Na	MALACATOYA
			2.826	91.235	4.559	1.380	0.000	5.558	70.937	16.473	6.943	0.090	0.0000		
PE-38	HACIENDA SAN NICOLAS/ CARLOS BELLY, MANOLO PORRO	feb-75	22.000	216.000	6.000	114.000	0.000	9.000	384.000	107.000	48.000	3.100	1.600	HCO3-Na	MALACATOYA
			3.486	58.162	3.068	35.284	0.000	2.811	59.060	28.298	9.363	0.468	0.0001		
PE-39	FINCA EL RECREO/ ERNESTO GARAY	ene-75	15.000	62.000	29.000	24.000	0.000	3.000	311.000	38.000	5.000	11.400	0.300	HCO3-Na-Mg	MALACATOYA
			5.752	40.396	35.879	17.974	0.000	1.523	77.757	16.337	1.586	2.798	0.0000		
PE-41	FINCA MIENTRAS TANTO/ MANUEL ARGUELLO	feb-75	7.800	29.000	19.000	44.000	0.000	0.600	250.000	34.000	0.000	16.000	0.100	HCO3-Ca-Mg	MALACATOYA
			3.818	24.118	30.004	42.060	0.000	0.374	76.831	17.967	0.000	4.827	0.0000		
PE-43	CACERIO EL PASO/ ISIDRO ACEVEDO, VILMA JUARO(ACT)	feb-75	27.000	156.000	247.000	108.000	0.000	6.000	512.000	657.000	281.000	2.000	0.000	Cl-Mg	MALACATOYA
			2.077	20.391	61.306	16.226	0.000	0.605	25.444	56.142	17.711	0.098	0.0000		
PE-45	FINCA PANAMA/ JOSE JAIME GARCIA	feb-75	22.000	510.000	11.000	10.000	0.000	9.000	976.000	214.000	77.000	3.000	0.300	HCO3-Na	MALACATOYA
			2.331	91.837	3.761	2.070	0.000	1.249	66.719	25.155	6.676	0.201	0.0000		
PE-46	HACIENDA EL PORVENIR	ene-80	15.000	46.000	6.000	43.000	0.000	0.000	210.000	24.000	1.000	30.000	0.100	HCO3-Ca-Na	MALACATOYA
			7.633	39.777	9.852	42.738	0.000	0.000	74.471	14.635	0.450	10.444	0.0000		
PE-49	EL CONSUELO/RAFAEL LINO	sep-86	10.560	235.520	28.190	96.000	0.000	0.000	668.000	25.880	101.800	52.700	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			1.532	58.066	13.197	27.205	0.000	0.000	74.775	4.981	14.453	5.791	0.0000		
PE-50	LA TAPIA/ RENE MEDINA	sep-86	2.350	88.320	12.640	24.000	0.000	0.000	268.000	14.000	19.200	1.240	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			0.979	62.509	16.987	19.524	0.000	0.000	84.372	7.579	7.666	0.383	0.0000		
PE-7	HACIENDA LOS GUANACASTE/EL ESTADO	ene-72	4.500	10.000	13.000	40.000	0.000	6.000	183.000	7.000	10.000	1.100	0.200	HCO3-Ca	LAS BANDERAS
			3.179	12.003	29.630	55.188	0.000	5.513	82.812	5.447	5.739	0.489	0.0000		
PE-8	HACIENDA SAN ISIDRO/ALFONSO GONZALEZ	ene-72	5.400	17.000	23.000	62.000	0.000	12.000	262.000	38.000	1.000	3.800	0.700	HCO3-Ca	LAS BANDERAS
			2.352	12.582	32.323	52.743	0.000	6.831	73.450	18.318	0.356	1.046	0.0001		
PE-9	FINCA FINLANDIA/LUIS URBINA	ene-72	13.500	19.000	73.000	156.000	0.000	15.000	220.000	131.000	12.000	6.500	0.400	Cl-Ca	LAS BANDERAS
			2.304	5.509	40.194	51.993	0.000	6.124	44.238	45.295	3.060	1.283	0.0000		
PE-11	PISTA ATERRIZAJE EL TRIUNFO/EL ESTADO	ene-72	3.100	8.000	13.000	36.000	0.000	9.000	165.000	7.00	4.000	4.500	0.400	HCO3-Ca	LAS BANDERAS
			2.404	10.542	32.528	54.526	0.000	8.923	80.566	5.877	2.477	2.157	0.0001		
PE-12	HACIENDA SAN CARLOS/ EL ESTADO	dic-69	6.500	18.000	17.000	70.000	0.000	15.000	220.000	35.000	3.000	44.000	0.100	HCO3-Ca	LAS BANDERAS
			2.843	13.376	23.989	59.792	0.000	8.516	61.514	16.828	1.064	12.078	0.0000		
PE-14	HACIENDA EL TRIUNFO/ EL ESTADO	ago-69	5.400	14.000	16.000	44.000	0.000	3.400	232.000	14.000	0.000	3.400	0.400	HCO3-Ca	LAS BANDERAS
			3.238	14.266	30.959	51.536	0.000	2.592	87.115	9.039	0.000	1.253	0.0000		
PE-31	EL TRIUNFO/ EL ESTADO	dic-74	0.000	18.000	6.000	20.000	0.000	0.000	92.000	21.000	1.000	0.800	0.500	HCO3-Ca-Na	LAS BANDERAS
			0.000	34.363	21.750	43.887	0.000	0.000	70.680	27.742	0.974	0.603	0.0001		
PE-33	SAN ISIDRO/ ALFONSO GONZALEZ	dic-74	14.000	27.000	11.000	20.000	0.000	3.000	122.000	32.000	5.000	1.800	0.200	HCO3-Na-Ca	LAS BANDERAS
			10.414	34.128	26.401	29.057	0.000	3.186	63.799	28.775	3.316	0.924	0.0000		
PE-35	HACIENDA SANTA ROSA/ LORENSA GUERRERO	ene-75	10.000	70.000	26.000	48.000	0.000	6.000	275.000	97.000	2.000	12.600	0.000	HCO3-Na-Ca	LAS BANDERAS
			3.262	38.797	27.363	30.579	0.000	2.598	58.650	35.572	0.541	2.638	0.0000		
PE-36	HACIENDA LA TRINIDAD/ GUILLERMO URBINA	feb-75	10.100	39.000	37.000	46.000	0.000	12.000	348.000	45.000	5.000	6.200	0.000	HCO3-Mg-Ca	LAS BANDERAS
			3.536	23.204	41.801	31.458	0.000	5.272	75.297	16.742	1.372	1.317	0.0000		

Tabla 2B.21 Composición Hidroquímica de las aguas subterráneas del acuífero de Tisma (Pozos perforados)

COMPOSICIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO DE TISMA (POZOS PERFORADOS)																
CODIGO	LOCALIZACION-PROPIETARIO	FECHA ANALISIS	CATIONES [mg/l] [meq%]					ANIONES [mg/l] [meq%]					BORO (mg/l)	CARACTER HIDROQUIMICO	CUADRANTE TOPOGRAFICO	
			K	Na	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃				F
PP-4	EL CHILAMATILLO ALFREDO ROQUE	ago-69	7.300	26.000	20.000	36.000	0.000	0.000	250.000	21.000	4.000	4.900	0.300	0.000	HCO3-Ca-Mg	TIPITAPA
			3.918	23.711	34.634	37.737	0.000	0.000	84.461	12.200	1.714	1.625	0.000			
PP-5	ENTRADA HACIENDA SAN JUAN - GASOLINERA CHEVRON	ago-69	15.000	48.000	18.000	30.000	0.000	0.000	226.000	57.000	4.000	6.200	0.300	0.000	HCO3-Na-Ca	TIPITAPA
			7.035	38.250	27.237	27.479	0.000	0.000	67.428	29.242	1.514	1.816	0.0000			
PP-6	HACIENDA EL LIBANO ASSAD SOGAIB	jun-68	3.000	24.000	18.000	44.000	0.000	40.000	173.000	38.000	1.000	19.000	0.100	0.000	HCO3-Ca-Mg	TIPITAPA
			1.597	21.716	30.926	45.761	0.000	23.925	50.960	19.247	0.374	5.494	0.00001			
PP-7	PLANTA SALMIDÓN R SALVO	jun-68	12.000	26.000	20.000	46.000	0.000	27.000	231.000	38.000	1.000	12.000	0.100	0.000	HCO3-Ca-Mg	TIPITAPA
			5.699	20.983	30.648	42.670	0.000	15.052	63.424	17.940	0.348	3.235	0.0000			
PP-9	FINCA LA ESPERANZA STANLEY ATHA	jun-68	9.000	46.000	7.000	32.000	0.000	0.000	226.000	16.000	7.000	1.800	0.700	0.000	HCO3-Na-Ca	TIPITAPA
			5.225	45.378	13.112	36.284	0.000	0.000	85.555	10.415	3.361	0.669	0.000			
PP-10	FINCA LA ESPERANZA STANLEY ATHA	jun-68	12.000	28.000	7.000	50.000	0.000	10.000	176.000	45.000	3.000	20.000	0.380	0.000	HCO3-Ca	TIPITAPA
			6.673	26.459	12.560	54.308	0.000	6.834	59.235	26.043	1.281	6.608	0.00004			
PP-21	LOURDES - ING MARTIN BENARD	ago-69	14.500	80.000	4.000	12.000	0.000	0.000	214.000	34.000	12.000	0.600	1.700	0.000	HCO3-Na	TIPITAPA
			7.763	72.779	6.910	12.548	0.000	0.000	74.235	20.281	5.280	0.204	0.00018			
PP-24	SAN BENITO - COLONIA AGRICOLA SAN BENITO	ago-69	7.000	24.000	14.000	36.000	0.000	0.000	226.000	14.000	7.000	0.600	0.300	0.000	HCO3-Ca-Mg	TIPITAPA
			4.287	24.978	27.668	43.066	0.000	0.000	87.077	9.275	3.421	0.227	0.0000			
PP-25	EL IMPERIO -O- PAQUIER -GLADIS GARCIA TENORIO	ago-69	11.300	95.000	4.000	12.000	0.000	0.000	238.000	46.000	4.000	0.400	1.100	0.000	HCO3-Na	TIPITAPA
			5.405	77.212	6.173	11.210	0.000	0.000	73.784	24.522	1.573	0.122	0.0001			
PP-31	TIPITAPA -DENACAL	ago-69	16.500	33.000	12.000	36.000	0.000	0.000	214.000	33.000	2.000	14.000	0.100	0.000	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			9.086	30.877	21.320	38.717	0.000	0.000	74.558	19.770	0.884	4.788	0.00001			
PP-37	EMPALME SAN BENITO - DENACAL	feb-75	10.300	38.000	7.000	42.000	0.000	0.000	232.000	34.000	0.000	1.400	0.100	0.000	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			5.739	35.975	12.584	45.703	0.000	0.000	79.496	20.033	0.000	0.471	0.000			
PP-38	HACIENDA STA JULIA - YELBA R DE MURILLO	nov-74	0.000	33.000	14.000	46.000	0.000	3.000	244.000	21.000	4.000	1.200	0.000	0.000	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			0.000	29.344	23.639	47.016	0.000	2.083	83.432	12.347	1.735	0.403	0.000			
PP-40	COLONIA AGRICOLA LOS LAURELES- IAN	dic-74	23.000	24.000	8.000	38.000	0.000	0.000	201.000	24.000	5.000	1.200	0.600	0.000	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			14.040	24.895	15.757	45.307	0.000	0.000	80.468	16.521	2.539	0.472	0.00007			
PP-47	KM 1 1/2 CARETERA TIPITAPA MASAYA - CATASTRO	oct-69	3.900	82.000	2.400	6.000	0.000	3.000	207.000	21.000	2.000	2.200	0.000	0.000	HCO3-Na	TIPITAPA
			2.397	85.641	4.760	7.203	0.000	2.399	81.529	14.222	0.999	0.851	0.00000			
PP-49	TIPITAPA - DENACAL	abr-72	13.000	65.000	11.000	32.000	0.000	0.000	171.000	97.000	2.000	34.000	0.500	0.000	HCO3-Na-Ca	TIPITAPA
			5.871	49.877	16.028	28.224	0.000	0.000	45.758	44.632	0.679	8.932	0.00004			
PP-61	HACIENDA LAS PAMPAS, SECTOR DE TIPITAPA- HORACIO TABLADA SOLIS	abr-78	10.000	53.000	11.000	25.000	0.000	0.000	214.000	18.000	0.000	0.000	0.000	0.000	HCO3-Na-Ca	TIPITAPA
			5.424	48.844	19.250	26.482	0.000	0.000	87.364	12.636	0.000	0.000	0.00000			
PP-66	LOTE LOS LIMONES - TIMAL	feb-82	15.000	32.000	13.000	48.000	0.000	0.000	222.000	50.000	6.000	0.000	0.000	0.000	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			7.315	26.515	20.454	45.716	0.000	0.000	70.345	27.243	2.411	0.000	0.00000			
PP-85	SANTA FÉ - TIMAL	jun-86	4.700	75.400	5.830	11.200	0.000	0.000	204.000	5.670	6.720	0.000	0.100	0.000	HCO3-Na	TIPITAPA
			2.709	73.842	10.842	12.608	0.000	0.000	91.779	4.386	3.834	0.000	0.00001			
PP-93	EL PARCHADO - TIMAL	jun-86	1.170	14.700	8.750	45.600	0.100	0.000	178.000	4.000	0.960	0.000	0.150	0.000	HCO3-Ca	TIPITAPA
			0.815	17.397	19.663	62.028	0.146	0.000	95.650	3.696	0.654	0.000	0.00002			
PP-94	NERINA - TIMAL	jun-86	2.350	16.560	12.150	44.800	0.040	0.000	188.000	5.670	0.960	0.440	0.150	0.000	HCO3-Ca	TIPITAPA
			1.494	17.895	24.931	55.645	0.053	0.000	94.283	4.890	0.611	0.217	0.0000			
PP-95	PICHINCHA 2 - TIMAL	jun-86	1.170	18.400	7.770	44.000	0.040	0.000	176.000	6.740	0.960	0.000	0.150	0.000	HCO3-Ca	TIPITAPA
			0.815	21.788	17.471	59.887	0.059	0.000	93.217	6.138	0.645	0.000	0.00002			
PP-100	SANTA ROSA - TIMAL	jun-84	2.000	13.000	15.000	46.000	0.000	0.000	195.000	8.000	1.000	0.000	0.000	0.000	HCO3-Ca	TIPITAPA
			1.232	13.608	29.814	55.346	0.000	0.000	92.846	6.550	0.604	0.000	0.0000			
PP-105	HACIENDA EL BOLERO - R. VILCHEZ	nov-73	12.000	25.000	13.000	46.000	0.000	0.000	226.000	14.000	38.000	0.200	0.000	0.000	HCO3-Ca-Na	TIPITAPA
			6.442	22.806	22.519	48.233	0.000	0.000	75.721	8.066	16.148	0.066	0.0000			
PP-106	HACIENDA EL BOLERO - R VILCHEZ	nov-73	10.000	25.000	12.000	50.000	0.000	0.000	226.000	17.000	38.000	3.000	0.000	0.000	HCO3-Ca	TIPITAPA
			5.295	22.494	20.502	51.710	0.000	0.000	73.767	9.541	15.731	0.961	0.0000			
PP-107	SAN ILDEFONZO - CATASTRO	01/16/69	7.000	8.00	17.000	44.000	0.000	0.000	244.000	14.00	0.000	2.600	1.000	0.000	HCO3-Ca	TIPITAPA
			4.338	8.423	33.988	53.251	0.000	0.000	90.161	8.895	0.000	0.943	0.0001			

COMPOSICIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO DE TISMA (POZOS PERFORADOS)

CODIGO	LOCALIZACION-PROPIETARIO	FECHA ANALISIS	CATIONES [mg/lit] [meq%]					ANIONES [mg/lit] [meq%]						BORO (mg/lit)	CARACTER HIDROQUIMICO	CUADRANTE TOPOGRAFICO
			K	Na	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	F			
			PP-117	HACIENDADA FATIMA - M BENARD	nov-74	0.000	18.000	17.000	50.000	0.000	0.000	281.000	10.00			
			0.000	16.705	29.958	53.337	0.000	0.000	90.754	5.553	0.205	3.488	0.0000			
PP-46	EL CARMEN, LAS FLORES- ARNOLDO PASQUIER	ago-69	15.000	38.000	6.000	24.000	0.000	0.000	207.000	10.000	1.000	4.000	0.200	0.000	HCO3-Na-Ca	NINDIRI
			10.288	44.285	13.278	32.149	0.000	0.000	90.239	7.496	0.553	1.712	0.0000			
PP-48	SAIMSA, LOS ALTOS DE MANAGUA- ENRIQUE BOLANOS GAYER	ago-69	15.000	62.000	6.000	16.000	0.000	0.000	244.000	12.000	2.000	2.000	0.200	0.000	HCO3-Na	NINDIRI
			8.774	61.623	11.324	18.279	0.000	0.000	90.661	7.667	0.942	0.730	0.0000			
PP-52	HACIENDA JAIMAICA ZAMBRANO-RODOLFO JEREZ SUAREZ, GUSTAVO ARGUELLO	ene-72	16.000	105.000	1.200	4.000	0.000	9.000	256.000	14.000	19.000	0.300	0.600	0.000	HCO3-Na	NINDIRI
			7.763	86.568	1.879	3.791	0.000	5.662	79.321	7.459	7.467	0.091	0.0001			
PP-161	PILAS OCCIDENTALES - MIGUEL ANGEL QUINONEZ	ago-86	7.040	64.400	608.000	17.600	0.000	0.000	192.000	12.800	8.640	3.100	0.300	0.000	HCO3-Mg	NINDIRI
			0.333	5.180	92.860	1.627	0.000	0.000	84.206	9.653	4.806	1.335	0.0000			
PP-252	SANTA CRUZ TISMA - CATASTRO	oct-69	17.200	82.000	2.000	6.000	0.000	18.000	201.000	19.000	3.000	0.000	0.500	0.000	HCO3-Na	NINDIRI
			9.845	79.754	3.694	6.708	0.000	13.338	73.351	11.923	1.389	0.000	0.0001			
PP-293	CAMPO DE POZOS TISMA SAN RAMON - INAA	nov-79	13.000	102.000	1.400	5.600	0.000	8.000	202.000	21.000	9.200	0.000	0.450	0.000	HCO3-Na	NINDIRI
			6.443	85.898	2.239	5.421	0.000	6.106	75.934	13.574	4.386	0.000	0.0001			
PP-294	CAMPO DE POZOS TISMA SAN PANTO - INAA	may-79	11.000	73.000	3.000	14.000	0.000	0.000	190.000	18.000	1.000	0.000	0.001	0.000	HCO3-Na	NINDIRI
			6.393	72.090	5.626	15.891	0.000	0.000	85.501	13.928	0.571	0.000	0.0000			
PP-295	CAMPO DE POZOS TISMA (LAS CUATRO ESQUINA) - INAA	mar-79	14.000	75.000	2.000	9.000	0.000	12.000	170.000	16.000	6.000	0.840	0.001	0.000	HCO3-Na	NINDIRI
			8.461	77.017	3.900	10.623	0.000	10.579	73.813	11.946	3.304	0.358	0.0000			
PP-362	RANCHO CHICO - DIONICIO REYES	feb-89	12.750	73.500	11.032	21.835	0.050	26.640	216.743	15.836	10.280	5.763	0.530	0.000	HCO3-Na	NINDIRI
			5.904	57.833	16.483	19.748	0.049	17.077	68.425	8.596	4.116	1.786	0.0001			
PP-363	BASE MILITAR DESMOTADORA DE ORIENTE - MINT	ago-86	14.500	88.500	7.722	20.015	0.050	10.656	265.510	9.897	7.040	14.787	0.252	0.000	HCO3-Na	NINDIRI
			6.333	65.681	10.882	17.074	0.046	6.604	81.044	5.195	2.725	4.431	0.0000			
PP-364	EL PORTILLO - JUSTO RIVAS	mar-79	16.000	87.000	15.445	36.392	0.000	21.312	384.670	9.897	5.910	0.934	0.100	0.000	HCO3-Na	NINDIRI
			5.619	51.917	17.501	24.962	0.000	9.545	84.846	3.754	1.653	0.202	0.0000			
PP-1	HACIENDA SAN PEDRO- IGNACIO LOPEZ	ago-69	9.300	132.000	2.400	10.000	0.000	3.000	238.000	83.000	13.000	1.800	1.000	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			3.565	85.980	2.968	7.487	0.000	1.504	58.756	35.234	4.070	0.436	0.0001			
PP-2	EL PASO DE MALACATOYA- INAA	jun-63	11.000	44.000	16.000	40.000	0.000	5.000	250.000	38.000	12.000	0.000	0.760	0.000	HCO3-Ca-Na	MALACATOYA
			5.104	34.692	23.954	36.250	0.000	2.980	73.375	19.178	4.467	0.000	0.0001			
PP-3	EL SALVADOR ,EL PASO DE MALACATOYA-SALVADOR AVILEZ	nov-69	15.000	79.000	12.000	30.000	0.000	6.000	275.000	48.000	10.000	2.000	0.100	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			6.084	54.447	15.704	23.765	0.000	3.170	71.546	21.473	3.300	0.511	0.0000			
PP-4	HACIENDA EL SALVADOR-ARMANDO URBINA	ago-69	13.800	76.000	10.000	24.000	0.000	0.000	262.000	45.000	4.000	0.100	0.400	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			6.214	58.150	14.529	21.107	0.000	0.000	76.041	22.458	1.472	0.028	0.0000			
PP-5	HACIENDA EL SALVADOR -ARMANDO URBINA	ago-69	12.800	52.000	11.000	32.000	0.000	15.000	201.000	38.000	12.000	0.200	0.200	0.000	HCO3-Na-Ca	MALACATOYA
			6.427	44.368	17.822	31.383	0.000	9.755	64.379	20.928	4.875	0.063	0.0000			
PP-9	HACIENDA SANTA ELENA- NACIONES UNIDAS-SGN	mar-72	14.000	46.000	11.000	18.000	0.000	0.000	214.000	17.000	5.000	7.200	0.200	0.000	HCO3-Na-Mg	MALACATOYA
			8.599	48.009	21.799	21.593	0.000	0.000	83.385	11.390	2.471	2.754	0.0000			
PP-22	MIENTRA TANTO-CATASTRO	ene-70	16.000	88.000	2.400	6.000	0.000	18.000	226.000	17.000	0.000	0.900	0.000	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			8.649	80.830	4.186	6.335	0.000	12.488	77.222	9.988	0.000	0.302	0.0000			
PP-34	LOS PUENTES- LORENZO GUERRERO	ene-75	13.000	120.000	4.000	4.000	0.000	3.000	232.000	55.000	24.000	3.000	0.000	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			5.471	85.810	5.431	3.288	0.000	1.664	63.380	25.836	8.316	0.805	0.0000			
PP-35	SANTA SUSANA-LORENZO GUERRERO	ene-75	6.000	36.000	25.000	72.000	0.000	3.000	372.000	24.000	20.000	9.300	0.100	0.000	HCO3-Ca-Mg	MALACATOYA
			2.080	21.206	27.964	48.750	0.000	1.342	81.964	9.093	5.589	2.012	0.0000			
PP-36	SANTA JUANA-LORENZO GUERRERO	may-75	16.000	80.000	8.000	22.000	0.000	9.000	207.000	31.000	55.000	1.000	0.200	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			7.249	61.589	11.695	19.468	0.000	5.231	59.258	15.260	19.969	0.281	0.0000			
PP-37	HACIENDA SAN NICOLAS-PEDRO BELLO	dic-74	8.000	39.000	17.000	44.000	0.000	6.000	275.000	21.000	12.000	1.200	0.000	0.000	HCO3-Ca-Na	MALACATOYA
			3.720	30.815	25.505	39.960	0.000	3.586	80.956	10.630	4.480	0.347	0.0000			

COMPOSICIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO DE TISMA (POZOS PERFORADOS)

CODIGO	LOCALIZACION-PROPIETARIO	FECHA ANALISIS	CATIONES [mg/lit] [meq%]					ANIONES [mg/lit] [meq%]						BORO (mg/lit)	CARACTER HIDROQUIMICO	CUADRANTE TOPOGRAFICO	
			K	Na	Mg ⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	F				
			PP-38	SAN ANTONIO-LORENZO GUERRERO	feb-75	7.000	35.000	35.000	64.000	0.000	9.000	403.000	28.000				0.000
			2.300	19.538	37.099	41.064	0.000	3.880	85.564	10.222	0.000	0.333	0.0000				
PP-46	EL GUAYABO, COSTA DEL LAGO DE NICARAGUA- INAA	ene-80	7.000	90.000	3.000	10.000	0.000	0.000	260.000	30.000	2.000	0.000	0.650	0.000	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			3.701	80.855	5.118	10.326	0.000	0.000	82.770	16.422	0.808	0.000	0.0001				
PP-51	MIENTRASTANTO-RENE BORGE	jun-75	14.800	44.000	22.000	18.000	0.000	0.000	281.000	14.000	2.000	0.250	0.000	0.000	0.000	HCO3-Na-Mg	MALACATOYA
			7.562	38.203	36.271	17.964	0.000	0.000	91.277	7.820	0.824	0.080	0.0000				
PP-59	EL HATILLO,COSTA DEL LAGO-INAA	nov-79	6.000	95.000	6.000	10.000	0.000	0.000	238.000	33.000	2.000	0.000	0.001	0.000	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			2.908	78.242	9.383	9.467	0.000	0.000	80.059	19.088	0.853	0.000	0.0000				
PP-60	EL HATILLO ,LAGO DE NICARAGUA-INAA	jul-80	6.000	110.000	2.000	8.000	0.000	16.000	162.000	55.000	24.000	0.000	0.100	0.000	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			2.791	86.940	3.002	7.268	0.000	10.168	50.704	29.600	9.527	0.000	0.0000				
PP-65	LOS PLACERES, SANTA CRISTINA-NICOLAS BOLANOS	sep-86	3.520	92.000	4.370	7.200	0.000	0.000	196.000	25.880	9.600	0.270	0.200	0.000	0.000	HCO3-Na	MALACATOYA
			1.872	83.149	7.500	7.480	0.000	0.000	77.488	17.593	4.814	0.105	0.0000				
PP-1	SAN NICOLAS-MANOLO PORRRO	feb-70	12.500	35.000	14.000	38.000	0.000	6.000	256.000	17.000	2.000	0.300	0.400	0.000	0.000	HCO3-Ca-Na	LAS BANDERAS
			6.532	31.078	23.605	38.784	0.000	4.058	85.263	9.736	0.845	0.098	0.0000				
PP-2	JOSE CARDENAL MONTELEGRE-SANTA MARTA FINLANDIA	ago-68	0.700	24.000	22.000	44.000	0.000	0.000	207.000	72.000	2.000	0.000	0.000	0.000	0.000	HCO3-Ca-Mg	LAS BANDERAS
			0.353	20.555	35.778	43.315	0.000	0.000	62.098	37.141	0.761	0.000	0.0000				
PP-3	JOSE CARDENAL MONTELEGRE-SANTA MARTA FINLANDIA	feb-70	9.900	21.000	11.000	52.000	0.000	6.000	220.000	24.000	4.000	6.000	0.300	0.000	0.000	HCO3-Ca	LAS BANDERAS
			5.421	19.538	19.433	55.609	0.000	4.284	77.352	14.510	1.784	2.071	0.0000				
PP-4	EL ESTADO- LOS PEDROS	nov-74	0.000	53.000	6.000	54.000	0.000	0.000	98.000	38.000	115.000	14.000	1.600	0.000	0.000	SO4-Ca-Na	LAS BANDERAS
			0.000	41.910	9.009	49.081	0.000	0.000	30.346	20.233	45.164	4.256	0.0002				
PP-11	HACIENDA SANTA ANA-MARIO ENRIQUE HANON	dic-74	9.000	31.000	12.000	42.000	0.000	3.000	183.000	36.000	14.000	1.500	0.000	0.000	0.000	HCO3-Ca-Na	LAS BANDERAS
			4.934	28.875	21.224	44.967	0.000	2.254	67.722	22.908	6.571	0.545	0.0000				
PP-13	HACIENDA SANTA ANA- MARIO HANON	ene-76	14.800	31.000	14.000	56.000	0.000	0.000	275.000	24.000	13.000	7.800	0.100	0.000	0.000	HCO3-Ca-Na	LAS BANDERAS
			6.666	23.725	20.346	49.263	0.000	0.000	80.784	12.123	4.843	2.249	0.0000				
PP-21	SANTA MARTA, EL COYOL- EDUARDO HANON	ene-76	12.400	34.000	14.000	54.000	0.000	0.000	275.000	21.000	14.000	7.400	0.200	0.000	0.000	HCO3-Ca-Na	LAS BANDERAS
			5.616	26.164	20.457	47.764	0.000	0.000	81.813	10.743	5.283	2.161	0.0000				
PP-41	LA HINCA, MALACATOYA- AMIN HANON	ene-76	12.400	38.000	24.000	40.000	0.000	0.000	287.000	34.000	18.000	0.200	0.300	0.000	0.000	HCO3-Ca-Mg	LAS BANDERAS
			5.333	27.768	33.302	33.597	0.000	0.000	77.886	15.866	6.195	0.053	0.0000				
PP-55	HACIENDA SAN GERONIMO, MALACATOYA- MARIO HANON	feb-76	5.400	31.000	17.000	44.000	0.000	0.000	256.000	17.000	19.000	0.400	0.000	0.000	0.000	HCO3-Ca-Mg	LAS BANDERAS
			2.715	26.488	27.582	43.214	0.000	0.000	82.655	9.438	7.780	0.127	0.0000				
PP-69	PLANTA TRANSMISORA EL TRIUNFO- LA VOZ DE NICARAGUA	jun-86	0.590	12.900	7.780	63.200	0.000	0.000	200.000	7.800	0.960	3.100	0.100	0.104	0.000	HCO3-Ca	LAS BANDERAS
			0.345	12.815	14.676	72.165	0.000	0.000	91.881	6.162	0.559	1.398	0.0000				
PP-76	COLONIA AGRICOLA LOS LAURELES-CATASTRO	abr-69	6.200	134.000	4.000	8.000	0.000	0.000	329.000	42.000	5.000	4.000	0.300	0.800	0.000	HCO3-Na	LAS BANDERAS
			2.363	86.765	4.918	5.954	0.000	0.000	79.954	17.551	1.541	0.954	0.0000				
PP-95	SAN NICOLAS- INVERSIONES NIC, S,A	sep-86	1.170	29.440	11.180	2.200	0.000	0.000	200.000	14.000	1.920	1.900	0.000	0.208	0.000	HCO3-Na	LAS BANDERAS
			1.278	54.633	39.396	4.693	0.000	0.000	87.576	10.541	1.066	0.817	0.0000				
PP-116	SANTA ROSA-EL ESTADO	sep-86	2.000	35.000	17.000	4.000	0.000	0.000	206.000	24.500	15.000	0.000	0.000	0.090	0.000	HCO3-Na-Mg	LAS BANDERAS
			1.611	47.909	44.186	6.293	0.000	0.000	77.110	15.769	7.121	0.000	0.0000				
PP-152	SAN ISIDRO -TIMAL	dic-69	8.600	26.000	10.000	44.000	0.000	12.000	207.000	17.000	3.000	0.700	0.100	0.200	0.000	HCO3-Ca	LAS BANDERAS
			5.030	25.839	18.871	50.261	0.000	9.192	78.087	11.027	1.435	0.259	0.0000				
PP-164	EL COYOL, SANTA ANA- ALFONSO ZAVALA AVILEZ	dic-74	8.000	24.000	17.000	54.000	0.000	12.000	262.000	14.000	6.000	1.100	0.000	0.000	0.000	HCO3-Ca	LAS BANDERAS
			3.826	19.503	26.232	50.439	0.000	7.635	82.099	7.543	2.385	0.338	0.0000				

Tabla 3B.1 Error medio, absoluto y medio cuadrático del período 2003-2011

Pozos	Cargas Observadas	Cargas Calculadas	Error Medio	Error Medio Absoluto	Error Medio Cuadrático
PP-72	28.2	31.98	3.77637	3.7764	14.2610
PP-73	30.92	32.51	1.5878	1.5878	2.5212
PP-51	32.53	34.39	1.8578	1.8578	3.4513
PP-181	35	37.95	2.9484	2.9484	8.6931
PP-120	35.67	34.36	-1.3150	1.3150	1.7292
PP-62	38.65	38.44	-0.2143	0.2143	0.0459
PP-64	40.77	41.87	1.1003	1.1003	1.2106
PP-50	44.54	42.34	-2.1959	2.1959	4.8218
PP-170	44.9	47.89	2.9942	2.9942	8.9654
PP-171	48.94	48.54	-0.4017	0.4017	0.1614
PP-169	51.79	52.92	1.1295	1.1295	1.2757
PP-180	56.3	51.39	-4.9074	4.9074	24.0827
PP-55	59.6	59.21	-0.3924	0.3924	0.1540

Tabla 3B.2 Análisis de sensibilidad de la recarga hídrica 2003-2011

Zone	% de cambio	Valor de simulación	Error Medio Absoluto (m)	Entrada del río al acuífero(MMCA)	Salida del acuífero al río (MMCA)	Entrada del lago Xolotlán al acuífero (MMCA)	Salida del acuífero al Lago Xolotlán (MMCA)	Salida del acuífero al Lago Cocibolca (MMCA)
1	25	62.5	3.2316	0.000	0.053	0.000	4.994	0.000
	10	55.0	2.2903	0.000	0.047	0.000	4.269	0.000
	0	50.0	1.8608	0.000	0.043	0.000	3.463	0.000
	-10	45.0	2.3553	0.000	0.039	0.000	3.326	0.000
	-25	37.5	3.1441	0.000	0.033	0.001	2.633	0.000
2	25%	145.0	2.3856	0.000	12.171	0.000	0.000	0.000
	10%	127.6	1.911	0.000	10.672	0.000	0.000	0.000
	0	116.0	1.7342	0.000	9.666	0.000	0.000	0.000
	-10%	104.4	1.8776	0.000	8.644	0.000	0.000	0.000
	-25%	87.0	2.7266	0.000	7.104	0.000	0.000	0.000
3	25%	53.75	2.7463	15.656	50.359	0.000	0.000	18.119
	10%	47.3	2.7077	16.577	46.001	0.000	0.000	17.282
	0	43.0	2.6821	17.321	43.205	0.000	0.000	16.724
	-10%	38.7	2.6563	18.139	40.482	0.000	0.000	16.165
	-25%	32.25	2.6176	19.539	36.562	0.000	0.000	15.326

Tabla 3B.3 Análisis de sensibilidad de la recarga hídrica para los años del periodo 2003-2011

Zone	Año	valor de simulacion(mm/a)	Error Medio Absoluto (m)	Entrada del río al acuífero (MMCA)	Salida del acuífero al río (MMCA)	Entrada del lago Xolotlán al acuífero (MMCA)	Salida del acuífero al Lago Xolotlán (MMCA)	Salida del acuífero al Lago Cocibolca (MMCA)
1	2003	66	2.6653	0.00	0.04	0.00	4.61	0.00
	2004	56	1.9577	0.00	0.04	0.00	4.01	0.00
	2005	67	2.6771	0.00	0.05	0.00	4.95	0.00
	2006	46	2.695	0.00	0.03	0.00	3.28	0.00
	2007	70	3.0245	0.00	0.05	0.00	4.87	0.00
	2008	72	3.4779	0.00	0.05	0.00	4.98	0.00
	2009	40	2.9445	0.00	0.02	0.02	2.58	0.00
	2010	80	4.567	0.00	0.06	0.01	5.34	0.00
2011	76	4.2398	0.00	0.05	0.05	4.91	0.00	
2	2003	84	1.6795	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00
	2004	78	2.0004	0.00	6.96	0.00	0.00	0.00
	2005	90	1.742	0.00	8.49	0.00	0.00	0.00
	2006	74	2.6818	0.00	6.17	0.00	0.00	0.00
	2007	94	1.8131	0.00	8.91	0.00	0.00	0.00
	2008	98	1.8966	0.00	9.37	0.00	0.00	0.00
	2009	76	2.3487	0.00	5.88	0.00	0.00	0.00
	2010	109	1.9461	0.00	11.07	0.00	0.00	0.00
2011	104	2.0628	0.00	10.01	0.00	0.00	0.00	
3	2003	78	2.437	18.78	42.19	0.00	0.00	19.72
	2004	44	2.7456	18.31	38.32	0.00	0.00	14.59
	2005	80	2.8023	16.37	45.12	0.00	0.00	16.68
	2006	34	2.4364	20.89	34.87	0.00	0.00	16.66
	2007	90	2.2205	19.12	44.77	0.00	0.00	22.81
	2008	97	2.7068	16.04	48.24	0.00	0.00	18.80
	2009	36	2.8456	19.71	34.81	0.00	0.00	15.42
	2010	107	2.9086	14.92	51.36	0.00	0.00	19.09
2011	102	3.1188	13.67	51.80	0.00	0.00	15.62	

Tabla 3B.4 Análisis de sensibilidad de la zona de recarga 1

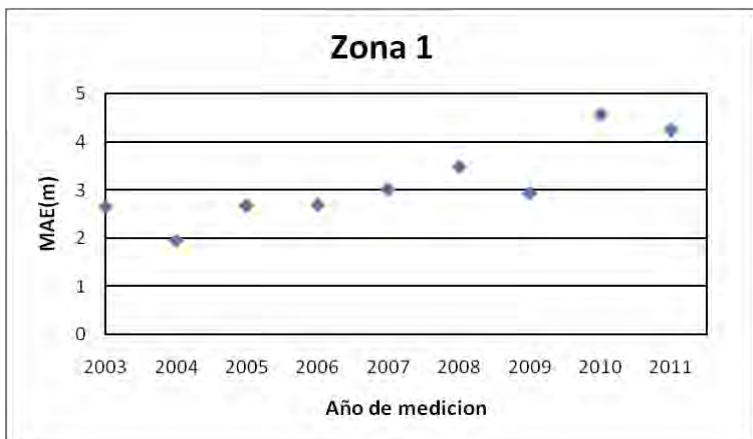


Tabla 3B.5 Análisis de sensibilidad de la zona de recarga 2

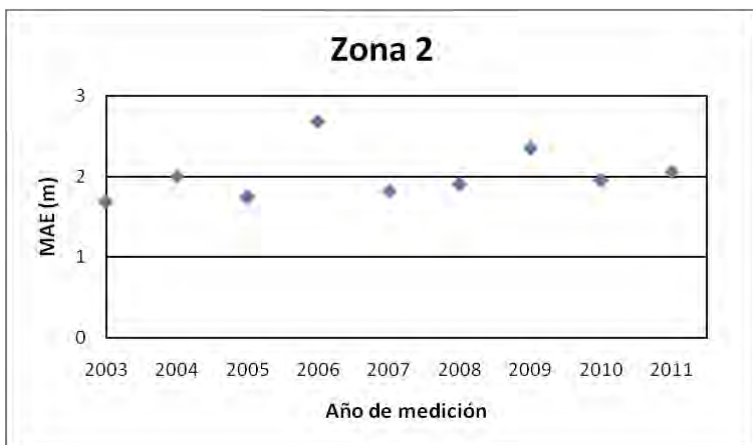


Tabla 3B.6 Análisis de sensibilidad de la zona de recarga 3

